

NOTA A «PARADOSSO 2012/2. FORME DELLA VITA E STATUTI DEL VIVENTE», AA.VV. (05/09/13)

Una riflessione stimolata da Giorgio Forti: *la libertà del caso in una prigione determinista*.

Franco Rebuffo

1. Un'incongruenza di fondo

Ho sempre considerato la *biologia evoluzionista*, la *fisica quantistica* e il *cognitivismo* (nonostante le sue luci e ombre) quelle scienze empiriche che, nel *Novecento*, hanno innovato maggiormente l'attuale prassi della *conoscenza*. Nello stesso tempo, mi sono sempre rammaricato del forte «ritardo» con cui la *filosofia della scienza* ha «raccolto» le *novità epistemologiche* di queste *discipline*¹.

Ma, in questa prospettiva, gli stessi *biologi evoluzionisti* del *Novecento* mi hanno stupito non poco. Patrimonializzano i loro *risultati scientifici*, indubbiamente di portata rivoluzionaria e, immediatamente dopo, li «imbrigliano» in una *direzione obbligata*, quella segnata dalle *concettualità statiche* della fisica classica che sono «senza tempo», quindi l'esatta negazione di qualsiasi fenomeno evolutivo. È come se le *aperture* della *biologia evoluzionista* fossero «annegate» in una *cosmologia* deterministica completamente chiusa.

Monod è stato il *capostipite* di questa strana incongruenza. Nel suo *Le hasard e la nécessité* la esprime molto bene: il *caso* è l'attore dell'origine della vita e di qualsiasi novità della *biosfera* ma è la ferrea necessità delle leggi fisiche e chimiche che ne assicura l'indirizzo e la trasmissibilità. È come se gli aspetti *casuali, stocastici, emergentisti* che stanno alla base dell'*evoluzione*, fossero sottoposti a una sorta di *libertà vigilata*. Le leggi della *fisica classica* rappresenterebbero *un'armatura* che impone un ordine stringente, un alveo ferreo da cui l'*evoluzione*, malgrado tutti i suoi gradi di libertà, non può mai uscire.

Forti, in certo qual modo, si trova nello stesso *double crossing*. Da un lato, afferma che gli organismi viventi sono *sistemi aperti* lontani dall'equilibrio (dissipano energia e scaricano entropia); quindi che la loro evoluzione ha a che fare con l'*accidente storico*, il *caso*, le *emergenze*, l'*errore*; infine che sono dotati di strutture ridondanti (*plastiche*) adatte a «rispondere» efficacemente agli innumerevoli *eventi esogeni* che fatalmente devono *incrociare*. Dall'altro lato, tutto questo *ben di dio* lo avvolge nel grembo della coerenza unitaria (senza tempo) di *chimica* e *fisica classica*, quindi lo sottopone alla violenza di una *freccia del tempo* regolata dall'*entropia* (*secondo principio della termodinamica*) e dal *principio di equipartizione dell'energia*.

Proviamo a vedere da vicino in cosa consiste questa *prigione deterministica*. In primo luogo, chiediamoci se è proprio realistico pensare che possa esistere nelle discipline scientifiche (*fisica* e *chimica*) una «coerenza complessiva» che possa fare da «involucro» alla *biologia evoluzionista*. In secondo luogo, chiediamoci se è poi così vero che il destino della *biosfera* sia deciso dal *secondo principio della termodinamica* e dal *principio di equipartizione dell'energia*.

2. La fallacia delle coerenze complessive

A questo proposito, bisognerebbe avere il coraggio di ammettere, senza mezzi termini, che il *caso*, la *ridondanza*, l'*auto-incompatibilità* e, in genere, tutto quello

¹ Un'eccezione può essere rappresentata da un filone di studi che fornisce un'interpretazione, per così dire, *epigenetica* della *crescita della conoscenza*. Il capostipite di questa impostazione può essere considerato Alan Musgrave e, in una certa misura, Imre Lakatos.

che Forti attribuisce ai *sistemi viventi*, fanno ugualmente parte delle strutture della scienza. È come dire che queste stesse strutture, a loro volta, rappresentano *sistemi aperti lontani dall'equilibrio*.

Ricordiamo che una qualsiasi *teoria scientifica*, usando il solo *rigore-logico-empirico*, imporrebbe vincoli irrisonori alla realtà, quindi la sua *significanza empirica* sarebbe del tutto sterile. Comincia ad assumere stringenza solo quando incontra, in maniera del tutto casuale, quelle *irregolarità* che, in certo qual modo, «escono» dal suo raggio d'azione (*anomalie*)².

In questo modo, essendo costretta a navigare in un «mare» di *eventi anomali*, è ugualmente costretta a reagire con un simmetrico «mare» di *mosse ad hoc* (si deve sviluppare per *epigenesi*). A volte si tratta di piccoli aggiustamenti, altre volte di consistenti *paradigmi esplicativi*. A puro titolo di esempio, possiamo ricordare che l'ipotesi dei *quanti di energia* è stata proprio una *mossa ad hoc* per spiegare le irregolarità di assorbimento delle radiazioni luminose negli *spettri di Balmer*.

Quindi, l'inevitabile consistente lievitazione delle *mosse ad hoc* finisce per creare un'endemica *ridondanza* delle *strutture*, accompagnata dal sorgere (altrettanto endemico) di diffuse *auto-incompatibilità* (tutte condizioni, lo ricordiamo, che rendono le strutture delle *teorie lontane dall'equilibrio*). Molte volte gli *scienziati* «occultano» questi fatti mediante *principi di corrispondenza*; ma è come se dicessero: *le incompatibilità ci sono e dobbiamo tenercele*, magari corredate da qualche enunciato consolatorio.

In questo modo funziona il *principio di corrispondenza di Bohr* che serve a tollerare la presenza simultanea di mondi dotati di leggi incompatibili (il mondo *sub-atomico* delle *particelle* e quello *macro-fisico*). Oppure il *principio di complementarità* che dovrebbe «ricucire» una *compatibilità tra* i differenti stati (logicamente incompatibili) di una stessa *particella*: quello *ondulatorio* e quello *quantistico*.

Forti può seguire il filo di queste argomentazioni rintracciandolo anche nella *biologia evolutivista*. *Adattazionismo e selezione naturale, mutazionismo saltazionista, evoluzione per epigenesi, equilibri punteggiati, pluralismi evolutivi, mutazionismo neutro*, rappresentano *altrettante strutture esplicative* che si trovano spesso coinvolte in *conflitti indecidibili* (storicamente è andata così!).

Infatti, un ipotetico scienziato, pur essendo «aperto» e riconosca la non-completezza di qualsiasi *spiegazione teorica* (quindi che ammetta senza riserve il *pluralismo*) quando entra in *territori d'indagine* frequentati da chi pratica *standard esplicativi concorrenti*, è comunque costretto a entrare in una competizione radicale. Deve far prevalere le proprie *tesi*, malgrado non vi sia, nell'immediato, alcun criterio obiettivo di effettiva *decidibilità*. Questa potrebbe essere possibile solo utilizzando il cosiddetto «senno di poi», cioè dopo che siano intervenuti nel tempo molti *fattori* in grado di contestualizzare il *conflitto* alla luce di *nuovi problemi* (prima non presenti).

Fino a che non intervengano, nel tempo, *contesti inediti*, il conflitto rimane *indecidibile*. Le parti usano *vocabolari* diversi; fanno riferimento a *conoscenze di sfondo* altrettanto differenti; e, soprattutto, usano *modalità* incompatibili nel costruire le *evidenze* (le prove). Tutte situazioni che, oltre a rendere i conflitti *indecidibili*, incrementano le *ridondanze* e l'*instabilità* delle *teorie*. Si otterrebbe una nu-

² Il *significato empirico* di una *teoria* è direttamente proporzionale alla stringenza dei «vincoli» che impone alla realtà, quindi alla capacità di «escludere» che determinate cose possano andare in un certo modo. Il problema è il *valore* che si assegna ai *vincoli stessi*: si tratta di prescrizioni senza *tempo*, oppure subordinate al *tempo* e al *caso*?

merosità di *explanans*, concorrenti per ogni singolo *explanandum*, senza che sia possibile «scegliere» mediante l'*experimenta crucis*.

Eppure, malgrado questo, sfido chiunque ad affermare che l'*evoluzionismo* non abbia segnato una vera e propria *rivoluzione* nell'intero ambito della *conoscenza scientifica*; bisognerebbe ammettere, a questo proposito, che i progressi sono stati fatti proprio in virtù di queste *infiltrazioni dissipative*.

A questo punto, potremmo tirare una prima *conclusione in progress* che spero possa rappresentare un primo punto di riferimento.

Se le *strutture* delle *teorie fisiche* e *chimiche* rappresentano *sistemi aperti* lontani dall'*equilibrio*, quindi, *mutatis mutandis*, simili a quelli dei *viventi*, non si riuscirebbe proprio a capire per quale motivo debbano essere «richiamate» per fornire alla *biosfera* una qualche super-garanzia del tutto deterministica.

Ma a ben vedere, da parte di Monod, la *richiesta* è ancora più forte. Infatti, in maniera più esplicita, afferma che l'evoluzione della *biosfera* deve necessariamente andare nella direzione prevista dalla legge di *aumento dell'entropia* (*secondo principio della termodinamica*). È una convinzione che, da quanto ho capito, è tutt'ora endemica nella *biologia evoluzionista*.

Se le *leggi scientifiche* fossero tutte rigorosamente *senza tempo*, sarebbe legittimo «chiudere» la *biosfera* nella direzione deterministica dall'aumento di entropia. Ma se le consideriamo *sistemi aperti lontano dall'equilibrio*, quindi dotate di un *raggio d'azione* limitato nel tempo, non vi sarebbe alcuna difficoltà a individuare tutti i *controesempi* del caso. A questo punto, il nostro compito diventa proprio quello di verificare in che modo e in quali situazioni la *freccia del tempo* non rispetti né i *vincoli* del *secondo principio della termodinamica*, né quelli del *principio di equipartizione dell'energia*.

3. Un'alternativa di vita per la biosfera

Occorre ricordare preliminarmente che i predicati «essere chiuso» e «essere aperto» non rappresentano differenti caratteristiche di due *sistemi* distinti; al contrario, si tratta delle differenti *modalità di funzionamento* di uno stesso sistema. Il loro cambiamento è sempre accompagnato dal contemporaneo cambiamento della *struttura* (nella mia *memoria di luglio*, per denotare quest'*ubiquità*, avevo usato il termine *effetto fata morgana*). Il problema è capire che fine faccia la *freccia del tempo*, quando il *sistema* fluttua da uno stato all'altro.

Prigogine risponde che bisognerebbe cambiare il *significato* tradizionalmente conferito all'*entropia*: non si dovrebbe interpretare solo nella sua associazione con la *produzione di disordine*, ma anche nella possibile contemporanea *generazione di ordine*; in questo senso la direzione della *freccia del tempo* potrebbe non essere così scontata.

A Prigogine è stato obiettato che, nei casi di «contemporaneità», basterebbe fare un bilancio del *saldo complessivo dell'entropia* per «decidere» la sua direzione. In questo modo, si scoprirebbe come la generazione locale di *ordine* (quindi la diminuzione locale dell'entropia) sia accompagnata, quasi inevitabilmente, da un saldo globale che sancirebbe un aumento complessivo del *disordine*.

L'argomentazione può essere considerata fondata solo come «risposta» alla tesi di Prigogine; ma, nei confronti del *secondo principio della termodinamica*, potrebbe essere fatta un'obiezione molto più forte.

Alle frontiere della *fisica quantistica*, si stanno sviluppando approcci teorici inediti, basati sul cosiddetto *collasso della funzione d'onda*, che individuano un *livello di realtà* «più profondo» rispetto ai tradizionali *fenomeni quantistici*.

Il risultato che ci interessa nel fenomeno del «collasso» (lo tratteremo meglio più avanti) è che la *forma d'ordine* iniziale, rappresentata dalla *realtà ondulatoria* (*l'ordine esplicito*) «avvolge» una successione di *ordini implicati* che, nel *collasso*, «emergono» improvvisamente. Tutte le volte che si verificano queste *emergenze*, si verifica un parallelo processo indirizzato alla *produzione di ordine*. In sostanza, se è vero che gli scambi di energia in un *sistema* fanno aumentare l'*entropia* e orientano irreversibilmente la *freccia del tempo* verso il **disordine**, a un dato momento, la direzione può invertirsi: l'emergere improvviso di *ordini implicati* determina una inversione ad 'U' della stessa *freccia del tempo*, indirizzandola, questa volta, alla *produzione di ordine*.

In questo caso, prenderebbe forma una *cosmologia* fondata sui *cicli dell'entropia*. Si determinerebbe una *struttura cosmologica* fondata su **eoni** successivi: in ciascun *eone*, il *secondo principio della termodinamica* avrebbe un raggio d'azione circoscritto nel tempo e nello spazio, oltre questo limite la *freccia del tempo* s'invertirebbe orientandosi alla *produzione di ordine* (*eone dell'entropia*).

La struttura rifletterebbe la stessa articolazione a *eoni* della *cosmologia astrofisica*. Infatti, quest'ultima si regge sulla prerogativa della *radiazione di Hawking* di sfuggire all'enorme forza attrattiva dei *buchi neri* (violazione della *relatività gravitazionale*) facendone «evaporare» l'enorme accumulo di *entropia*. Si tratta di un'evaporazione che porterebbe il *nostro universo* allo stato di entropia minima antecedente il *Big Bang* e questo lo preparerebbe a un nuovo *eone* (un nuovo *universo*).

In questa prospettiva, avremmo a che fare con una *cosmologia* veramente rivoluzionaria: continuerebbe a essere caratterizzata da una *freccia del tempo* «irreversibile», ma, questa volta, l'*irreversibilità* traccerebbe un *andamento* costituito da *eoni* che, in successione, si ripiegherebbero ciclicamente su se stessi³.

A questo punto non resterebbe che rintracciare le *evidenze* che giustifichino questa *cosmologia*. Per far questo, siamo costretti a un piccolo passo indietro; quindi, chiedo al lettore, la pazienza di seguire questa digressione che potrebbe «spezzare» la linearità delle argomentazioni; ma, penso valga la pena farlo perché oltre a provare, in maniera più dettagliata, quanto abbiamo enunciato sulla *cosmologia della biosfera*, ci consentirà, nello stesso tempo, di consolidare *indizi probanti* sulla *cosmologia* dell'intero *universo*.

4. Alla ricerca delle evidenze

La *funzione d'onda* rappresenta, in *fisica quantistica*, le differenti probabilità delle *posizioni* che una *particella* può assumere nel suo *stato ondulatorio*. Queste sono tutte «*sovrapponibili*» poiché una *particella*, quando si trova in questo *stato*, può coprire, nello stesso tempo, più posizioni (*non-località quantistica*). È noto, ad esempio, che un *elettrone* nello *stato ondulatorio* è in grado di attraversare simultaneamente due «fessure» nello *spettro di Balmer*. Il dono dell'ubiquità si dissolve quando l'elettrone perde questo *stato* e assume la *consistenza quantistica* di vera e propria *particella*.

³ Le tessere del *puzzle* che hanno permesso un orientamento in questa direzione sono attribuibili, in maniera rilevante, a Roger Penrose e David Bohm che, oltre ad essere i *fisici teorici* più importanti che hanno lavorato in questa direzione, possono essere ritenuti *tout court* i *fisici* contemporanei di maggior rilievo. Un terzo potrebbe essere senz'altro Stephen Hawking.

Questa *fluttuazione* avviene poiché la situazione di *sovrapposizione*, appena descritta è a basso tasso di energia e una piccola *interferenza* può farla *collassare*. In questo caso, la particella assumerebbe una **posizione** del tutto *casuale*, quindi *controstatistica* rispetto alle probabilità espresse nella *funzione d'onda* (avviene un *cambio di struttura*).

Occorre precisare che il *collasso* è in funzione della *massa*, quindi interessa anche il nostro mondo macro-fisico. Con una differenza: una *particella*, ad esempio un *elettrone*, può mantenersi per lungo tempo nello stato d'*instabilità* prima di *collassare*; al contrario, un *gatto* (dotato di massa consistente) *collassa* immediatamente.

E qui siamo giunti al tema che volevamo focalizzare. Persino il nostro gatto, di cui in ogni momento percepiamo la *forma* (il suo *ordine esplicito*) in realtà contiene una struttura che non percepiamo (un *ordine implicito*). Quest'ultima non la percepiamo poiché è «avvolta» all'interno dell'*ordine esplicito* (quello visibile) ma «resiste» a tutti gli effetti.

Vi sono parecchie conferme sperimentali di questi «avvolgimenti». Una può essere questa. Se abbiamo un recipiente contenente glicerina (trasparente) con una macchia d'inchiostro al suo interno, e facciamo ruotare un *cilindro* che si trova immerso nel liquido, produrremmo «disordine» (quindi aumento di *entropia*) poiché la macchia d'inchiostro va a «sporcare» la glicerina. Ma, se provassimo a far ruotare in senso inverso il *cilindro* si «recupererebbe» lo stesso ordine di partenza: ritornerebbe la macchia d'inchiostro all'interno del liquido trasparente della glicerina (la sperimentazione è riferibile a Bohm).

Questo conferma il principio dell'*avvolgimento* di un *ordine* da parte di un altro. Infatti è praticamente impossibile riottenere l'ordine iniziale (costituito da glicerina e inchiostro separati) a partire dalla *dispersione casuale* in cui le rispettive molecole si trovano *mischiate*. La probabilità di riottenere l'ordine iniziale sarebbe talmente bassa da essere *non utilmente stimabile*; al contrario, nel nostro caso, l'ordine iniziale si riottiene sempre!

Esempi di *ordini impliciti* si possono rintracciare facilmente anche nell'ambito della *biologia evolutiva*. Ad esempio, se perturbiamo con un bastone le *colonne ordinate* formate dalle formiche quando hanno individuato una consistente fonte di cibo, produciamo, per tutto il tempo che eseguiamo l'operazione, un aumento dell'*entropia* (il movimento delle formiche diventa improvvisamente disordinato). Ma, dopo un certo tempo, il movimento del nostro bastone può produrre, soprattutto in certe specie di formiche, l'emergenza di *super-organismi* (emergenza di un *ordine implicito*) quindi una riduzione dell'*entropia*.

Gli *ordini impliciti* resi «espliciti» dall'emergenza di *super-organismi*, sono un fenomeno diffusissimo e affascinante, non solo nella *fisica*, nella *chimica* e nella *biologia*, ma anche nel mondo *sub-atomico*. È noto, infatti, che gli *elettroni*, oltre a *fluttuare* nei loro stati di *onde* e *particelle*, sono in grado di creare *plasmi di elettroni* che si comportano come *super-organismi*. Questi hanno veri e propri comportamenti da *individui viventi*: incistano le *scorie* quasi fossero *amebe*, si *rigenerano* ed hanno una *plasticità* di comportamento che ha sorpreso i *fisici teorici* che li hanno studiati (in particolare Bohm).

In questo senso, l'iniziale *ordine esplicito* dell'*elettrone*, rappresentato dal suo *comportamento ondulatorio*, «avvolge», in sequenza, più *ordini impliciti*. Si tratta, rispettivamente, dell'*ordine corpuscolare*, quando la sua struttura *fluttua* nella dimensione discreta dei *quanti*, quello da *super-organismo* quando la *struttura* fluttua

in quella di un inedito *super-individuo* quantistico. E siccome quest'ultimo ha una dimensione *macroscopica*, «avvolge» un ulteriore *ordine implicato*. Si tratta della *struttura da tunnel quantistico* che il *plasma di elettroni* assume mettendo in comunicazione il mondo *sub-atomico* con quello *macro-fisico*. Ad esempio, l'*entanglement quantistico*, che si realizza nel funzionamento del cervello, è costituito proprio dalla possibilità di *fluttuazioni* dotate di quest'ampiezza.

In maniera non dissimile da quanto avveniva nelle *colonne delle formiche*, se immettiamo piccolissime quantità di energia nelle «sovrapposizioni» segnate dalla *funzione d'onda*, produrremmo altra *instabilità* nell'*ordine ondulatorio* (già di per sé instabile) quindi produrremmo un aumento di entropia. Ma, continuando a immettere energia, la situazione cambierebbe radicalmente: la *funzione d'onda* «collasserebbe», quindi verrebbe «svolta» tutta la successione degli *ordini implicati*, segnando progressive **diminuzioni dell'entropia**; determinata quest'ultima proprio dagli *ordini* inediti che si sono generati.

In conclusione, alla luce degli elementi che abbiamo raccolto, possiamo «consolidare» alcune *evidenze*. **In primo luogo**, gli ordinari *scambi di energia* che interessano un singolo *sistema chiuso*, implicano sempre un *saldo finale* costituito da un incremento del *disordine*, quindi una *freccia del tempo* orientata all'aumento di *entropia*. **In secondo luogo**, l'emergere di *ordini implicati* (dovuti ai fenomeni del *collasso*) segna una direzione in cui si ha *produzione di ordine*, quindi la *freccia del tempo* segna un'inversione a 'U' e genera *diminuzione di entropia*. **In terzo luogo**, le due tendenze determinano **eoni** caratterizzati da *cicli* con andamenti *stocastici* e *emergentisti*.

Le stesse considerazioni che abbiamo fatto nei confronti del *secondo principio della termodinamica* risultano valide, *mutatis mutandis*, anche per il principio di *equipartizione dell'energia*. In primo luogo è noto che, allo stato sub-atomico, si hanno «congelamenti quantici» dell'energia che ne limita l'*equipartizione* (non si può andare «al di sotto» dei *quanti*). In secondo luogo, nella formazione dei *super-organismi* avviene un «super-congelamento» (si determinano dei *macro-quanti* indisponibili). In ultimo avviene un vero e proprio «scompaginamento strutturale» dell'*equipartizione* in tutti i casi di «fluttuazioni» dell'*ordine esplicito* in tutta la gerarchia degli *ordini implicati*.

In conclusione, il destino della *biosfera* è tutt'altro che affidato all'ineluttabilità del *determinismo*; sia il *secondo principio della termodinamica* sia il *principio di equipartizione dell'energia*, sono destinati a entrare in una dimensione nuova, caratterizzata da *eoni* e *non-località* che «vietano» la possibilità di qualsiasi *estensione deterministica*. In questo contesto, come abbiamo detto, sono necessari frequenti *punti fermi* (del tutto *asuali*) in ragione dei quali si possa dire «da questo momento in poi...»

5. Conclusioni

Oggi lo sviluppo della *biologia evuzionista*, perlomeno in certi ambiti, si sta sempre più *incrociando* con la *fisica quantistica*. In alcuni altri casi, l'incontro si sta verificando anche con altre *discipline*; ad esempio negli studi circa l'interazione *cervello/mente/corpo*, la prospettiva si allargherebbe agli *scienziati cognitivisti*; in tutti i casi, anche alla *filosofia*. In questi casi, nell'ambito di un ipotetico progetto scientifico *trans-disciplinare*, diventerebbe veramente difficile continuare a considerare la *biosfera* un *mondo* completamente «avvolto» da *leggi deterministiche*.

Facciamo un esempio concreto di questa difficoltà. Se volessimo spiegare la presenza improvvisa di massivi *grafi di neuroni* nel cervello, sulla base del-

le usuali *interazioni sinaptiche*, ci troveremmo in grosse difficoltà. Infatti, queste avvengono sempre *in sequenza*, quindi con velocità e tempi inadeguati per spiegare l'emergere di strutture così complesse. Per fornire spiegazioni plausibili, dovremmo ricorrere all'*entanglement quantistico*. Questo utilizza la presenza dei *plasmidi di elettroni*, che hanno la capacità di agire simultaneamente a distanza (*non-località quantistica*); quindi sono in grado di attivare, in questa maniera *non locale*, le ordinarie *connessioni sinaptiche*. In conclusione, per sviluppare un *programma di ricerca* su questo argomento, diventerebbe necessario formare un *team di ricerca* che coinvolga sia *biologi evuzionisti* sia *fisici quantistici* sostenitori dell'*entanglement*⁴.

Però la situazione potrebbe diventare paradossale: i *fisici* accetterebbero senza difficoltà, dai *biologi evuzionisti*, una concezione della *biosfera*, fondata su *fattori casuali, stocastici, emergentisti*; ma non condividerebbero per niente il *potere deterministico* che gli stessi *biologi evuzionisti* attribuiscono alle *leggi della fisica*. Questo provocherebbe vere e proprie *rottture di comunicazione*: diventerebbe difficile, ad esempio, utilizzare *vocabolari comuni*, fare riferimento a *conoscenze di sfondo* condivise, raggiungere l'accordo sui criteri con cui si costruiscono le *prove*; al limite si incontrerebbero difficoltà nello stabilire quello che deve essere *accettato o non accettato* come un semplice *fatto esperienziale*.

Per questo la *cosmologia*, riferita alla *biosfera*, dovrebbe essere una *cosmologia tout court*, valida in tutti gli *ambiti*, quello *sub atomico*, quello *macroscopico* della *fisica classica*, quello della *mente* e quello dell'intera *astrofisica*. In questo senso, *collasso delle funzioni d'onda; entanglement quantistici; non-località; fluttuazioni* tra differenti *sistemi d'ordine; eoni* descritti da *ripiegamenti circolari della freccia del tempo*, rappresentano, come abbiamo visto, altrettanti capisaldi di una *cosmologia generale* dell'intero *universo*.

Vorrei terminare dedicando ai *biologi evuzionisti* una piccola riflessione: non sono gli aspetti *casuali, stocastici, emergentisti*, a dover essere «avvolti» da *leggi deterministe* che ne «segnino» i *limiti di libertà*. Piuttosto è vero il contrario; sono proprio gli aspetti deterministici di queste ultime a dover essere «limitati» dagli andamenti *casuali, stocastici, emergentisti* che fondano la dimensione del *tempo*.

⁴ La prima ipotesi dell'*entanglement quantistico* nel funzionamento del cervello è imputabile a Stuart Hameroff (un biologo medico-anestesista). Tuttavia, quasi nello stesso periodo e in maniera del tutto indipendente, ipotesi analoghe sono state avanzate da Kunio Yasue (un fisico quantistico). In seguito, per opera di Hameroff, Yasue, Karl Pribram (un neurobiologo) fu messa a punto una prima teoria dell'*esperienza conscia*. La teoria fu poi sviluppata ulteriormente con l'ipotesi dell'*entanglement quantistico*, dovuto ai successivi incontri con Bohm e Penrose. Come si vede, un gruppo di ricerca costituito da *biologi evuzionisti* e *fisici quantistici*.