

GIANFRANCO MINATI\*

## INTRODUZIONE ALLA FENOMENOLOGIA DELL'EMERGENZA

### *Introduction to Phenomenology of Emergence*

This contribution presents some specifications on the phenomenological and theoretical aspects of the processes of emergence. In the framework of the *theoretical incompleteness* as a condition probably necessary for the establishment of processes of emergence, the need for compatibility and equivalence between the possible evolutionary steps of emerging complex systems is considered. We consider phenomena and theoretical aspects *compatible* with the establishment of processes of emergence. There may be aspects between them that are necessary and possibly sufficient. This in the context of the absence of a theory of emergence. Absence that could be theoretically necessary within the framework of the validity of the theoretical incompleteness required for emergence.

*Keywords:* Coherence, Emergence, Equivalence, Incompleteness

### 1. *Emergenza*

Questo contributo specifica quanto introdotto nel capitolo intitolato *Introduzione al pensiero sistemico e ai suoi recenti sviluppi*<sup>1</sup> e nel capitolo intitolato *Note di sintesi: novità, contributi, prospettive di ricerca dell'approccio sistemico*<sup>2</sup> per quanto riguarda i processi di emergenza. In presenza di mancanza di una teoria dell'emergenza e del consolidarsi di usi di approcci multipli sostitutivi, anche con specificità disciplinari, si delinea lo studio di una *fenomenologia dei processi di emergenza*<sup>3</sup>.

A beneficio del lettore deliniamo in Tavola 1 alcuni concetti riguardanti fenomeni di emergenza comparati con quelli di auto-organizzazione<sup>4</sup>. In grande sintesi possiamo

---

\* Associazione Italiana per la Ricerca sui Sistemi (AIRS). Email: gianfranco.minati@airs.it  
Received: 27.02.2018; Approved: 11.05.2018.

<sup>1</sup> G. MINATI, *Introduzione al pensiero sistemico e ai suoi recenti sviluppi*, «Rivista di Filosofia Neo-Scolastica», CVIII (2016), 2, pp. 271-276.

<sup>2</sup> ID., *Note di sintesi: novità, contributi, prospettive di ricerca dell'approccio sistemico*, in L. URBANI ULIVI (a cura di) *Strutture di mondo. Il pensiero sistemico come specchio di una realtà complessa. Volume II*, Il Mulino, Bologna 2013, pp. 315-336.

<sup>3</sup> ID., *Phenomenological Structural Dynamics of Emergence: An Overview of How Emergence Emerges*, in L. URBANI ULIVI (ed.) *World Structures. How Systemic Thinking Reflects Our Complex Reality*, Springer, New York, in progress.

<sup>4</sup> E. PESSA, *Processi di auto-organizzazione e interazioni sistemi-ambiente*, «Rivista di Filosofia Neo-Scolastica», CIV (2012), 4, pp. 623-643; T. DE WOLF - T. HOLVOET, *Emergence Versus Self Organisation: Different Concepts but Promising when Combined*, in S.A. BRUECKNER - G. DI MARZO SERUGENDO -

dire che i fenomeni di transizione di fase sono costituiti dal trasformarsi di una struttura in un'altra (es. acqua-ghiaccio-vapore). Fenomeni di auto-organizzazione sono dati dal costituirsi *non prescritto* di strutture che, all'interno di una minima dinamica, si mantengono *stabili*, dotate cioè di ripetitività e quasi periodicità (esempi sono proprietà di *strutture dissipative* – introdotte sotto – come i gorgi di liquido attorno ad un punto, lo scarico in questo caso – *attrattore* introdotto sotto –, e altri fenomeni come variazioni cromatiche chimiche oscillanti – reazioni di Belousov-Zhabotinsky<sup>5</sup> – e costituzione di celle esagonali<sup>6</sup> in liquidi con viscosità fortemente dipendente dalla temperatura). Nel caso dell'auto-organizzazione i modelli sono effettivamente disponibili ed il manifestarsi del fenomeno dipende in modo critico dai rapporti tra condizioni al contorno e non-linearità, ad esempio secondo modelli quali il *Brussellator*<sup>7</sup> (nome di un modello di reazioni chimiche) introdotto da Ilya Prigogine (1917-2003). Si tratta di sistemi dove lo sviluppo di strutture auto-organizzate cresce in modo polinomiale. Ci fu un periodo in cui si è pensato che queste strutture potessero fornire la base di una teoria generale per la formazione di strutture. Vari risultati teorici misero fine a questa aspettativa.

I fenomeni di emergenza sono concettualmente considerabili come dati da sequenze *coerenti* (si veda la sezione 2.2. per una definizione di coerenza) di stati assunti da fenomeni di auto-organizzazione locali (esempi di proprietà emergenti sono quelle del doppio pendolo, del sistema atmosferico, del traffico di segnali e di reti – come quella elettrica che può andare in *black out* per perturbazioni minimali remote<sup>8</sup>. Per sistemi viventi si possono considerare le proprietà degli ecosistemi, stormi, sciami, traffico di veicoli che varia forma, direzione e densità ma si mantiene come sistema, dei distretti industriali e dei mercati).

Le differenze tra auto-organizzazione ed emergenza sono esplorabili in vari contesti concettuali. Ad esempio quando si distingue tra *dinamica* e *dinamica strutturale*. Il primo tipo di dinamica si riferisce ai consueti sistemi dinamici rappresentati da variabili e parametri dipendenti dal tempo come considerato dalla teoria dei sistemi dinamici con i modelli analitici, i concetti di equilibrio, cicli limite e caos. Tali sistemi sono studiati da Dynamical Systems Theory<sup>9</sup>.

Contesto adeguato concettualmente, compatibile con lo stabilirsi di fenomeni di emergenza, è piuttosto quello della *dinamica strutturale* in cui i cambiamenti che avvengono all'interno dei sistemi oggetto di studio non si riferiscono solo alle variabili e parametri delle stesse rappresentazioni analitiche temporali (semplificando: della stessa struttura). La dinamica strutturale considera sequenze di cambiamenti sia strut-

---

A. KARAGEORGOS - R. NAGPAL (eds.), *Engineering Self-Organising Systems: Methodologies and Applications*, Springer, Berlin - Heidelberg 2005 (Lecture Notes in Computer Science, 3464), pp. 1-15.

<sup>5</sup> S. KINOSHITA (ed.), *Pattern Formations and Oscillatory Phenomena & Belousov-Zhabotinsky Reaction*, Elsevier, Amsterdam 2013.

<sup>6</sup> F.H. BUSSE - H. FRICK, *Square-Pattern Convection in Fluids with Strongly Temperature-Dependent Viscosity*, «Journal of Fluid Mechanics», 150 (1985), pp. 451-465.

<sup>7</sup> G. NICOLIS - I. PRIGOGINE, *Self-Organization in Nonequilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order through Fluctuations*, Wiley, New York 1977.

<sup>8</sup> G. PAPERIN - D.G. GREEN - S. SADEDIN, *Dual-Phase Evolution in Complex Adaptive Systems*, «Interface», 8 (2011), pp. 609-629.

<sup>9</sup> G. MINATI - E. PESSA, *From Collective Beings to Quasi-Systems*, Springer, New York 2018, pp. 64-65. D.D. NOLTE, *Introduction to Modern Dynamics: Chaos, Networks, Space and Time*, Oxford University Press, Oxford 2014.

turali sia non strutturali insieme alle proprietà di tali sequenze. Tale dinamica strutturale è considerata con riferimento a sistemi complessi<sup>10</sup>.

Un esempio è dato da sequenze di transizioni di fase e processi di auto-organizzazione in cui le proprietà di tali sequenze dovrebbero essere intese come costituenti una dinamica strutturale, a volte coerente<sup>11</sup> quando costituente sistemi complessi<sup>12</sup>. Come esempio generico consideriamo la creazione di *Collective Beings*<sup>13</sup> emergenti dai comportamenti collettivi quali cambiamenti strutturali coerenti, come i formicai; traffico automobilistico e di segnali; stormi; distretti industriali; sistemi sociali, come città e mercati; sciami; e reti telefoniche e di trasporto.

Un altro contesto concettuale da considerarsi è quello riguardante la dinamica (senz'altro strutturale) tra sistema e ambiente del resto di difficile specificazione<sup>14</sup> e dalla modificazione dei gradi di libertà<sup>15</sup>. Nella dinamica di frontiera il sistema cambia rapidamente proprietà globali e locali, numero e natura degli elementi.

Consideriamo ora come nell'emergenza fenomenologica le condizioni al contorno non siano mai le stesse, richiedendo la necessità di adottare un livello descrittivo basato sulle scelte dell'osservatore, parte integrante del fenomeno, come vedremo sotto.

Al riguardo ricordiamo un importante contributo all'argomento proposto da Crutchfield<sup>16</sup> nel 1994 che ha distinto tre tipi di emergenze:

1. Definizione intuitiva, corrispondente ad una prima identificazione di 'emergenza' con novità.
2. Lo stabilirsi di forme, dinamiche strutturali e comportamenti considerati emergenti quando si verificano come conseguenza non banale della struttura del modello adottato, ma prevedibile in anticipo sulla base di sofisticate analisi matematiche del modello stesso. Questo è, ad esempio, il caso delle cosiddette strutture dissipative citate sopra.
3. Emergenza intrinseca, riferita a un processo in cui l'insorgere di un determinato comportamento non è solo imprevedibile, ma la sua insorgenza dà origine a profondi cambiamenti nelle strutture di sistema tali da richiedere la formulazione di un nuovo modello del sistema stesso.

In accordo con queste definizioni solo l'emergenza intrinseca dovrebbe essere considerata come una specifica corretta di ciò che è inteso quando si parla di proprietà sistemiche, non riducibile alle proprietà dei singoli componenti specifici di un dato sistema ma, al contrario, emergente solo dalle interazioni tra loro. L'importanza di

<sup>10</sup> MINATI - PESSA, *From Collective Beings to Quasi-Systems*, pp. 64-87.

<sup>11</sup> G. MINATI - I. LICATA, *Emergence as Mesoscopic Coherence*, «Systems», 1 (2013), pp. 50-65. Online: <http://www.mdpi.com/2079-8954/1/4/50>.

<sup>12</sup> IDD., *Meta-Structural properties in Collective Behaviours*, «The International Journal of General Systems», 41 (2012), pp. 289-311.

<sup>13</sup> G. MINATI - E. PESSA, *Collective Beings*, Springer, Berlin 2006; IDD., *From Collective Beings to Quasi-Systems*.

<sup>14</sup> I. LICATA, *I Gatti di Wiener. Riflessioni Sistemiche sulla complessità*, Bonanno, Acireale (CT) 2015.

<sup>15</sup> I. LICATA - G. MINATI, *Emergence, Computation and the Freedom Degree Loss Information Principle in Complex Systems*, «Foundations of Science», 21 (2016), pp. 1-19.

<sup>16</sup> J.P. CRUTCHFIELD, *The Calculi of Emergence: Computation, Dynamics and Induction*, «Physica D», 75 (1994), pp. 11-54.

questo concetto di emergenza intrinseca ha portato, negli ultimi anni, a ricercare sia le condizioni in cui si manifesta sia i modi migliori per descrivere l'evoluzione temporale di un sistema che la possiede.

A questo punto va meglio specificato il ruolo dell'osservatore non certo riducibile a generatore di relativismo, ma di *esistenza cognitiva*. L'approccio costruttivista che abbiamo in mente è legato, ad esempio, con quello di De Finetti in merito alla probabilità<sup>17</sup>.

Secondo De Finetti la probabilità non esiste in senso oggettivo. La probabilità è destinata a esistere solo soggettivamente nelle menti degli osservatori, a seconda della configurazione della situazione presa in considerazione e delle loro aspettative. Il passato non ha importanza dal momento che le configurazioni non hanno memoria del passato. Ogni tentativo è nuovo e i valori probabilistici sono riportati alle condizioni iniziali ogni volta.

Occorre considerare l'approccio costruttivista nel quadro concettuale, ad esempio, dei principi fisici teorici dell'incertezza; complementarità; indeterminatezza; l'incompletezza epistemologica dell'uso dinamico dei modelli (DYSAM), quando il fenomeno in studio è così complesso che sono necessari diversi modelli non equivalenti<sup>18</sup> e vi è necessità di *apertura logica*<sup>19</sup>.

Auto-organizzazione	Emergenza
Sincronicità	Sincronizzazioni multiple variabili e a loro volta sincronizzate (es. pendoli multipli a periodo variabile)
Periodicità	Periodicità multiple
Auto-similarità quando a scale diverse un oggetto geometrico è simile ad una sua parte, vedi le Sezioni 2.2.6. e 2.3.4.	Esistono forme di coerenza che vanno oltre una definizione meramente basata sulla sincronizzazione. Il motivo è – come abbiamo ricordato –, il cambiamento dell'intera natura del sistema. <i>Coerenza</i> è intendibile come proprietà di elementi, interagenti collettivamente, di acquisire e mantenere proprietà emergenti (es. forme di stormi e di traffico), rappresentabile, ad esempio con correlazioni <i>long-range</i> , quando la correlazione interessa <i>tutti</i> gli elementi del sistema. Casi interessanti mostrano inoltre coerenza di tipo mesoscopico a certe scale intermedie dei range possibili del sistema (vedi nota <sup>12</sup> ).

Tavola 1. Cenni ai concetti di auto-organizzazione ed emergenza

<sup>17</sup> B. DE FINETTI, *Theory of Probability. A Critical Introductory Treatment*, Wiley & Sons, London 1975.

<sup>18</sup> MINATI - PESSA, *Collective Beings*, pp. 64-75.

<sup>19</sup> I. LICATA, *La Logica Aperta della Mente*, Codice Edizioni, Torino 2008. G. MINATI - M.P. PENNA - E. PESSA, *Thermodynamic and Logical Openness in General Systems*, «Systems Research and Behavioral Science», 15 (1998), 3, pp. 131-145.

In conclusione un sistema è detto complesso quando è costituito da fenomeni di emergenza (ad esempio essere del tipo indicato alla sezione 2.2., possedere le proprietà del tipo indicato alla sezione 2.3.). Popolazioni di entità interagenti collettivamente (es. il moto Browniano) possono *non* costituire un sistema in mancanza della validità di proprietà sufficienti opportune (non potremo impegnarci a dire necessarie) che vedremo sotto.

Un sistema *non complesso* è dato, ad esempio, da regole di interazione *lineari* per cui valgono le proprietà di *additività*  $f(x + y) = f(x) + f(y)$  e *omogeneità*  $f(\alpha x) = \alpha f(x)$  per qualsiasi  $\alpha$ . È il caso di sistemi *regolabili* come dispositivi elettronici e termomeccanici a cui si applica il concetto di *funzionamento*, sistemi di regole e procedure che acquisiscono, applicate, le proprietà di robustezza e affidabilità. La non-linearità è proprietà probabilmente necessaria dei sistemi complessi.

## 2. Come avviene il processo di emergenza?

Tutto deve accadere in qualche modo, eventualmente in modi multipli anche equivalenti. I modi poi possono essere in numero qualsiasi.

Però il modo con cui accade può non rappresentare sufficientemente il fenomeno, come invece ritiene il riduzionismo. Ad esempio, sapere *tutto* della meccanica, muscolatura e dinamica del movimento delle dita di un pianista non ci dice però nulla della musica.

Si tratta di considerare proprietà complessive delle modalità dell'accadere, come la coerenza.

*Tentiamo qui di delineare alcuni aspetti cruciali del costituirsi e mantenersi del fenomeno dell'emergenza.*

In particolare nella *prima parte* considereremo alcune proprietà ritenute capaci di facilitare, indurre lo stabilirsi di processi di emergenza. Rimarranno tuttavia indefinite la loro eventuale necessità, sufficienza ed esaustività.

Nella *seconda parte* considereremo esempi di fenomeni compatibili con lo stabilirsi di processi di emergenza.

Nella *terza parte* considereremo esempi di proprietà compatibili con lo stabilirsi di processi di emergenza (Barabási parla di *marchi di fabbrica*)<sup>20</sup>.

Gli aspetti considerati nelle seguenti tre sezioni sono intese rappresentare fenomenologia tipica dei processi di emergenza, questo in mancanza di una teoria dell'emergenza, probabilmente teoricamente *irrealistica* vista le necessità di incompletezza teorica, come vedremo sotto.

Considereremo in seguito processi di emergenza come dati e rappresentati da fenomeni collettivi dotati di coerenza quali i comportamenti collettivi. Si considereranno quindi proprietà acquisite dai fenomeni collettivi come proprietà emergenti. L'interazione collettiva (con le sue proprietà) degli *elementi costituenti* (es. uccelloni in uno stormo, agenti bio-chimici in un ecosistema, ruoli termodinamici nella dinamica dell'atmosfera, titoli e azioni nel mercato finanziario, e segnali circolanti in una rete) è ritenuta costituire la fenomenologia del processo di emergenza in studio. Vi saranno anche considerazioni in merito a proprietà di eventi (variazioni nel

<sup>20</sup> A.L. BARABÁSI, *Link: la nuova scienza delle reti*, tr. it. di B. Antonielli D'Oulx, Einaudi, Torino 2002.

comportamento assunto dagli elementi costituenti) adeguate per la costituzione di processi di emergenza (sezione 2.1.).

### 2.1. *Alcune proprietà capaci di facilitare, indurre emergenza*

Indichiamo sostanzialmente quattro proprietà generiche di eventi probabilmente necessarie anche se non sufficienti per lo stabilirsi di processi di emergenza:

- **Ammissibilità.**  
Si tratta del rispetto di vincoli tali per cui il variare è fisicamente possibile e così autorizzato a divenire. Si considerano eventi possibili all'interno di determinati *gradi di libertà*.
- **Compatibilità di più eventi ammissibili.**  
Si tratta del rispetto di vincoli complessivi locali eventualmente con estensioni variabili fino ad interessare la totalità, evitanti contraddittorietà, autorizzanti l'avvenire contemporaneo e in determinate sequenze e combinazioni. Eventi ammissibili potrebbero così non essere compatibili. A loro volta eventi compatibili potrebbero non essere coerenti.
- **Equivalenza di eventi compatibili.**  
Si tratta dell'equivalenza, indifferenza di valori di eventi compatibili e loro combinazioni, per la coerenza del fenomeno collettivo emergente e per le sue proprietà. Ogni evento è considerato autorizzato ad avvenire all'interno di valori di soglia tali da mantenere la compatibilità e la coerenza complessiva. Questa equivalenza è di fondamentale importanza per comprendere la *natura* dell'impossibilità teorica di previsione *microscopica* nei fenomeni di emergenza data inoltre dal fatto che configurazioni istantaneamente equivalenti originano tragitti evolutivi differenti a seconda dell'equivalenza considerata. L'iterazione di fenomeni con le stesse condizioni iniziali potranno portare a tragitti evolutivi differenti.
- **Incompletezza teorica.**  
Si tratta del conseguente quadro concettuale in cui considerare approcci di modellizzazione e simulazione di fenomeni di emergenza. L'incompletezza teorica<sup>21</sup> si riferisce ai ruoli della non decidibilità come non procedurabilità<sup>22</sup>; non rappresentabilità *esplicita* (ad esempio impossibilità di *zippare* tutto in un modello di equazioni e di usare *modelli ideali* dati da principi generali assunti validi per qualsiasi fenomeno); alla necessità di usare simultaneamente modelli non equivalenti; alla validità di principi di indeterminazione (l'accuratezza nel misurare una variabile è a scapito di un'altra); alla validità di principi di complementarità (es. onda-particella); allo stabilirsi di singolarità (es. difetti); alla necessità di operare nel contesto dell'*apertura logica*<sup>23</sup> quando un modello

<sup>21</sup> G. MINATI, *Knowledge to Manage the Knowledge Society: The Concept of Theoretical Incompleteness*, «Systems», 4(3) (2016), 26. Online: <http://www.mdpi.com/2079-8954/4/3/26>; MINATI - PESSA, *From Collective Beings to Quasi-Systems*.

<sup>22</sup> Il *problema della decisione* è un problema posto da Hilbert nel 1928. Si tratta dell'individuabilità di una procedura meccanica in grado di stabilire se un enunciato è o meno deducibile all'interno del sistema formale. La risposta negativa fu data indipendentemente nel 1936 da Church e da Turing.

<sup>23</sup> MINATI - PENNA - PESSA, *Thermodynamic and Logical Openness in General Systems*; LICATA, *La Logica Aperta della Mente*.

completo ed esplicito del sistema e della sua interazione con l'ambiente non è disponibile né possibile.

È da notare come le quattro proprietà considerate siano a loro volta riferibili al *principio di indifferenza* introdotto da Mario Ageno (1915-1992), padre della biofisica italiana. Consideriamo processi di accrescimento in un sistema fisico e in una popolazione batterica. Mentre per il sistema

fisico il numero di modi in cui si realizza, ad esempio, la fissione è assai limitato perché vincolato alla stabilità dei nucleoni, nel caso del sistema biologico le variazioni nel corso dell'espressione genica possono generare un numero enorme, o meglio indefinito di batteri distinguibili! In altre parole il concetto stesso di probabilità sembra svuotarsi di senso, perché a parità di condizioni energetiche il sistema esibisce una varietà di comportamenti imprevedibili, impossibili da classificare gerarchicamente neppure in senso probabilistico<sup>24</sup>.

Nel caso di un sistema dove la non linearità è controllabile, i vincoli sono chiari ed enumerabili, la natura delle relazioni sistema-ambiente si presta ad una modellizzazione, è possibile introdurre una gerarchizzazione probabilistica delle strutture possibili; nel caso dell'emergenza radicale questo non è possibile neppure in linea di principio. «Il principio di indifferenza incorpora e formalizza un altro punto importante, che più volte Ageno ha richiamato nei suoi scritti, quello della *legalità* della fisica contro la *storicità* della biologia (e di tutti i sistemi autenticamente “complessi” come quelli cognitivi e sociali)»<sup>25</sup>.

## 2.2. Esempi di fenomeni compatibili con lo stabilirsi di processi di emergenza

I fenomeni che indicheremo nel seguito non solo sono compatibili, ma possono avere modellizzazioni che permettono generalizzazioni fino a costituire proprietà poi considerate nella sezione 2.3. e avere intersezioni concettuali. È ad esempio il caso degli attrattori e di fenomeni di dissipazione.

### 2.2.1. Attrattori (nei fenomeni).

Si tratta dello stabilirsi di uno o più ‘punti’ attorno a cui il tragitto evolutivo del sistema tende. Ne sono esempi il centro di un gorgo di liquido, il punto luminoso attorno a cui uno sciame di moscerini rotea e un luogo di discarica attorno a cui gabbiani volano.

### 2.2.2. Coerenza (nei fenomeni).

Un tipo di coerenza minimo è dato dalla *sincronizzazione* comportamentale. Possono costituirsi sincronizzazioni multiple e variabili, ad esempio con fasi variabili nel tempo; interessanti cluster variabili nel tempo; le diverse sincronizzazioni con le loro fasi possono avere a loro volta sincronizzazioni. La coerenza *tout-court* può poi essere considerata come data dal mantenersi di proprietà complessive nel tempo nonostante il variare di altre proprietà complessive. Ad esempio un comportamento collettivo è riconosciuto mantenersi come tale sia pur a fronte di variazioni (anche numeriche) delle entità costituenti,

<sup>24</sup> I. LICATA, *La Descrizione Fisica dei Sistemi Viventi*, «Riflessioni Sistemiche», 9 (2013), pp. 37-50. Online: [http://www.aiems.eu/files/licata\\_9.pdf](http://www.aiems.eu/files/licata_9.pdf).

<sup>25</sup> *Ibidem*.



della loro densità, velocità, altezza, intensità (in caso di segnali) fino al raggiungimento di soglie critiche oltre le quali il comportamento collettivo è da intendersi disgregato, degenerato in un insieme. In questi casi di mantenimento della stessa proprietà emergente complessiva a scale diverse (similarità del modo di cambiare), la correlazione (vedi la sezione 2.3.3.) è *long-range*, riguarda cioè tutto il sistema. Coerenza come mantenimento di proprietà in tragitti evolutivi diversi, compatibili ed equivalenti.

### 2.2.3. Comportamenti caotici.

Si tratta del fatto che il comportamento evolutivo del sistema ha una forte dipendenza dalle condizioni iniziali. Esempi sono dati dalla dispersione del fumo in un ambiente e dall'evoluzione delle condizioni atmosferiche (proprio dallo studio di queste furono introdotte le prime equazioni del caos)<sup>26</sup>.

### 2.2.4. Dissipazione.

Si tratta del costituirsi di *strutture dissipative*<sup>27</sup>, strutture che mantengono stabilità lontano dall'equilibrio attraverso la dissipazione di materia, energia, come gorghi d'acqua che entra nello scarico, i rulli di *Rayleigh-Bénard*<sup>28</sup> come vortici nell'atmosfera – trombe d'aria – e i sistemi viventi che si mantengono lontano dall'equilibrio (la morte) grazie a dissipazione continua.

### 2.2.5. Dominii di coerenza.

Si tratta dello stabilirsi di aree con coerenze diverse da parte di entità di qualsiasi natura. Ad esempio comportamenti collettivi entro cui vi sono altri comportamenti collettivi diversi ma compatibili, ad esempio circolari e non; materiali con presenza di accumuli locali con proprietà diverse; il caso di sincronizzazione multipla e anche remota per entità la cui interazione è mediata da entità intermedie, ad esempio la sincronizzazione remota in reti di oscillatori, reti di oscillatori che tendono ad andare in fase (il caso di comunità di lucciole che dopo un po' emettono luce in modo sincronizzato<sup>29</sup> e simulabile).

### 2.2.6. Invarianza di scala e auto-similarità (nei fenomeni).

Si tratta della proprietà per cui a una qualsiasi scala un oggetto è simile ad una sua parte, ad esempio fiocchi di neve, coste e foglie. È il caso dato dai *frattali*<sup>30</sup> (si veda la sezione 2.3.4.). Intuitivamente linee frattali possono avere una lunghezza potenzialmente infinita ed essere contenute in aree limitate. Si tratta di proprietà usate in applicazioni quando l'iterazione (ricorsività) a scale diverse mantiene proprietà. Esempi di applicazioni sono in chimica, industria grafica per la generazione di contesti e oggetti auto-similiari, in medicina per la rappresentazione dei capillari, bronchi polmonari e villi inte-

<sup>26</sup> E. LORENZ, *Deterministic Non Period Flow*, «Journal of the Atmospheric Sciences», 20 (1963), pp. 130-141.

<sup>27</sup> NICOLIS - PRIGOGINE, *Self-Organization in Nonequilibrium Systems*; I. PRIGOGINE, *From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Sciences*, W.H. Freeman & Co., New York 1981; tr. it. di G. Bocchi - M. Ceruti, *Dall'essere al divenire*, Einaudi, Torino 1986.

<sup>28</sup> A.V. GETLING, *Rayleigh-Bénard Convection: Structures and Dynamics*, World Scientific, Singapore 1998.

<sup>29</sup> L.V. GAMBETTA - A. CARDILLO - A. FIASCONARO - L. FORTUNA - J. GÓMEZ-GARDEÑES - M. FRASCA, *Analysis of Remote Synchronization in Complex Networks*, «Chaos», 23 (2013), 4, pp. 1-8.

<sup>30</sup> B.B. MANDELBROT, *Gli oggetti frattali*, a cura di R. Pignoni, Einaudi, Torino 1987.



stinali (ripiegamenti della mucosa dell'intestino), che consentono di aumentare la superficie dell'organo per avere una maggior area a contatto con l'aria per i polmoni e assorbente dei nutrienti ingeriti per l'intestino.

### 2.2.7. Sistemi multipli.

Si tratta dello stabilirsi di sistemi quando stessi elementi generano diversi sistemi<sup>31</sup>, ad esempio componenti elettronici in circuiti il cui ruolo e valori assunti possono avere funzioni simultanee diverse come far parte di sistemi di sicurezza, di regolazione e di interfaccia utente. Così i nodi di internet possono far parte di un sistema di profilatura e di informazione. Sistemi di persone possono costituire simultaneamente sistemi di famiglie, sistemi di gruppi d'acquisto, sistemi di lavoratori e sistemi di viaggiatori. È di interesse per chi si occupa di marketing, come si possa agire su un sistema più accessibile per influenzarne un altro.

### 2.2.8. Uso dei gradi di libertà.

È noto come fenomeni e processi nel campo dell'ingegneria e della fisica classica (non quantistica) siano spesso descritti anche specificando i loro vincoli, detti spesso gradi di libertà. Un sistema, un dispositivo sono liberi di variare il loro comportamento all'interno del rispetto di determinati vincoli, come di velocità, temperatura e di spesa. Tali vincoli sono spesso espressi come rispetto di valori massimi e minimi entro cui il comportamento deve avvenire. Il comportamento di sistemi complessi è spesso dato, all'interno del rispetto dei vincoli che stabiliscono ammissibilità, anche considerando *come* tali vincoli vengono rispettati<sup>32</sup>.

## 2.3. Esempi di proprietà compatibili con lo stabilirsi di processi di emergenza

Le proprietà che considereremo sono in realtà collegate tra loro come caos e attrattori e l'invarianza di scala di leggi di potenza<sup>33</sup>.

### 2.3.1. Attrattori (proprietà di modelli).

Si tratta di proprietà della rappresentazione del tragitto evolutivo di un sistema come rappresentato da modelli. Il *comportamento caotico* è rappresentabile da attrattori<sup>34</sup> come è stato per i lavori fondanti rappresentanti con attrattori la natura caotica<sup>35</sup> della dinamica atmosferica.

<sup>31</sup> MINATI - PESSA, *Collective Beings*.

<sup>32</sup> IDD., *From Collective Beings to Quasi-Systems*.

<sup>33</sup> M. SCHROEDER, *Fractals, Chaos, Power Laws: Minutes from an Infinite Paradise*, Dover Publications Inc., New York 2009.

<sup>34</sup> S. KAUFFMAN, *A casa nell'universo. Le leggi del caos e della complessità*. Editori Riuniti, Roma 2001; C.S. BERTUGLIA - F. VAIO, *Non linearità, caos, complessità. Le dinamiche dei sistemi naturali e sociali*, Bollati Boringhieri, Torino 2003.

<sup>35</sup> D.L. STEIN, *Dissipative Structures, Broken Symmetry, and the Theory of Equilibrium Phase Transitions*, «Journal of Chemical Physics», 72 (1980), pp. 2869-2874.

## 2.3.2. Punti di biforcazione.

Si tratta dello stabilirsi di punti e luoghi ove la rappresentazione del tragitto evolutivo del modello di sistema cambia il numero e tipo di attrattori, di equilibri<sup>36</sup>.

## 2.3.3. Coerenza (nei modelli).

Si tratta dello stabilirsi e del rilevare proprietà nelle rappresentazioni dei modelli di comportamento collettivo. Ad esempio di coerenza come data da:

Caso 1: simile *covarianza* che misura come due variabili statistiche  $X$  e  $Y$  si discostano dai loro valori medi. Covarianza come media dei prodotti dei loro scostamenti dalla media.

Caso 2: correlazione<sup>37</sup> data da covarianza come proprietà di una funzione di mantenere la sua forma nel caso in cui le sue variabili siano linearmente trasformate.

Caso 3: coerenza come proprietà statistica<sup>38</sup>.

Caso 4: correlazione *long-range*, ad esempio nel comportamento collettivo, quale di stormi<sup>39</sup>, mantenimento di proprietà emergenti a scale e modalità differenti.

## 2.3.4. Invarianza di scala e auto-similarità (modelli).

Vi è invarianza di scala<sup>40</sup> quando una proprietà non cambia cambiando la scala. Si tratta di proprietà di oggetti matematici usati per rappresentare fenomeni. È tipicamente il caso dei *frattali*, curve senza punti ove sia possibile tracciare una linea tangente (sono tutti *spigoli*). Si tratta di oggetti geometrici dotati di *omotetia*, che cioè si ripetono nella loro forma allo stesso modo su scale diverse. Ingrandendo una qualunque loro parte si ottiene una figura simile a quella di partenza. Si consideri il fatto che nel segmento  $AC$  in Fig. 1 il percorso per andare da  $A$  a  $C$  è dato da  $AC = AB + BC$ . Consideriamo ora la situazione in Fig. 2 in cui il punto  $B$  non giace sulla stessa linea a cui appartengono  $A$  e  $C$ . il percorso  $AC < AB + BC$ . Continuando a dividere a metà i segmenti la loro somma cresce e tende all'infinito come nelle Fig. 3 e 4 che rappresentano iterazioni successive.

A                  B                                  C

---

Fig. 1

<sup>36</sup> D.H. SATTINGER, *Topics in Stability and Bifurcation Theory*, Springer, Berlin 1978.

<sup>37</sup> D. DROUETM - S. KOTZ, *Correlation and Dependence*, Imperial College Press, London 2001.

<sup>38</sup> A.A. RUPP - M.J. WALK, *Pearson Product-Moment Correlation Coefficient*, in N.J. SALKIND (ed.) *Encyclopedia of Measurement and Statistics*, Sage, London 2010, pp. 1023-1027.

<sup>39</sup> A. CAVAGNA - A. CIMARELLI - I. GIARDINA - G. PARISI - R. SANTAGATI - F. STEFANINI - M. VIALE, *Scale-free Correlations in Starling Flocks*, «Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America», 107 (2010), pp. 11865-11870. Online: <http://www.pnas.org/content/107/26/11865>.

<sup>40</sup> R.N. HENRIKSEN, *Scale Invariance: Self-Similarity of the Physical*, Wiley, Weinheim 2015.

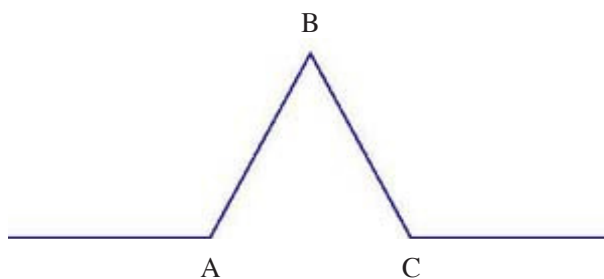


Fig. 2

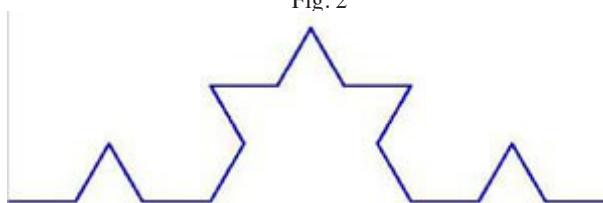


Fig. 3

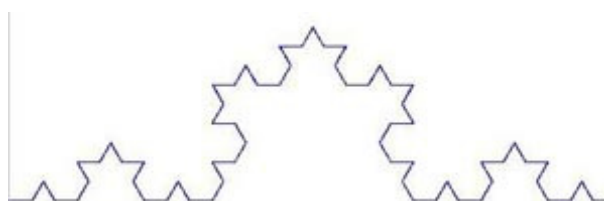


Fig. 4

È così poi possibile proseguire nella costruzione di triangoli equilateri sui segmenti che via via si continuano ad ottenere. Si ottiene un perimetro di misura potenzialmente infinita all'interno di un'area finita.

### 2.3.5. Leggi di potenza.

Si tratta di una relazione funzionale tra due variabili, ad esempio  $X$  e  $Y$  per cui valga che  $Y = kX^\alpha$  ove  $\alpha$  è l'esponente della legge di potenza e  $k$  una costante<sup>41</sup>. Una variabile cambia come potenza dell'altra. Si considera quando la frequenza di un fenomeno dipende esponenzialmente da una sua caratteristica (come la distribuzione di ricchezza, dimensioni in confronto al numero di aziende, livelli di ricchezza rispetto al numero di persone considerate, intensità rispetto al numero di terremoti, dimensione delle città rispetto alle dimensioni della popolazione e frequenza delle parole, relativamente poche sono comunemente utilizzate). In biologia è interessante la legge di potenza

<sup>41</sup> SCHROEDER, *Fractals, Chaos, Power Laws*.

studiata dall'allometria, riguardante la crescita relativa di un organo o di una parte di un organismo rispetto a tutto il corpo, o tra le dimensioni del corpo rispetto al suo tasso metabolico (energia consumata da un individuo durante un'unità di tempo). Se  $M$  rappresenta la massa animale, è stato trovato che il tasso metabolico  $R$  è dato da  $R=M^{3/4}$  per qualsiasi tipo di animale<sup>42</sup>. Inoltre è interessante notare che le leggi di potenza sono invarianti di scala.

### 2.3.6. Rappresentazioni di sistemi come reti.

Si fa riferimento al fatto che a partire dagli anni '80 si è iniziato a rappresentare (modelli a rete) fenomeni e sistemi come reti di nodi (elementi) connessi da links<sup>43</sup>. I nodi possono essere statici o dotati di loro dinamicità autonoma. Così i links (direzionali o non direzionali) possono essere statici, ad esempio esprimenti relazioni fisse, oppure associati a 'pesi', parametri che modulano l'intensità delle relazioni. La rete di links può così ben essere usata per rappresentare la rete di interazioni tra le entità, cioè nodi. Le proprietà del sistema di nodi sono rappresentate dalle proprietà della rete<sup>44</sup>, come la capacità di resistere a perturbazioni e danneggiamenti, mantenimento di processi di emergenza, la coesività (numero di modi raggiungibili da un singolo nodo ed il numero di nodi vicini), l'invarianza di scala (un elevato numero di nodi ha pochi links oppure un piccolo numero di nodi ha molti links. In particolare una rete è detta essere ad invarianza di scala se il grado di distribuzione, cioè la probabilità che un nodo selezionato in modo casuale abbia un certo numero di link, segue una legge di potenza senza dipendere da parametri scalari della struttura, es. Internet e la rete dei vasi sanguigni), la capacità di costituire 'piccoli mondi' (si costituiscono *small worlds* quando la maggior parte dei nodi può essere raggiunta da ogni altro nodo tramite un numero ridotto di collegamenti intermedi, links), idempotenza<sup>45</sup>, auto-similarità di reti (quando la forma e dinamica della rete sono rappresentate da una matrice di grafi o links  $M$  per la quale vale  $M \approx c + kM^2$ , ove  $c, k$  sono opportune costanti).

### 2.3.7. Rappresentazione dell'uso dei gradi di libertà.

Il comportamento del sistema può avvenire sempre vicino ai valori di massimo e di minimo oppure oscillare tra questi in modo regolare o irregolare. Le oscillazioni possono a loro volta essere ripetitive o casuali. La distribuzione e rappresentazione dell'uso di gradi di libertà, all'interno di opportune soglie rappresenta aspetti comportamentali del sistema da considerarsi eventualmente caratteristiche per situazioni particolari, come fasi di costituzione, emergenza di fenomeni collettivi, del loro variare, ad esempio di forma, e del loro disgregarsi.

<sup>42</sup> J.H. BROWN - G.B. WEST, *Scaling in Biology*, Oxford University Press, Oxford 2000.

<sup>43</sup> BARABÁSI, *Link*.

<sup>44</sup> T.G. LEWIS, *Network Science: Theory and Applications*, Wiley, Hoboken (NJ) 2009.

<sup>45</sup> L. MINATI - J. WINKEL - A. BIFONE - P. OŚWIĘCIMKA - J. JOVICICH, *Self-Similarity and Quasi-Idempotence in Neural Networks and Related Dynamical Systems*, «Chaos», 27 (2017), 4, 043115.

### 2.3.8. Rappresentazioni dell'imprevedibilità.

L'imprevedibilità dell'evoluzione di fenomeni complessi è data da vari fattori come le *fluttuazioni* (deviazioni da valori evolutivi medi), l'avvenire di *rottura di simmetria* (mentre le equazioni sono invarianti rispetto a una rottura di simmetria, es. rotazione di una lamina metallica, non lo sono più le soluzioni; es. rotazione di una lamina metallica che si incurva sotto una pressione), costituirsi di *punti di singolarità* con proprietà cioè diverse da quelle di punti generici. L'imprevedibilità nei processi di emergenza nei fenomeni complessi origina, tra l'altro, dall'equivalenza tra patterns evolutivi, dalla loro intercambiabilità. Maggiore è l'equivalenza e maggiore è la possibilità che la coerenza si mantenga. L'imprevedibilità che interessa non è microscopica, relativa al comportamento dell'entità interagente, ma al comportamento del sistema complessivo. Tale imprevedibilità è rappresentata come indeterminazione all'interno dei vincoli per percorsi evolutivi come le orbite degli attrattori, il rispetto di leggi di potenza e di invarianza di scala.

### 3. Conclusione

Dopo una breve distinzione tra processi di auto-organizzazione e di emergenza, si è accennato ad aspetti ritenuti peculiari della loro fenomenologia. In mancanza di una teoria dell'emergenza forse addirittura concettualmente non possibile nel quadro dell'*incompletezza teorica*, possibile caratteristica necessaria per l'avvenire di processi di emergenza, si sono delineate caratteristiche fenomenologiche e teoriche caratterizzanti tali processi e fenomeni. Nel quadro di compatibilità ed equivalenze tra modi di avvenire, gradi di libertà entro cui i processi emergono, si sono delineati aspetti sia fenomenologici sia teorici peculiari. Tra i primi abbiamo accennato allo stabilirsi di attrattori, coerenza, comportamenti caotici, dissipazione, domini di coerenza, invarianza di scala, molteplicità di sistemi e uso di gradi di libertà. Tra i secondi abbiamo accennato a proprietà di modelli come attrattori (nelle rappresentazioni), punti di biforcazione, coerenza (nelle rappresentazioni), invarianza di scala (nelle rappresentazioni), leggi di potenza, di rappresentazioni a reti, rappresentazioni dell'uso di gradi di libertà e dell'imprevedibilità dovuta ad equivalenza. La prospettiva è di continuare ad aggiungere tipi di fenomeni e rappresentazioni *tendenti* ad una teoria dell'emergenza tuttavia teoricamente probabilmente irraggiungibile per la sua *necessaria* incompletezza teorica?