



LA COMPLESSITÀ SPIEGATA

#ComplexityExplained

INDICE

1	Interazioni	4
2	Comportamento emergente	6
3	Dinamiche	8
4	L'auto-organizzazione	10
5	Adattamento	12
6	Interdisciplinarità	14
7	Metodi	16

LA COMPLESSITÀ SPIEGATA



"Non c'è amore in un atomo di carbonio, non c'è un uragano in una molecola d'acqua, non c'è crollo finanziario in una banconota da un dollaro"

(Peter Dodds)

La scienza della complessità, definita anche scienza dei sistemi complessi, studia le modalità in cui un vasto insieme di componenti - interagendo a livello locale l'uno con l'altro su piccola scala - sia in grado di auto-organizzarsi spontaneamente e manifestare strutture e comportamenti globali non banali a scale più ampie, spesso senza intervento esterno, autorità centrali o leader.

Le proprietà dell'insieme non possono essere comprese o previste dalla sola anche se totale conoscenza dei suoi componenti. Un tale insieme viene definito sistema complesso e per studiarlo si rendono necessarie nuove strutture matematiche e metodologie scientifiche.

Ecco alcune cose da sapere sui sistemi complessi.





INTERAZIONI

I SISTEMI COMPLESSI SONO FORMATI DA MOLTI COMPONENTI CHE INTERAGISCONO FRA DI LORO E COL LORO AMBIENTE IN SVARIATI MODI.

"Ogni oggetto di cui la biologia si occupa è un sistema di sistemi".

(Francois Jacob)



I sistemi complessi sono spesso caratterizzati da molti elementi che interagiscono in più modi tra loro e potenzialmente anche col loro ambiente. Detti elementi formano reti di interazioni, anche con solo pochi elementi ma molte interazioni. Le interazioni possono generare nuove informazioni che rendono difficile studiare i componenti singolarmente o prevedere il loro futuro in modo completo. Inoltre, i componenti di un sistema possono anche essere sistemi completamente nuovi, che conducono a sistemi di sistemi, essendo interdipendenti l'uno dall'altro.

La principale sfida della scienza della complessità consiste non solo nel vedere le parti e le loro connessioni, ma anche nel capire come queste connessioni generano il tutto.

ESEMPI:

- Miliardi di neuroni che interagiscono nel cervello umano
- Computer che comunicano in Internet
- Esseri umani in relazioni dalle molteplici sfaccettature

CONCETTI CHIAVE:

Sistema, componente, interazioni, rete, struttura, eterogeneità, interrelazione, interconnessione, interdipendenza, sottosistemi, confini, ambiente, sistemi aperti/chiusi, sistemi di sistemi.

BIBLIOGRAFIA:

Mitchell, Melanie.
Complexity: A Guided Tour.
Oxford University Press, 2009.

Capra, Fritjof and Luisi, Pier Luigi.
The Systems View of Life: A Unifying Vision.
Cambridge University Press, 2016.



INTERAZIONI 1





EMERGENTE

LE PROPRIETÀ DEI SISTEMI COMPLESSI
NEL LORO INSIEME SONO MOLTO DIVERSE
E SPESSO INASPETTATE, RISPETTO
ALLE PROPRIETÀ DEI LORO SINGOLI
COMPONENTI.

"Non c'è bisogno di qualcosa di più per ottenere qualcosa di più. Ecco cosa significa emergenza."

(Murray Gell-Mann)

Nei sistemi semplici, le proprietà del tutto possono essere comprese o previste dall'aggiunta o dalla combinazione dei suoi componenti.

In altre parole, le proprietà macroscopiche di un sistema semplice possono essere dedotte dalle proprietà microscopiche delle sue parti. Nei sistemi complessi, invece, le proprietà dell'insieme spesso non possono essere comprese o previste dalla conoscenza dei suoi componenti a causa di un fenomeno noto come "emergenza". Questo fenomeno coinvolge diversi meccanismi che causano l'interazione tra i componenti di un sistema generando nuove informazioni e manifestando strutture e comportamenti collettivi non banali a scale più grandi.

Questo fatto è di solito riassunto con il detto "il tutto è più della somma delle sue parti".

ESEMPI:

- Un'enorme quantità di molecole d'aria e vapore che formano un uragano
- Molteplici cellule che formano un organismo vivente
- Miliardi di neuroni in un cervello che producono coscienza e intelligenza

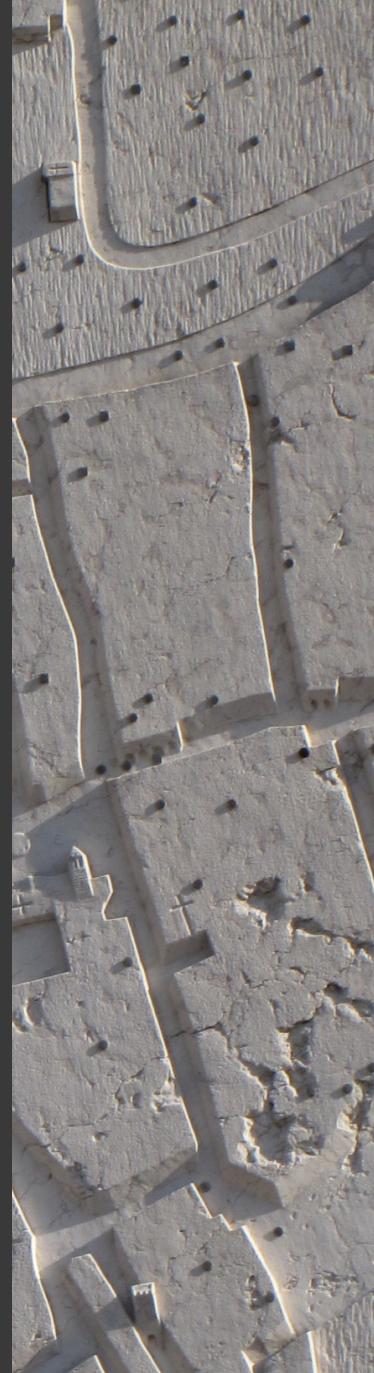
CONCETTI CHIAVE:

Comportamento emergente, scale, non-linearietà, ascendente, descrizione, sorpresa, effetti indiretti, non-intuitività, transizione di fase, non-riducibilità, rottura del pensiero lineare/statistico tradizionale, "il tutto è più della somma delle sue parti. "

BIBLIOGRAFIA:

Bar-Yam, Yaneer.
Dynamics of Complex Systems.
Addison-Wesley, 1997.

Ball, Philip.
Critical Mass: How One Thing Leads to Another.
Macmillan, 2004.



COMPORTAMENTO EMERGENTE 2



DINAMICA

I SISTEMI COMPLESSI TENDONO A CAMBIARE STATO DINAMICAMENTE, MANIFESTANDO SPESSO COMPORTAMENTI IMPREVEDIBILI A LUNGO TERMINE.



“Caos: quando il presente determina il futuro, ma il presente approssimativo non determina approssimativamente il futuro”

(Edward Lorenz)

I sistemi possono essere analizzati in relazione ai cambiamenti dei loro stati nel tempo. Uno stato viene descritto tramite insiemi di variabili che meglio caratterizzano il sistema.

Quando il sistema passa da uno stato a un’altro, anche le sue variabili cambiano, spesso rispondendo al proprio ambiente.

Questo cambiamento viene definito lineare se è direttamente proporzionale al tempo, allo stato corrente del sistema o ai cambiamenti nell’ambiente o non lineare se non è proporzionale ad essi.

I sistemi complessi sono in genere non lineari, cambiando a velocità diverse a seconda dei loro stati e del loro ambiente.

Possono anche avere stati stabili in cui possono non cambiare anche se perturbati, o stati instabili in cui i sistemi possono essere disturbati da una piccola perturbazione.

In alcuni casi, piccoli cambiamenti ambientali possono cambiare completamente il comportamento del sistema, noto come biforcazioni, transizioni di fase o “punti di ribaltamento”.

estremamente sensibili alle piccole perturbazioni e imprevedibili a lungo termine, manifestando il cosiddetto "effetto farfalla". Un sistema complesso può anche dipendere dal suo percorso, cioè il suo stato futuro dipenderà non solo dal suo stato presente, ma anche dalla sua storia passata.

ESEMPI:

- Il tempo che cambia costantemente in modi imprevedibili
- Volatilità finanziaria nel mercato azionario

CONCETTI CHIAVE:

Dinamica, comportamento, non-linearità, caos, non-equilibrio, sensibilità, effetto farfalla, biforcazione, non prevedibilità a lungo termine, incertezza, dipendenza da percorso/contesto, non-ergodicità.

BIBLIOGRAFIA:

Strogatz, Steven H.
Nonlinear Dynamics and Chaos.
CRC Press, 1994.

Gleick, James.
Chaos: Making a New Science.
Open Road Media, 2011.





AUTO-ORGANIZZAZIONE

I SISTEMI COMPLESSI POSSONO ORGANIZZARSI AUTONOMAMENTE PRODUCENDO MODELLI NON BANALI SENZA PROGETTO.



"Si suggerisce che un sistema di sostanze chimiche denominate morfogeni reagendo insieme e diffondendosi lungo un tessuto sia adeguato per spiegare i principali fenomeni di morfogenesi".

(Alan Turing)

Le interazioni tra componenti di un sistema complesso possono produrre un modello o comportamento globale. Questo viene spesso descritto come auto-organizzazione in quanto non esiste un'entità che controlla, sia essa centrale o esterna. Invece, il "controllo" di un sistema che si auto-organizza è distribuito tra componenti e integrato attraverso le interazioni tra di essi. L'auto-organizzazione può produrre strutture fisico/funzionali quali schemi dei materiali cristallini e morfologie di organismi viventi, o comportamenti dinamici/informativi quali i comportamenti dei banchi di pesci e gli impulsi elettrici che si propagano nei muscoli degli animali. Man mano che il sistema diventa più organizzato in seguito a questo processo, nuovi modelli di interazione possono emergere nel tempo, potenzialmente portando alla produzione di ulteriore complessità. In alcuni casi i sistemi complessi possono auto-organizzarsi in uno stato "critico" che potrebbe solo esistere in un sottile equilibrio tra casualità e regolarità.

al modelli uto-organizzati manifestano spesso diverse proprietà peculiari quali l'auto-similarità e la distribuzione della legge di potenza delle proprietà del modello.

ESEMPI:

- L'ovulo che dividendosi arriva ad auto-organizzarsi nella forma complessa di un organismo
- Le città che crescono man mano che attraggono più persone e denaro
- Un grande stormo di storni che mostra schemi di disposizione complessi in volo

CONCETTI CHIAVE:

Auto-organizzazione, comportamento collettivo, sciami, schemi, spazio e tempo, ordine dal disordine, criticità, auto-somiglianza, scoppio, criticità auto-organizzata, leggi di potere, distribuzioni a coda pesante, morfogenesi, controllo decentralizzato, auto-organizzazione guidata.

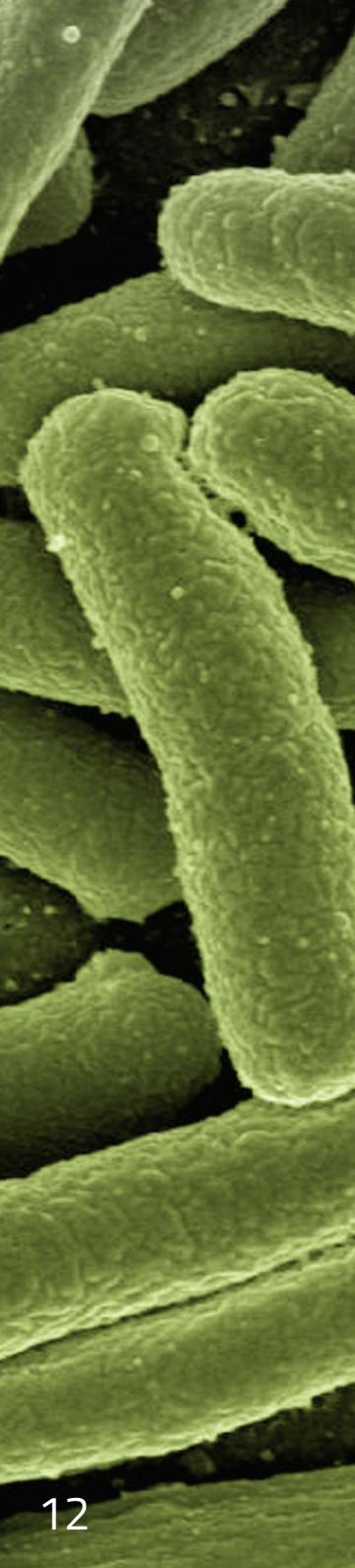
BIBLIOGRAFIA:

Ball, Philip.
The Self-Made Tapestry: Pattern Formation in Nature.
Oxford University Press, 1999.

Camazine, Scott, et al.
Self-Organization in Biological Systems.
Princeton University Press, 2003.



AUTO-ORGANIZZAZIONE 4



ADATTAMENTO

I SISTEMI COMPLESSI POSSONO ADATTARSI ED EVOLVERE.



"Niente in biologia ha senso se non alla luce dell'evoluzione."

(Theodosius Dobzhansky)

Piuttosto che spostarsi verso uno stato stazionario, i sistemi complessi sono spesso attivi e rispondono all'ambiente - la differenza tra una palla che rotola giù per la collina per fermarsi in fondo e un uccello che si adatta alle correnti del vento mentre vola. Questo adattamento può avvenire su più livelli: cognitivo, attraverso l'apprendimento e lo sviluppo psicologico; sociale, attraverso la condivisione di informazioni attraverso legami sociali; o anche evolutivo, attraverso la variazione genetica e la selezione naturale.

Quando i componenti vengono danneggiati o rimossi, questi sistemi sono spesso in grado di adattarsi e ripristinare le funzionalità precedenti talvolta persino migliorarle. Questo si può ottenere con robustezza, capacità di resistere alle perturbazioni; resilienza, capacità di tornare allo stato originale dopo una grande perturbazione o adattamento, capacità di cambiare il sistema stesso per rimanere funzionale e sopravvivere. I sistemi complessi con queste proprietà sono noti come sistemi adattivi complessi.

ESEMPI:

- Un sistema immunitario che impara continuamente sui patogeni
- Una colonia di termiti che ripara i danni causati al suo tumulo
- La vita terrestre che è sopravvissuta a numerosi eventi di crisi in miliardi di anni della sua storia

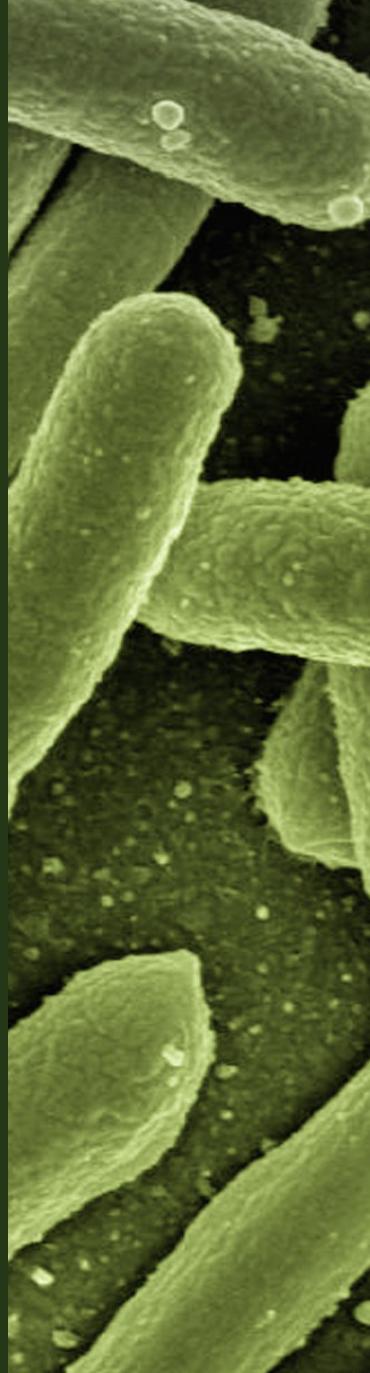
CONCETTI CHIAVE:

Apprendimento, adattamento, evoluzione, paesaggi fitness, robustezza, resilienza, diversità, complessi sistemi adattivi, algoritmi genetici, vita artificiale, intelligenza artificiale, intelligenza dello sciame, creatività, apertura.

BIBLIOGRAFIA:

Holland, John Henry.
Adaptation in Natural and Artificial Systems.
MIT press, 1992.

Solé, Ricard, and Elena, Santiago F.
Viruses as Complex Adaptive Systems.
Princeton University Press, 2018.



ADATTAMENTO 5



INTERDISCIPLINARITÀ

LA SCIENZA DELLA COMPLESSITÀ PUÒ ESSERE UTILIZZATA PER COMPRENDERE E GESTIRE UN'AMPIA GAMMA DI SISTEMI IN MOLTI AMBITI.

"Potrebbe non essere del tutto inutile, tuttavia, cercare proprietà comuni tra diversi tipi di sistemi complessi ... Le idee di feedback e informazioni forniscono un quadro di riferimento per vedere una vasta gamma di situazioni."

(Herbert Simon)

I sistemi complessi appaiono in tutti i settori scientifici e ambiti professionali compresa la fisica, la biologia, l'ecologia, le scienze sociali, la finanza, gli affari, il management, la politica, la psicologia, l'antropologia, la medicina, tecnologia dell'informazione e altri ancora.

Molte delle tecnologie più recenti, dai social media e le tecnologie mobili alle auto a guida autonoma e alla blockchain producono sistemi complessi con proprietà emergenti che sono fondamentali per capire e prevedere il benessere della società.

Un concetto chiave di scienza della complessità è l'universalità, che è l'idea che molti sistemi in diversi ambiti manifestano fenomeni dalle caratteristiche sottostanti comuni che possono essere descritte usando gli stessi modelli scientifici. Questi concetti giustificano un nuovo quadro multidisciplinare matematico/computazionale.

La scienza della complessità può fornire un approccio analitico completo e interdisciplinare che integri i classici approcci scientifici che si concentrano su argomenti specifici nei vari ambiti.

ESEMPI:

- Proprietà comuni di vari sistemi di elaborazione delle informazioni (sistemi nervosi, Internet, infrastruttura di comunicazione)
- Modelli universali trovati in vari processi di diffusione (epidemie, incendi boschivi)

CONCETTI CHIAVE:

Universalità, applicazioni varie, multi-/inter-/trans-disciplinarità, economia, sistemi sociali, ecosistemi, sostenibilità, problem-solving nel mondo reale, sistemi culturali, importanza per il processo decisionale della vita quotidiana.

BIBLIOGRAFIA:

Thurner, Stefan, Hanel, Rudolf and Klimek, Peter.

Introduction to the Theory of Complex Systems.

Oxford University Press, 2018.

Page, Scott E.
The Model Thinker.
Hachette UK, 2018.



INTERDISCIPLINARITÀ 6



METODI

I METODI MATEMATICI E INFORMATICI SONO STRUMENTI POTENTI PER STUDIARE SISTEMI COMPLESSI.



"Tutti i modelli sono sbagliati, ma alcuni sono utili."

(George Box)

I sistemi complessi coinvolgono molte variabili e configurazioni che non possono essere esplorate semplicemente con l'intuizione o il calcolo manuale. Al contrario, la modellazione, l'analisi e le simulazioni matematiche e computazionali avanzate sono quasi sempre necessarie per vedere come questi sistemi sono strutturati e cambiano nel tempo.

Con l'aiuto dei computer, possiamo verificare se una serie di regole ipotetiche potrebbe portare a un comportamento osservato in natura e quindi utilizzare la nostra conoscenza di tali regole per generare previsioni di diversi scenari ipotetici. I computer vengono anche usati per analizzare enormi dati provenienti da sistemi complessi al fine di rivelare e visualizzare schemi nascosti che non sono visibili all'occhio umano.

Questi metodi computazionali possono portare a scoperte che permettono una maggiore comprensione e un maggior apprezzamento della natura.

ESEMPI:

- Modellazione basata su agenti per il volo in stormi degli uccelli
- Modelli matematici e informatici del cervello
- Modelli informatici di previsione del clima
- Modelli informatici di dinamiche pedonali

CONCETTI CHIAVE:

Modellazione, simulazione, analisi dei dati, metodologia, modellazione basata su agenti, analisi di rete, teoria dei giochi, visualizzazione, regole, comprensione.

BIBLIOGRAFIA:

Pagels, Heinz R.
The Dreams of Reason: The Computer and the Rise of the Sciences of Complexity.
Bantam Books, 1989.

Sayama, Hiroki.
Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems.
Open SUNY Textbooks, 2015.





“Penso che il prossimo [21 °] secolo sarà il secolo della complessità”

(Stephen Hawking)

HANNO CONTRIBUITO

Manlio De Domenico*, Dirk Brockmann, Chico Camargo, Carlos Gershenson, Daniel Goldsmith, Sabine Jeschonnek, Lorren Kay, Stefano Nicelle, José R. Nicolás, Thomas Schmickl, Massimo Stella, Josh Brandoff, Ángel José Martínez Salinas, Hiroki Sayama*

(* Responsabili della corrispondenza)

manlio.dedomenico[at]gmail.com

sayama[at]binghamton.edu

RICONOSCIMENTI

Elaborato e curato da: *Serafina Agnello*

✉ serafina.agnello@gmail.com

in [Serafina Agnello](#)

<https://complexityexplained.github.io/>

Un ringraziamento speciale per il proprio input e feedback:

Hayford Adjavor, Alex Arenas, Yaneer Bar-Yam, Rogelio Basurto Flores, Michele Battle-Fisher, Anton Bernatskiy, Jacob D. Biamonte, Victor Bonilla, Dirk Brockmann, Victor Buendia, Seth Bullock, Simon Carrignon, Xubin Chai, Jon Darkow, Luca Dellanna, David Rushing Dewhurst, Peter Dodds, Alan Dorin, Peter Eerens, Christos Ellinad, Diego Espinosa, Ernesto Estrada, Nelson Fernández, Len Fisher, Erin Gallagher, Riccardo Gallotti, Pier Luigi Gentilli, Lasse Gerrits, Nigel Goldenfeld, Sergio Gómez, Héctor Gómez-Escobar, Alfredo González-Espinoza, Marcus Guest, J. W. Helkenberg, Stephan Herminghaus, Enrique Hernández-Zavaleta, Marco A. Javarone, Hang-Hyun Jo, Pedro Jordano, Abbas Karimi, J. Kasmire, Erin Kenzie, Tamer Khraisha, Heetae Kim, Bob Klapetzyk, Brennan Klein, Karen Kommerce, Roman Koziol, Roland Kupers, Erika Legara, Carl Lipo, Oliver Lopez-Corona, Yeu Wen Mak, Vivien Marmelat, Steve McCormack, Dan Mønster, Alfredo Morales, Yamir Moreno, Ronald Nicholson, Enzo Nicosia, Sibout Nooteboom, Dragan Okanovic, Charles R Paez, Julia Poncela C., Francisco Rodrigues, Jorge P. Rodríguez, Iza Romanowska, Pier Luigi Sacco, Joaquín Sanz, Samuel Scarpino, Alice Schwarze, Nasser Sharareh, Keith Malcolm Smith, Ricard Sole, Keith Sonnanburg, Cédric Sueur, Ali Sumner, Michael Szell, Ali Tareq, Adam Timlett, Ignacio Toledo, Leo Torres, Paul van der Cingel, Ben van Lier, Jeffrey Ventrella, Alessandro Vespignani, Joe Wasserman, Kristen Weiss, Daehan Won, Phil Wood, Nicky Zachariou, Mengsen Zhang, Arshi, Brewingsense, Complexity Space Consulting, Raoul, Systems Innovation, The NoDE Lab.



Serafina Agnello

Versione 1.1 (Ottobre 2019)