

Auto-organizzazione biologica, memoria distribuita e sviluppo della conoscenza

Mirko Di Bernardo

1 Teoria della complessità e informazione biologica

In questi ultimi anni, le scienze cognitive, la neurobiologia, la meccanica quantistica, la bio-matematica e la bioinformatica, da un lato, e la semantica funzionale, la semantica non standard e la dinamica simbolica, dall'altro, hanno condotto all'apertura progressiva di nuovi e fruttuosi orizzonti della ricerca anche per quanto concerne l'ambito della teoria della complessità, ovvero lo studio interdisciplinare dei sistemi complessi adattativi (sistemi naturali e biologici) e dei fenomeni emergenti ad essi associati. L'articolazione di tale teoria, infatti, a partire dagli anni Novanta, è venuta ampliandosi, non riferendosi più solo alla semplice disamina di fenomeni dissipativi di stampo markoviano¹, fino a considerare fenomeni di elaborazione e di trasformazione accoppiata dell'informazione presenti al livello del costituirsi successivo di un sistema biologico di elaborazione dell'informazione stessa². Così al riduzionismo metodologico della biologia molecolare delle attività cognitive di Kandel e di Squire³ si affianca una visione olistica che non affonda le proprie radici nello spirito vitale, bensì nella matematica stessa, in cui i sistemi biologici non sono più né equivalenti alla somma delle loro parti, né determinabili in base alle sole condizioni iniziali. I sistemi cognitivi sono sistemi complessi, non lineari (impredicibili), dissipativi (che scambiano energia con l'esterno), capaci di generare sempre nuova informazione (dal caos si genera l'ordine)⁴: nelle dinamiche caotiche, infatti, risulta possibile separare i flussi energetici da quelli informativi, reciprocamente indipendenti⁵. Qui è possibile riconoscere con esattezza quel particolare intreccio di complessità, auto-organizzazione, intenzionalità e emergenza che caratterizza le forme naturali dell'attività cognitiva di ogni sistema vivente⁶. In questo contesto, dunque, lo studio dei meccanismi di trasmissione dell'informazione, che sono alla base dei processi di auto-organizzazione della mente,

¹ Cf. S. A. Kauffman, *The origins of order, self-organization and selection in evolution*. O.U.P., New York 1993.

² Cf. S. Grossberg, "Linking mind to brain: the mathematics of biological intelligence", *Notices of AMS*, 47 (2000), pp. 1361-1372; W.J. Freeman, "A pseudo-equilibrium thermodynamic model of information processing in nonlinear brain dynamics", *Neural Networks* 21(2008), pp. 257-265; A. Carsetti, "The emergence of meaning at the co-evolutionary level", *Int. Jour. of Applied Mathematics and Computation*, 219 (2012), pp. 14-23.

³ Cf. L. Squire, E. R. Kandel, *Come funziona la memoria. Meccanismi molecolari e cognitivi*, Zanichelli, Bologna 2010; E.R. Kandel, "Molecular biology of memory storage: a dialogue between genes and synapses", *Science*, 294, 5544 (2000), pp. 1030-1038; Id., *Alla ricerca della memoria. La storia di una nuova scienza della mente*, Codice, Torino 2010.

⁴ Cf. I. Prigogine, I. Stengers, *Order out of chaos*, Bentham Books, New York 1984; H. Mori, Y. Kuramoto, *Dissipative structures and chaos*, Springer, Berlin 2001.

⁵ Cf. R. Shaw, "Strange attractors, chaotic behavior, and information flow", *Z. Naturforsch.*, 36a (1981), pp. 80-112.

⁶ Cf. A. Weber, F. Varela, "Naturalizing teleology: towards a theory of biological subjects", in L. Illetterati, F. Micheli (eds.), *Purposiveness*, Ontos Verlag, Frankfurt 2008, pp. 201-219.

vengono aggrediti attraverso nuovi modelli matematici non più riconducibili agli strumenti offerti dalla tradizionale teoria dell'informazione di Shannon, all'algebra di Boole, a quella di Halmos e ai processi di Markov⁷. A differenza di quanto sostenuto, ad esempio, da Kandel, Squire, Damasio e dai coniugi Churchland⁸, infatti, qui informazione non vuol dire solo un messaggio che si propaga su un supporto, come nelle teorie informatiche dei segnali o in generale nella gestione dell'informazione (computazionalismo), bensì forma + intenzionalità (informazione incarnata o biologica), vale a dire, attualità, capacità di informare mediante una forma, facendo calare nella materia non solo un'informazione, ma attualizzando quella materia stessa, perché sia ciò che è già "disposta" ad essere⁹. Non si intende a questo livello mettere in discussione l'idea secondo cui la coscienza sia un processo naturale che emerge dal cervello, per altro condivisa anche da Searle e Nagel¹⁰, quanto piuttosto la visione secondo cui il cervello costituisca un organo computazionale di elaborazione dell'informazione la cui complessità dipende solo da una enorme quantità di interazioni biochimiche, ovvero da una concezione dell'informazione troppo semplice rispetto alla sofisticazione dei fenomeni vitali. Tale approccio deriva quasi esclusivamente dall'ambito fisico-matematico e computazionale, ove il concetto di complessità evoca in prima istanza limiti di computabilità, imprevedibilità e, tal volta, forse perfino "complicazione". Tale concezione di complessità organizzata, propria dei fenomeni vitali e cognitivi, da un lato non riducibile ad un materialismo meccanicistico e dall'altro non ascrivibile ad una forza spirituale, ma senza dubbio ispirata ad una visione "fisicalista", viene oggi ad essere rivisitata in virtù di nuovi concetti – incompletezza, in-computabilità, emergenza, non linearità e informazione semantica – in grado di mettere in scacco il riduzionismo ontologico e il determinismo biologico dall'interno della scienza stessa, introducendo altresì nell'ambito del *mind/body problem* la fondamentale nozione di *meaningful complexity* intrinsecamente connessa con una informazione non unicamente estensionale o sintattica, ma di natura intenzionale¹¹.

Stando così le cose, dunque, le attuali direzioni di ricerca sulle funzionalità del cognitivo, in senso lato, tendono ormai, già da oltre un ventennio, ad allontanarsi dalla matrice computazionale che le ha originariamente generate per accostarsi, sempre di più, ad una interpretazione della mente come un fenomeno emergente legato a processi profondi e distribuiti di auto-organizzazione¹². Una mente che in se stessa non è più analizzabile separatamente, mediante il ricorso a modelli standard basati su procedure algoritmiche, ma in modo sempre integrato considerando l'unità dinamica delle sue parti che la correlano al cervello-corpo, rendendola altresì «organismo, così come organismica è da considerarsi la sua situazione sinergica e interattiva con l'ambiente,

⁷ Cf. O. Häggström, *Finite markov chains and algorithmic applications*, C.U.P., Cambridge 2002.

⁸ Cf. P. S. Churchland, *L'io come cervello*, Raffaello Cortina, Milano 2014; P.M. Churchland, *La natura della mente e la struttura della scienza. Una prospettiva neuro computazionale*, Il Mulino, Bologna 1992; A. Damasio, *Il sé viene alla mente. La costruzione del cervello cosciente*, Adelphi, Milano 2012.

⁹ Per un ulteriore approfondimento si veda: M. Di Bernardo, *Neuroplasticity, memory and sense of self. An epistemological approach*, The Davies Group, Publishers, Aurora 2014.

¹⁰ Cf. J.R. Searle, *La mente*, Raffaello Cortina, Milano 2005; T. Nagel, *Cosa si prova ad essere un pipistrello*, Castelvecchi, Roma 2013.

¹¹ Cf. A. Carsetti, *Epistemic complexity and knowledge construction*, Springer, Berlin 2013; H. Atlan (ed.), *Selected writings*, Fordham University Press, 2011.

¹² Cf. F. Varela et al. *The embodied mind: cognitive science and human experience*, MIT Press, Cambridge 1991; W.J. Freeman, *Come pensa il cervello*, Einaudi, Torino 2001.

che la include, la comprende e, nello stesso tempo, la specifica e la distingue»¹³. Di conseguenza l'idea che un agente cognitivo sia qualcosa di centralizzato e unificato è stata sostituita dal concetto di un sé disunificato¹⁴. I moduli, infatti, sono privi di possibilità di accesso alla consapevolezza e all'introspezione poiché non sono comprensibili all'esperienza cognitiva¹⁵. Di qui l'emergere di un sé cognitivo non rappresentato da una totalità, bensì da una serie di unità emergenti di una rete disunificata¹⁶. Alla luce di tutto ciò, dunque, è possibile affermare che il processo di apprendimento (l'assimilazione dell'informazione) si pone ora come morfogenesi (emergenza di forma) e non più come messa in forma. In altre parole si tratta di un processo imprevedibile di sofisticazione crescente non più riducibile a una semplificazione di natura procedurale o algoritmica¹⁷.

2 La memoria come processo naturale e sistemico

In una prospettiva siffatta, la memoria giunge a configurarsi come una funzionalità distribuita, composta da differenti modalità elaborative e inerente a diversi domini naturali tra i quali rivestono un ruolo specifico particolari sistemi di modulazione che cooperano all'interno di aree di elaborazione encefalica più vaste – come il sistema limbico e la neocorteccia che sono stati considerati aree cerebrali depositarie, rispettivamente, dei processi emotivi e dei processi cognitivi – deputate a differenti livelli di elaborazione. Tali livelli, tuttavia, seppur distinguibili, sembrano essere profondamente correlati e vincolati l'uno all'altro; ed è proprio nelle aree di possibile collegamento tra il sistema limbico e la neocorteccia che la ricerca neuroscientifica ha localizzato nuclei nervosi implicati nei processi di apprendimento e di memoria¹⁸.

La definizione di una concezione multisistemica e distribuita della memoria, sostanziata dagli avanzamenti nell'ambito delle scienze cognitive e della neurobiologia, quindi, sembra indirizzare l'indagine epistemologica a considerare, sotto una nuova luce, le attitudini cognitive del soggetto e «la pluralità delle qualità fattoriali dei processi mnestici» con l'obiettivo di chiarificare come le «modalità elaborative di memorizzazione» tendano a variare in virtù della diversità degli stimoli di apprendimento forniti¹⁹. La memoria, così come la conoscenza, in quanto processo naturale²⁰, è pertanto profondamente “stratificata” e “situata” nei ricordi vissuti

¹³ C. Sabatano, *Come si forma la memoria. Ipotesi sperimentali di ricerca bioeducativa*, Carocci, Roma 2004, pp. 11-12. Cf. E. Frauenfelder, *Pedagogia e biologia. Una possibile alleanza*, Liguori Editore, Napoli 2001; F. Santoianni, *Sistemi biodinamici e scelte formative*, Liguori, Napoli 1998.

¹⁴ Cf. A. Carsetti, “Processi epigenetici e strutture riflessive nel sistema nervoso centrale”, *La Nuova Critica*, 69-70, 1984; S. Zeki, *La visione dall'interno: arte e cervello*, Bollati Boringhieri, Torino 2003; C. Sabatano, *Op. cit.*

¹⁵ Cf. J.A. Fodor, *La mente modulare*, Il Mulino, Bologna 1998; E. Frauenfelder, *Op. cit.*;

¹⁶ Cf. F. Santoianni, *Op. cit.*

¹⁷ Cf. E. Frauenfelder, F. Santoianni, *Nuove frontiere della ricerca pedagogica tra bioscienze e cibernetica*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli 1997; Id. (eds.), *Le scienze bioeducative. Prospettive di ricerca*, Liguori, Napoli 2002.

¹⁸ Cf. Penna, M., Pessa E., *Manuale di scienza cognitiva. Intelligenza artificiale classica e psicologia cognitiva*, Laterza, Roma-Bari 2004.

¹⁹ F. Santoianni, C. Sabatano, *Architetture cognitive. Apprendimenti e memorie*, Edizioni Pensa Multimedia, Lecce 2002.

²⁰ Dire che la conoscenza sia un processo naturale non vuol dire ridurla a semplici meccanismi molecolari o ad una realtà unicamente materiale. L'attuale indagine scientifica indica, infatti, che dalla materia

all'interno di un sistema culturale-simbolico di relazioni intersoggettive condivise, che risultano essenziali alla costruzione, assimilazione e trasmissione dei prodotti mnestici (livello epigenetico), considerati come «piattaforme di riferimento condivisibili e trasferibili»²¹.

«Il mondo (fisico, naturale, sociale) non si configura, d'altronde come una realtà esterna, estranea, che domina il soggetto, richiedendogli di adattarsi alle sue leggi; ma non è, tuttavia, neanche lo scenario amorfo in cui lo stesso soggetto si mette in gioco in quanto esperto manipolatore di ogni realtà possibile, di ogni ipotesi e previsione poiché tutto risulta prefigurabile e realizzabile nella sua mente. Il mondo è invece la complessa dimensione esperienziale in cui il soggetto in formazione costruisce di volta in volta strumenti conoscitivi per adattarsi alle situazioni e alle circostanze che lo chiamano in causa e lo sollecitano all'apertura, al rinnovamento, alla trasformazione, pur conservando la propria organizzazione interna e la propria identità di specie»²².

Nonostante taluni studi abbiano rivelato un sorprendente grado di specializzazione all'interno della corteccia cerebrale e confermato l'idea secondo cui l'immagazzinamento di diversi tipi di memoria faccia affidamento su differenti regioni cerebrali in maniera categoria-specifica, tuttora non si sa quasi nulla della natura del processo di rievocazione dei ricordi contenuti nella memoria esplicita (dichiarativa), un processo di ordine sistemico che richiede il coinvolgimento di tutto il cervello, comportando così l'integrazione dell'approccio *bottom-up* (utilizzato dalla biologia molecolare) con quello *top-down* (modelli non standard) delle scienze cognitive²³ e della teoria della complessità. In linea generale, tuttavia, è possibile inferire che la memoria sia «un processo epigeneticamente connotato che dipende dalla maturazione del sistema nervoso» profondamente connesso con la totalità del sistema cognitivo, dai processi percettivi fino ai processi mentali superiori, «mettendo in gioco elementi diversi, dall'affettività alle componenti motivazionali, dalle modalità di configurazione cognitiva alle sofisticate e stratificate organizzazioni elaborative del pensiero»²⁴.

3 Significato, costruzione della conoscenza e realtà

possono scaturire proprietà straordinarie; in effetti, si può ritenere che la materia stessa derivi da complessi processi di scambio di energia (campi di forza), da processi, vale a dire, già plasmati da una forma. La tesi sostenuta in questo saggio, pertanto, è che la conoscenza (intesa come "assimilazione dell'informazione") così come la memoria costituiscono processi altamente complessi che dipendono da disposizioni particolari della materia, pur non essendo ad essa riducibili (cf. G.M. Edelman, *Il presente ricordato*, Rizzoli, Milano 1991; Id. *Seconda natura. Scienza del cervello e conoscenza umana*, Raffaello Cortina, Milano 2007). A questo livello il termine coscienza è inteso nel senso inglese di *consciousness*, che indica auto-riflessività. In italiano e nelle scienze umane il termine coscienza fa invece spesso riferimento a "coscienza morale". In tal senso parlare di processi naturali applicati alla memoria e alla coscienza, concepita all'inglese, vuol dire identificare i "processi naturali" con i "processi umani", tipici della specie umana intesa come specie in natura. Infine, per quanto concerne la coscienza morale, secondo questa prospettiva, è possibile inferire che ad essere naturali siano certamente le sue pre-condizioni che risiedono appunto nell'intenzionalità, caratteristica fondamentale del *bios* (cf. Di Bernardo, *Op. cit.*).

²¹ C. Sabatano, *Formare al senso di sé. Percorsi e problemi pedagogici*, Edizioni ETS, Pisa 2005, p. 90.

²² F. Santoianni, M. Striano, *Modelli teorici e metodologici dell'apprendimento*, Editrice Laterza, Roma-Bari 2003, p. 59.

²³ Cf. E.R. Kandel et al., *Principi di neuroscienze*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano 2003.

²⁴ C. Sabatano, *Op. cit.*, p. 91.

In tal senso, seguendo le linee di ricerca tracciate nell'ambito delle scienze bioeducative²⁵ e dell'epistemologia della complessità, il concetto di forma può essere descritto come “dinamica processualità di crescita” e ciò che soprattutto interessa l'indagine psicogenetica può evidenziarsi come forma del pensiero. Un pensiero che non è solo meccanismo biologico, potenzialità genetica, ma anche e soprattutto intenzionalità che si incarna nel linguaggio simbolico umano, creando così sempre nuovi significati²⁶. In accordo con l'ipotesi fondamentale di Maturana e Varela, infatti, possiamo inferire che gli esseri viventi siano sistemi autopoietici, ossia in grado di produrre la propria identità auto-costruendosi costantemente; di conseguenza i sistemi autopoietici, anche se si modificano concretamente, risultano autonomi, nel senso che subordinano ogni cambiamento al mantenimento della propria organizzazione²⁷. Questa progressiva fioritura dell'idea di autonomia e di chiusura organizzativa da parte delle scienze biologiche costituisce un aspetto estremamente interessante del paradigma scientifico contemporaneo che, attualmente, sposta le riflessioni sulla forma verso impostazioni che vanno dal mondo delle strutture date (livello sintattico del *bios*) al mondo delle imprevedibili capacità funzionali e sistemiche del DNA (livello semantico del *bios*)²⁸. In tal guisa, in accordo con Kandel²⁹, un comportamento che prende forma è sempre legato ad una caratteristica biologica (la plasticità sinaptica), ma si realizza solo in funzione di un'esperienza a contatto con l'ambiente e, comunque, non risulta determinato dal “programma genetico”³⁰. In questo senso, l'organizzazione ottimale propria di un sistema biologico, in profonda relazione con il “significato-ambiente” circostante, dovrebbe essere considerata come un effettivo compromesso tra la massima variabilità, da un lato, e il più alto grado di specificità, dall'altro. Il discorso epistemologico³¹ può, allora, riferirsi a diverse modalità di raccordo con la variabilità

²⁵ Cf. E. Frauenfelder et al., *Introduzione alle scienze bioeducative*, Laterza, Roma-Bari 2004; F. Santoianni, C. Sabatano (eds.), *Brain Development in Learning Environments. Embodied and Perceptual Advancements*, Cambridge Scholars Publishing, Cambridge 2007.

²⁶ Occorre specificare che il concetto di significato qui usato implica la nozione di causazione intenzionale, dove la nozione di “intenzionalità”, così come divisata da Freeman, non si riferisce solo alla coscienza, ma alla capacità di ogni sistema vivente di agire (cambiando se stesso e l'ambiente che lo circonda) per realizzare un fine preciso: l'auto-conservazione (cf. J.W. Freeman, *Op. cit.*). Il concetto di significato, quindi, nell'ambito della teoria della complessità – nella sua versione estesa –, viene inteso come un processo profondo (capacità potenzialmente infinite) di “produzione di forme” (nel senso che “ritaglia” in modo creativo forme) e, in accordo con Carsetti e Atlan, si applica in più ambiti disciplinari (cf. A. Carsetti, “Linguistic structures, cognitive functions and algebraic semantics”, in Id. (ed.), *Functional models of cognition. Self-organizing dynamics and semantic structures in cognitive systems*, Kluwer, Dordrecht 2000, pp. 253-286; H. Atlan, “Intentional self-organization. Emergence and reduction. Towards a physical theory of intentionality”, *Thesis Eleven*, 52, 1998, pp. 5-34). L'auto-organizzazione biologica, in tal senso, è il processo di iscrizione, ricostruzione, assimilazione e riduzione realizzato nelle condizioni della doppia selezione e in accordo con sofisticate procedure cognitive. Essa, in altre parole, appare necessariamente plasmata dalle forme e dai moduli matematici che la determinano e le danno forma.

²⁷ Cf. H.R. Maturana, F.J. Varela, *Autopoesi e cognizione. La realizzazione del vivente*, Marsilio, Venezia 2001.

²⁸ Cf. M. Di Bernardo, “Complessità e informazione in biologia”, *Medic*, 20, 2 (2012), pp. 47-71.

²⁹ Cf. E.R. Kandel, *Psychiatry, Psychoanalysis, and the New Biology of Mind*. American Psychiatric Publishing, Washington 2005.

³⁰ Cf. E. F. Keller, *The mirage of a space between nature and nurture*, D.U.P., Duke 2010.

³¹ Cf. F. Santoianni, *La fenice pedagogica. Linee di ricerca epistemologica*, Liguori, Napoli 2007; Id., *Sviluppo e formazione delle strutture della conoscenza. Tendenze di ricerca nella pedagogia contemporanea*, Edizioni ETS, Pisa 2003.

dei flussi principi informativi in atto. L'invarianza, in effetti, che va tutelata in una situazione di sviluppo

«è quella relativa alla coordinazione unitaria dei *patterns* profondi di crescita. E', appunto, all'interno di questo rapporto dinamico tra superficie e profondità che possiamo rinvenire il *telos* atto a farci comprendere come sia possibile mantenere una identità a carattere analitico, pur nella trasformazione progressiva e sintetica delle strutture informative»³².

In un quadro siffatto, le strutture epigenetiche che vivono a livello sensoriale appaiono allora essere dei filtri in divenire la cui crescita è guidata in modo indiretto dall'intelletto mediante mutamenti successivi nel disegno delle misure, a livello probabilistico e relazionale, ottenute attraverso il ricorso a specifiche procedure di riflessione³³. In tal senso, possiamo ipotizzare che sia questo intricato sentiero che consente, almeno in parte, di realizzare una sorta di assimilazione, in via indiretta, del messaggio esterno, una assimilazione che rinsalda l'accoppiamento tra l'ambiente e i processi auto-organizzativi interni³⁴. Si apre, in tal modo, un nuovo, ma al contempo antico³⁵, capitolo di ricerca, un capitolo che rappresenta attualmente uno dei fulcri della investigazione in atto a livello delle scienze epistemologiche e delle scienze cognitive. In virtù delle acquisizioni raggiunte sulla base del cammino sinora effettuato appare, infatti, possibile affermare che, a livello dei sistemi cognitivi complessi, l'attività cognitiva trova le sue origini nel reale³⁶, pur rappresentando, contemporaneamente, il tramite necessario attraverso cui il reale stesso può giungere a costituirsi in modo oggettivo. In tal senso, in accordo con Carsetti, l'oggettività della realtà è anche a misura della autonomia raggiunta dalle procedure della cognizione. In un tale quadro, infatti, «le procedure del riferimento appaiono come relative alle modalità stesse di costituzione, con successo, del raccordo effettivo tra le operazioni della visione e del pensiero»³⁷: esse, infatti, assicurano il costituirsi non solo di una replica adeguata, bensì di una «autonomia cognitiva nella verità»³⁸. Ecco, dunque, il profilarsi di un metodo che è progetto, *telos*, e attività regolativa, codice che facendosi processo si pone, altresì, a

³² A. Carsetti, "Teoria algoritmica dell'informazione e sistemi biologici", *La Nuova Critica*, 3-4, (1987), p. 39.

³³ Cf. E. Jablonka, M.J. Lamb, *L'evoluzione in quattro dimensioni*, UTET, Torino 2007; P. J. Richerson, R. Boyd, *Non di soli geni. Come la cultura ha trasformato l'evoluzione umana*, Codice, Torino 2006.

³⁴ Cf. C.D. Landry, E.K. Kandel, P. Rajasethupaty, "New mechanism in memory storage: piRNAs and epigenetics", *Trends Neurosci.*, S0166-2236, 13 (2013), pp. 00103-3.

³⁵ Si pensi ad esempio ai seguenti lavori sul tema del realismo: A. Eddington, *The Nature of the Physical World* Ann Arbor, M.U.P., Michigan 1958; K. Popper, *Objective Knowledge: An Evolutionary Approach*, Clarendon Press, Oxford 1972; H. Maturana, F. Varela, *Op cit.*; H. Putnam, *The Marry Faces of Realism*, Open Court Press, La Salle 1987.

³⁶ Per un'introduzione al realismo funzionale si veda: F. Wuketits, "Functional realism", in A. Carsetti (ed.), *Op. cit.*, pp. 27-38; J. Götschl, W. Leinfellner, "Erwin Schrödinger's world view. The role of physics and biology in his philosophical system", in E. Gnaiger et al. (Eds.), *Modern Trends in BioThermoKinetics*, 3, I.U. P., Innsbruck 1994; A. Carsetti, "Linguaggi, procedure del riferimento e realtà", in L. Cuccurullo, E. Mariani (eds.), *Contesti e validità del discorso scientifico*, Roma 2005, pp. 262-279; Id., "Functional realism, non-standard semantics and the genesis of the minds' eyes", *La Nuova Critica*, 47-48 (2006), pp. 171-197.

³⁷ Id., "Linguaggi, procedure del riferimento e realtà", cit. p. 276.

³⁸ *Ibid.*

fondamento di una sintesi sempre nuova tra funzione e significato³⁹. Le procedure del riferimento, quindi, svolgono un ruolo di guida, di analisi e di canalizzazione rispetto ai flussi informativi primari e alle forze selettive in gioco, che si pongono come gli strumenti effettivi per il rinnovamento continuo del codice, ossia per l'affiorare di sempre nuova incomprimibilità. Di qui la possibilità di definire nuove misure della complessità, nonché il declinarsi reale di processi di ricostruzione continua a livello semantico⁴⁰. E', infatti, soltanto mediante una "riduzione" completa a livello del primo ordine (riduzionismo metodologico) e un'analisi non standard a livello degli ordini superiori (approccio olistico e teleonomico), che nuova incomprimibilità potrà venire a declinarsi sul piano effettivo. Onde, la possibilità concreta di un raccordo tra le cose che si vedono e quelle che non si vedono, tra l'individuazione a livello visivo e il pensiero relativo alle connessioni esistenti tra di essi. Ecco, dunque, affiorare il raccordo degli occhi della mente con quelli del significato, di un significato inteso qui come "forma auto-organizzantesi in azione" che si fa "generatività e pensiero"⁴¹.

Alla luce di tutto ciò, dunque, l'abilità dell'osservatore nel costituire le sue misure viene, pertanto, a far parte, in modo intrinseco, dello stesso processo di costituzione del dato in quanto dato per l'osservatore. In tal modo, a livello epigenetico, memoria e *meaningful complexity* si rivelano strettamente connessi al realizzarsi, in senso diacronico, di un processo olistico caratterizzabile solo nei termini di una logica di ordine superiore (morfogenesi in atto), un processo al cui interno la relazione di alternatività tra "sistemi mondi" si manifesta come il prodotto di *patterns* specifici in interferenza all'interno dei quali si situa l'origine di quella articolazione teleonomica che caratterizza il processo stesso⁴². La funzione mnestica si configura, dunque, come un processo dinamico e profondo di ricostruzione e connessione di operazioni di auto-riflessione interna, piuttosto che come un semplice "immagazzinamento" di dati in uno spazio mentale statico. Così come il mondo del primo ordine monadico, su cui si staglia la classica misura dell'informazione di Shannon, appare connesso alla esistenza precisa di forme di invarianza e alla definizione di spazi di misura univoci, a livello di ordini superiori, invece, abbiamo la presenza di specifiche dicotomie, di potenzialità diverse che si danno in modo simultaneo, di un *bricolage* evolucionistico che si realizza per stati ad incastro successivo⁴³ e tuttavia legati insieme in modo olistico all'interno di un processo di sintesi dialettica tra forma, funzione e significato, di un processo, vale a dire, che giunge, in ultima istanza, a caratterizzare il gioco stesso della vita.

³⁹ Cf. Id., "The embodied meaning: self-organisation and symbolic dynamics in visual cognition", in Id. (ed.), *Seeing, thinking and knowing. Meaning and self-Organisation in Visual Cognition and Thought*, Kluwer, Dordrecht 2004, pp. 307-330.

⁴⁰ Cf. Id., "Randomness, information and meaningful complexity: some remarks about the emergence of biological structures", *La Nuova Critica*, 36 (2000), pp. 47-109.

⁴¹ Cf. Id., "The embodied meaning: self-organisation and symbolic dynamics in visual cognition", cit.

⁴² Cf. Id., "Eigenforms, natural self-organization and morphogenesis", *La Nuova Critica*, 55-56 (2010), pp. 75-100; G. Longo, M. Montévil, "Biological Order as a Consequence of Randomness: Anti-entropy and Symmetry Changes", in *Perspectives on Organisms*, Springer, Berlin 2014, pp. 215-248.

⁴³ Cf. F. Jacob, *Evoluzione e bricolage. Gli espedienti della selezione naturale*, Einaudi, Torino, 1997.