



SCIENZA, ULTIMA FRONTIERA

2022 • OTTAVA EDIZIONE

NON È COME HYBRAS

4



INFOBIBLIOGRAFIA

Come volano gli uccelli in stormo?

I comportamenti collettivi
studiati dalla fisica biologica



IRENE GIARDINA
ANDREA CAVAGNA

La nuova tappa del nostro viaggio tocca l'affascinante mondo dei sistemi complessi, in particolare lo studio dei comportamenti biologici collettivi (sciame di insetti, branchi di pesci, stormi di uccelli) che oggi possono essere studiati anche dalla fisica. L'approccio a un sistema complesso è... complesso! Nel senso che bisogna in qualche modo "pensarlo come sistema", come una situazione in cui il totale non coincide con la somma delle parti.

Già l'osservazione di un sistema complesso esige di escogitare nuovi modi per la raccolta dei dati: misurare la traiettoria di un sasso lanciato nel mare è di per sé semplice, la si può rappresentare, disegnare e infine modellizzare. Ma come si raccolgono dati su un branco di pesci che nuotano insieme, come li si disegnano, come li si modellizzano?

Ecco la grande sfida, che oltre a portare nuove scoperte, ha fatto nascere nuove domande, allargando il campo delle conoscenze umane e smentendo alcune convinzioni di senso comune. Proprio la natura di questi problemi ha attirato interessi e attenzioni anche da parte di altre discipline, che studiano fenomeni complessi come la meteorologia o la finanza o il traffico o il cervello o le reti informatiche... Ma anche, perché no?, l'effetto psicologico che comporta il vivere in una realtà sociale complessa, non dominabile, poco comprensibile e decifrabile.

In realtà, come accade anche per la quantistica, la parola complessità viene usata come etichetta per un'infinità di iniziative, alcune delle quali poco o nulla hanno a che fare con



il pensiero scientifico. Semplicemente, sono un buon marketing: suona bene parlare di *complexity* (dirlo in inglese aumenta l'effetto), anche se la ricerca o la consulenza associata non c'entrano proprio con i sistemi complessi, biologici o meno, studiati dalla fisica. Anche in questo caso l'ascolto dei protagonisti diretti delle ricerche ci protegge dai tranelli insidiosi di chi spaccia definizioni altisonanti, ma fumose e del tutto prive di contenuto scientifico. Restiamo saldi sul **solido terreno della scienza**: tutti abbiamo visto **volare gli uccelli in stormo** e fci siamo chiesti come funziona questo "sistema complesso".

Oggi scopriremo come un team di ricerca, guidato dai nostri due ospiti, affronta lo studio del fenomeno.

BIBLIOTECA CIVICA DI BRUGHERIO



via Italia, 27 • tel. 039.2893.401
 biblioteca@comune.brugherio.mb.it
 www.comune.brugherio.mb.it
 catalogo online: www.biblioclick.it
 pagina FB • canale Youtube

Aperta al pubblico:

lunedì	9 - 12.30
martedì	9 - 19
mercoledì	9 - 19
giovedì	14 - 19
venerdì	9 - 19
sabato	9 - 12.30 e 14 - 18



NON È COME
SEMERA
NON

IRENE GIARDINA & ANDREA CAVAGNA

La motivazione è proprio affascinante, suona così: "*For the incisive combination of observation, analysis, and theory to elucidate the beautiful statistical physics problems underlying collective behavior in natural flocks and swarms*".

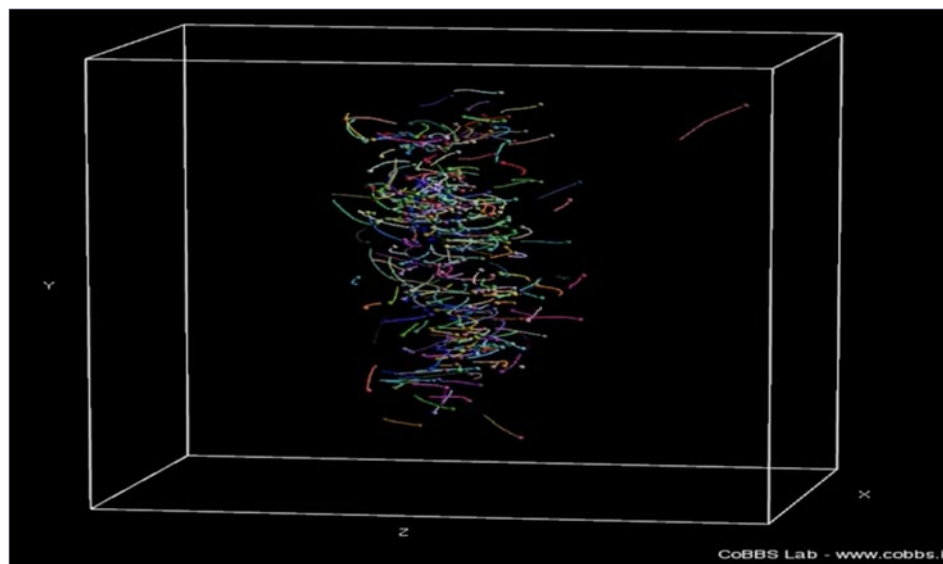
Per questo, dunque, hanno vinto un premio prestigioso nel 2021, i primi non americani a ricevere il **Max Delbrück Prize 2021** dell'*American Physical Society*. Sanno combinare osservazione, analisi e teoria, i tre grandi ingredienti della scienza; cercano di chiarire bellissimi problemi di fisica statistica; studiano i sistemi biologici complessi, come gli stormi o gli sciami.

Sono i due ospiti del quarto appuntamento della rassegna, Irene Giardina e Andrea Cavagna, una coppia a tutti gli effetti, nella vita (sono sposati e hanno dei figli) e nella ricerca scientifica, a Roma. Andrea è *Research Director* presso il CNR, Irene insegna fisica teorica alla Sapienza università di Roma. Proprio qui entrambi avevano ottenuto il loro dottorato in fisica, nel 1998.

Il loro specifico campo di ricerca è la fisica dei sistemi biologici complessi. Nel 2005 hanno fondato il **COBBS lab** (*Collective Behaviour in Biological Systems*), presso il Dipartimento di Fisica. Il loro gruppo, utilizzando sia esperimenti

che modellizzazione teorica, applica un approccio di meccanica statistica per comprendere l'origine dei comportamenti collettivi nei sistemi biologici. Di cosa stiamo parlando?

Partiamo dai **moscerini**: osservando volare uno sciame di questi piccoli insetti, è facile cogliere una sorta di danza coordinata, tant'è che vi capiterà di canticchiare "questo è il valzer del moscerino" ricordando lo Zecchino d'Oro (per essere precisi era il 1968 e la cantava una bimba di nome Cristina D'Avena, la canzone si classificò terza, vinsero altri animali matematici, i *quarantaquattro gatti in fila per sei col resto di due*). La sensazione che i moscerini in sciame



danzino può diventare oggetto di vero e proprio studio scientifico: questo fanno i nostri due ospiti con il loro team!

Il primo passo è l'osservazione, mediante acquisizione delle sequenze di immagini stereoscopiche dei percorsi dei singoli moscerini e dopo averle convertite in traiettorie 3D, tramite un software di tracking sviluppato proprio per questo studio.



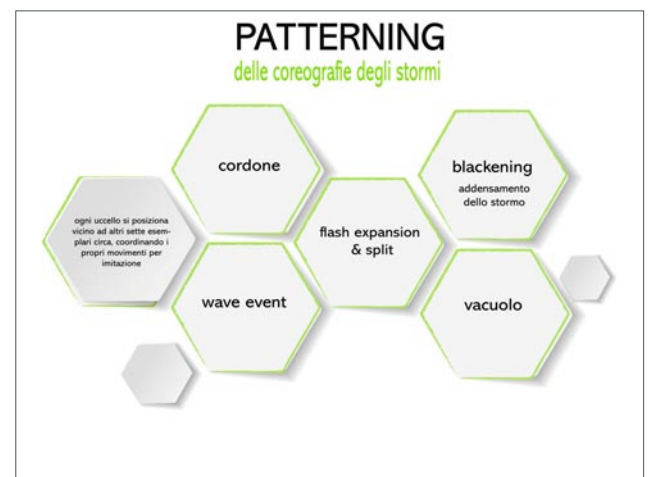
 Istituto dei sistemi complessi
CoBBS - Collective Behaviour in Biological Systems

Poi si passa all'analisi vera e propria, di tipo statistico: hanno cioè osservato le correlazioni spazio-temporali tra le velocità di movimento dei moscerini, calcolando quantitativamente l'influenza di un singolo individuo dello sciame sul comportamento di un altro individuo dello stesso gruppo, a un certo tempo e in una certa posizione. Detto così, sembra quasi ovvio, in realtà si tratta di una vera e propria frontiera nuova che i nostri studiosi hanno inaugurato. Spiega Irene Giardina: «*Lo studio rappresenta un importante passo nell'applicazione di metodi della fisica statistica anche a sistemi biologici e inoltre fornisce solidi risultati sperimentali con cui qualsiasi teoria futura degli sciami e dei movimenti collettivi in materia attiva dovrà confrontarsi*». La notizia valica i confini ristretti della comunità scientifica e approda sui mezzi di informazione: la "Dynamic scaling in natural swarms" (titolo esatto dell'articolo pubblicato nel 2017 su Nature Physics) diventa inevitabilmente "il valzer dei moscerini"!

Passiamo agli **uccelli**, i cui stormi in volo suscitano ancor più degli sciami una sorta di stupore ammirato: come fanno a volare così vicini senza scontrarsi, così coordinati e compatti? Un segreto che ogni pattuglia aeronautica acrobatica vorrebbe possedere! Anche qui, il laboratorio dei nostri due ospiti ha condotto una lunga indagine scientifica, che ovviamente ha dovuto partire



dalla raccolta dei dati. Da sedici anni ormai, piazza del Cinquecento a Roma è diventato un laboratorio di osservazione, dai tetti di palazzo Massimo, con videocamere sincronizzate ad alta velocità. Su questa mole di dati hanno applicato il metodo dell'analisi statistica, per comprendere il meccanismo del volo, se dipendesse da un capo-stormo che dà gli ordini oppure da altri fattori coordinanti. I risultati di questi studi sono a dir poco affascinanti e hanno portato persino alla creazione di un algoritmo, che potrebbe portare alla creazione di uno sciame artificiale. Spiega Andrea Cavagna: «*Il modello potrà essere impiegato per aumentare la comprensione di sistemi la cui evoluzione è, come nel caso degli stormi di storni, risultato delle complesse dinamiche a livello dei singoli componenti, aiutando lo sviluppo e la realizzazione di soluzioni tecnologiche in grado di implementare tali comportamenti*».



L'eccezionale database di stormi di storni costruito dal gruppo Cobbs negli ultimi 15 anni, unico nel suo genere poiché comprende le traiettorie tridimensionali di 45 stormi di varie dimensioni (da 10 a 3000 uccelli), ha permesso di provare l'efficacia dello studio. Il nuovo modello permette agli elementi all'interno dello stormo di coordinare i loro movimenti e di



essere molto correlati tra di loro, pur mantenendo una velocità vicina a quella di riferimento (circa 43 Km/h), proprio come negli stormi osservati sul campo.

Ecco dunque esemplificata la motivazione del premio *Max Delbruck*, l'insolita e felice coesistenza di osservazione, teoria e modellizzazione. I precedenti studi partivano da quantità molto piccole di esemplari osservati (7-10 uccelli), mentre il team del Cobbs è riuscito a studiare gruppi fino a cinquemila esemplari! «Per i primi tre anni

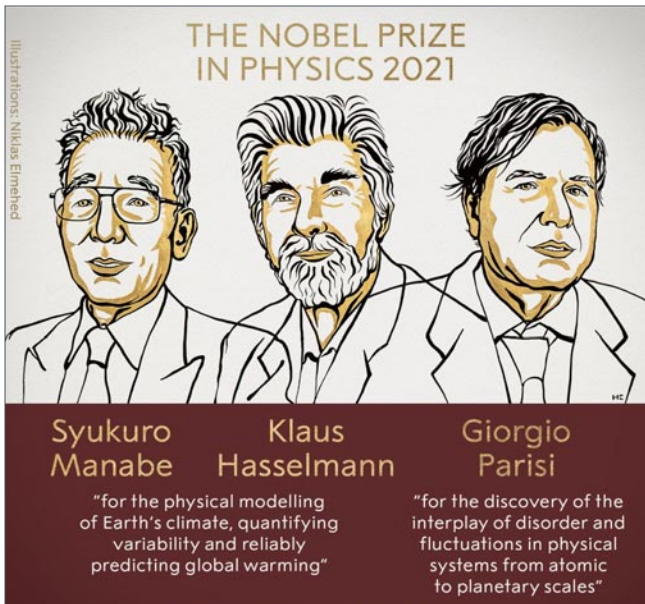
non abbiamo pubblicato nulla, li abbiamo passati tutte le sere sul tetto per ottenere i dati. Oggi non avrei più la fibra per farlo...» ha spiegato sorridendo Andrea Cavagna in un'intervista congiunta sul giornale *La Sicilia*. «*In uno stormo ogni individuo cerca di allineare il proprio volo a quello dei vicini, è un meccanismo imitativo di coordinazione locale ma conduce a una coordinazione collettiva – spiega Irene Giardina – Ed è un meccanismo indipendente dalle distanze degli uccelli nello spazio, ma dipendente dal loro ordine di vicinanza. L'aspetto interessante è che è un processo autogenerato: non c'è un uccello leader che guida il gruppo, l'ordine è autogenerato dalle interazioni locali tra gli individui.*» «*Si pensava che la forza sociale fra gli animali decadesse con l'aumentare della distanza, noi abbiamo trovato una situazione diversa – interviene Cavagna - un singolo individuo non interagisce con tutti gli altri ma con sette-otto uccelli. Non importa la distanza, tengono sotto controllo un numero fisso di vicini. Ci siamo chiesti come facciano migliaia di uccelli a coordinarsi in questa maniera fantastica interagendo soltanto con sette-otto vicini per volta. Il segreto di questo miracolo è la correlazione, un trasferimento indiretto di comunicazione, una sorta di telefono senza fili: si parla solo con il vicino ma si propaga a tutti. La cosa più sorprendente? Che le equazioni matematiche che usiamo per descrivere questi sistemi sono le stesse per l'elio superfluido».* (edizione del 2 novembre 2020).

Panta rei... Tutto si muove, non solo gli storni in stormo o i moscerini col loro valzer: questi comportamenti collettivi autoorganizzati sono, anzi, molto diffusi nel regno animale.

Ma si manifestano anche nel contesto di fenomeni sociali ed economici, ad esempio quando, alla fine di un concerto o dopo una manifestazione di piazza, una grande massa di individui deve defluire da uno spazio confinato, o nella formazione di trend e flussi di opinione, o ancora nella creazione di bolle speculative nei mercati finanziari.

Studiare il meccanismo alla base del comportamento collettivo negli uccelli, può contribuire alla comprensione di una classe di fenomeni molto più ampia, essenzialmente quella dei sistemi complessi.





Nel 2021 **Giorgio Parisi**, professore ordinario di Fisica teorica alla Sapienza di Roma, vince il Nobel per la fisica, insieme a Syukuro Manabe e Klaus Hasselmann. La motivazione ufficiale indica questo: "per la scoperta del legame tra il disordine e le fluttuazioni dei sistemi fisici dalla scala atomica a quella planetaria". La fisica dei sistemi complessi sale così alla ribalta, anche nell'opinione pubblica.

Tutti vorrebbero capire di cosa si tratta e così Parisi pubblica un libro che raccoglie una serie di contributi sulle sue ricerche, il primo dei quali dà il titolo al libro:

In un volo di storni. Le meraviglie dei sistemi complessi, Rizzoli 2021.

Nel raccontare lo studio sugli storni a Roma, condotto assieme a Irene Giardina e Andrea Cavagna, li cita testualmente come «due tra i miei migliori allievi». Parisi è stato in quel gruppo e ricorda con passione lo svolgersi della ricerca e in particolare i moltissimi problemi posti nel concreto a partire dalla raccolta dei dati, all'elaborazione degli stessi, fino alla difficoltà di pubblicare i risultati, perché «non tutti i biologi hanno apprezzato l'invasione di campo: alcuni si sono mostrati molto interessati al risultato, mentre altri hanno trovato la nostra indagine troppo povera di biologia e troppo ricca di matematica». Ma la bontà scientifica di questa nuova frontiera non ha tardato a trovare la sua strada, generando nuove ricerche...




Chissà se, come gli *auguri* (o *aruspici*) dell'antica Roma, avevano già letto il loro fausto futuro proprio nel volo degli uccelli!

Che dire?

Lavorare a questo progetto ha poi portato i nostri due ospiti a vincere il Max Delbrück Prize e Giorgio Parisi, per altri studi sempre su sistemi fisici complessi, a vincere il Nobel!



La matematica sottesa all'analisi del modello statistico è stata già oggetto di una conferenza di *Scienza, ultima frontiera*, precisamente nell'edizione 2017 dedicata a **“L'ordine e il caos”**. Il matematico **Giuseppe Mingione** ce ne ha parlato, lo potete riascoltare sul canale Youtube. Molto divertente il siparietto con Elena Cattaneo, che nel porre una domanda al relatore lo provocava scherzosamente: *Ma come fanno gli uccelli a sapere che devono applicare quel modello matematico?* I comportamenti “di gruppo” di alcuni animali seguono logiche evoluzionistiche, gli storni volano compatti per evitare l'attacco del falco pellegrino, che non può tuffarsi in picchiata in mezzo a loro, pena la rottura delle ali... La nostra mente cerca in questi comportamenti lo schema, il modello, la “matematizzazione”: una nuova frontiera della conoscenza umana.



Scienza ultima frontiera 2017 - Incontro con Giuseppe Mingione, 17 novembre 2017
 Biblioteca civica Brugherio • 3022 visualizzazioni • Trasmesso in streaming 4 anni fa

Scienza ultima frontiera 2017 - L'ordine e il caos - Terza serata: Le equazioni che spiegano il mondo e la teoria del caos, con Giuseppe Mingione, 17 novembre 2017

1:59:30

Sul sito del comune di Brugherio, nella sezione biblioteca, sono sempre disponibili tutte le bibliografie degli incontri di *Scienza, ultima frontiera*.

Potete recuperare quella dell'incontro con Giuseppe Mingione e trovare suggerimenti per approfondire la magia della matematica del caos...

Per continuare a restare aggiornati sugli studi e le ricerche di Irene Giardina e Andrea Cavagna, potete tenere sott'occhio il **sito del COBBS lab** (<https://www.isc.cnr.it/groups/cobbs/>), che racconta gli esiti ma anche lo svolgimento degli esperimenti, che - come abbiamo visto - richiedono lunghe preparazioni e tanta creatività.



SCIENZA, ULTIMA FRONTIERA
 È GRATUITO L'ACCESSO AI NON ADDETTI AI LAVORI

2017 • IV ANNO

L'ORDINE E IL CAOS

3 MATEMATICA

17 NOVEMBRE
 Le equazioni che spiegano il mondo e la teoria del caos
 con **GIUSEPPE MINGIONE**
 matematico
 Università di Parma

BIBLIOGRAFIA
Giuseppe Mingione
 Un uomo... dai grandi numeri
 Premi per i matematici: tutto tranne il Nobel

I matematici: gente un po' stramba
 Colpo d'occhio • Ispazio • Caccioppoli • Fibonacci • Nash • Turing • Vito Volterra, il matematico che disse di no

La matematica dell'ordine e del caos





NON È COME
SEMBRA

MA QUANTO SEI COMPLESSO...

Non c'è una vera e propria bibliografia divulgativa sulla fisica dei sistemi complessi, in particolare applicata ai comportamenti biologici collettivi.

Chi volesse approfondire, può trovare due voci sul sito della Treccani, curate rispettivamente dai nostri due ospiti e da Giorgio Parisi.



COMPORAMENTI COLLETTIVI

di Andrea Cavagna, Irene Giardina - XXI Secolo (2010)

Sistemi complessi, fisica dei

di Giorgio Parisi - Enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2007)



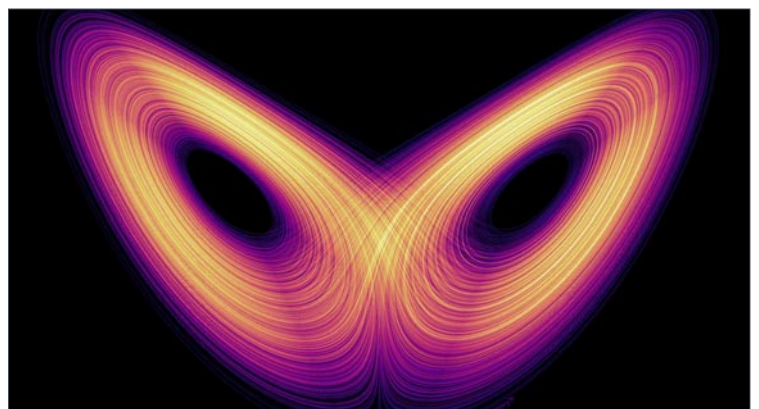
Il tema più generale della complessità viene invece trattato da diverse discipline.

Ecco una **carrellata di titoli**, con angolazioni le più diverse, scientifiche, filosofiche, antropologiche, pedagogiche, sociologiche... Per tutti i gusti: lasciatevi incuriosire!

Walter Grassi, Farfalle e uragani. Complessità: la teoria che governa il mondo,

Hoepli 2018

Ecco un bel tentativo di riassumere con linguaggio non troppo tecnico il tema multiforme della complessità, che spazia sui diversi argomenti, dalle origini della teoria del caos ai frattali, dalle previsioni del tempo alla biologia, dalla finanza alle scienze sociali. I fondamenti della complessità vengono ripercorsi dall'autore, che insegna fisica teorica a Pisa, a partire da alcuni nomi che sono legati alla storia di questo concetto: Lorenz (da cui viene il titolo e la fortunata espressione ormai iconica), Laplace, Pareto, Volterra, Zipf, Lotka, Prigogine e Mandelbrot. Il volume fa parte della collana *Microscopi*, pensata proprio, come spiega il curatore scientifico Massimo Temporelli, per posizionarsi "nel baricentro del triangolo Scienza-Tecnologia-Società". La complessità è... complessa, per definizione: «La complessità è una tematica profondamente interdisciplinare che affronta domande come: perché un essere vivente deve scambiare energia e materia con l'ambiente circostante? Che cosa significa che le irreversibilità sono origine di ordine? Quanto sono lunghi i confini fra nazioni? Come mai i fenomeni più diversi sono governati da leggi dello stesso tipo?».





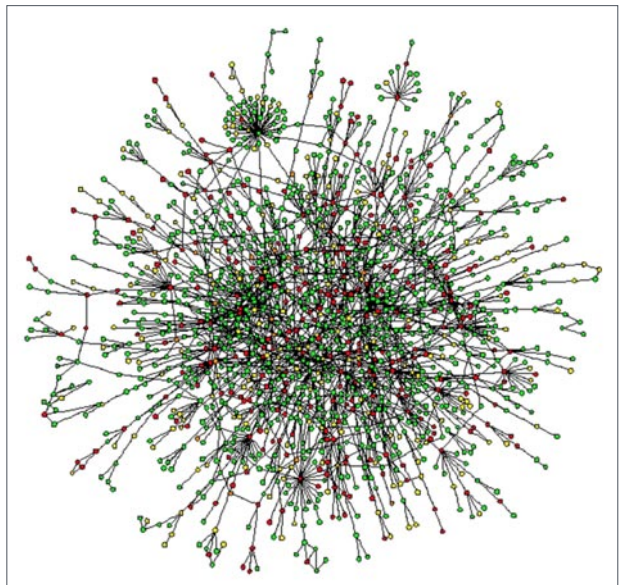
Alberto Gandolfi, *Formicai, imperi, cervelli. Introduzione alla scienza della complessità*, Bollati Boringhieri 2008

Bollati Boringhieri 2008

Il nobel a Parisi ha scatenato un interesse generale per i *sistemi complessi*, molti siti di informazione cercavano di fornire spiegazioni e suggerimenti di lettura. Tra questi, molto indicato è questo saggio di Gandolfi, considerato una buona e seria introduzione alla questione della "complessità". La prima cosa è non confondere complesso e complicato: un termitaio, un cervello, un impero sono sistemi complessi, che scambiano energia, materiali, informazioni con l'esterno. Un sistema complicato, al contrario, può anche essere estremamente elaborato, ma è governato da leggi lineari: ad un input specifico, il sistema reagisce con un output definito. Pensiamo a un computer o un'automobile. Non è necessario essere dei matematici o degli ingegneri per poter gustare le pagine di questo volume perché si parla anche di sociologia, rapporti umani, biologia, medicina, ecologia, elettronica e molta altro ancora, ma sempre in tono molto divulgativo.

Ignazio Licata, *Complessità. Un'introduzione semplice*, Di Renzo 2018

Di mestiere è un fisico teorico: «*Caos e computer sono stati un'altra componente essenziale del mio percorso scientifico, indirizzandomi verso lo studio dell'arcipelago "complessità"*». In questo saggio vuole provare a spiegare questo concetto in modo semplice (sembra un paradosso...), a partire dalla considerazione che spesso si identifica la scienza con il paradigma secondo cui un fenomeno può essere studiato analizzando i suoi componenti più elementari, che obbediscono a leggi capaci di prevedere, in modo deterministicamente preciso o probabilistico, il loro comportamento futuro. Questo approccio riduzionistico va bene per l'analisi del mondo microscopico delle particelle o a quello macro della cosmologia, nei quali c'è bisogno di grandi semplificazioni, ma non funziona nella "terra di mezzo" dei sistemi biologici, cognitivi e socio-economici. «*Il riduzionismo non ha in sé nulla di intrinsecamente sbagliato o "cattivo", semplicemente in molti casi non funziona. È in questi casi che cominciamo a parlare di complessità. Ma non è un'opposizione. In alcuni casi il sistema si presta ad essere studiato per costituenti (bottom up), in altri è necessario un approccio globale di tipo top down*», ha dichiarato Licata in una lunga intervista su *letture.org*. Proprio perché una visione basata sulla complessità ci insegna che la conoscenza del mondo non è una fotografia e che non c'è nessuna formula a cui ridurre le prospettive plurali sul mondo, allora c'è uno spazio per la responsabilità delle scelte, e la gestione delle cose e del sapere «*richiede un'arte di governo e strategie cognitive sempre diverse*». Da qui l'importanza di un'etica, che emerge come elemento determinante e strategico per gestire la complessità in modo efficace e per ricordare quella che è la natura autentica dell'impresa: «*tenere alta la tensione tra la necessità obbligata del mondo così com'è e la bellezza gratuita dei mondi desiderabili*».



Reda Benkirane, *La teoria della complessità*, Bollati Boringhieri 2007

Benkirane, sociologa svizzera di origine marocchina, non si propone di spiegare in cosa consista la complessità, né cerca di sintetizzare i principi alla base della rivoluzione che questo concetto ha comportato. Come dichiara esplicitamente nell'introduzione, preferisce dare la parola a una serie di autorevoli testimonianze di studiosi che, in campi tra loro molto diversi, hanno dato un contributo al tema della complessità. Una sorta di antologia a più voci, con interviste a Morin, Prigogine, Gershenfeld, Mange, Deneubourg, Steels, Langton, Varela, Goodwin, Kaufmann, Derrida, Pomeau, Ekeland, Chaitin, Barrow, Nottale, Linde e Serres. Le tematiche toccate sono le più diverse ed eterogenee: particelle elementari, atomi, molecole, geni, neuroni, formiche, pulci elettroniche, automi cellulari, robot, cyberspazio, individui e società contemporanee, entità matematiche, corpi celesti.

Convivono in questo libro punti di vista sul tema della complessità molto diversi, talvolta antitetici tra loro.

Giorgio Parisi, La chiave, la luce e l'ubriaco. Come si muove la ricerca scientifica, DiRenzo 2021

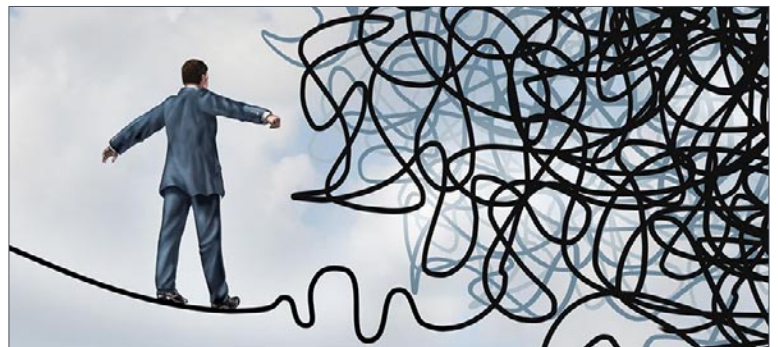
Una lunga chiacchierata con il premio nobel 2021 per la fisica, che permette di conoscere questo nostro straordinario scienziato ma anche di entrare più a fondo nei temi da lui affrontati lungo la sua carriera di ricercatore. Tra questi, il suo cavallo di battaglia: i sistemi complessi. All'inevitabile domanda di spiegare cosa sono Parisi risponde: «Rappresentano un campo di indagine nuovo e piuttosto delicato,

perché dotato di caratteristiche interdisciplinari: basti pensare alle connessioni esistenti con la biologia, l'informatica, la teoria dei sistemi e l'ecologia. Nello stesso tempo si tratta di un campo molto alla moda, sebbene la parola complesso scivoli tra le mani di chi cerca di darne una definizione precisa. A volte si sottolinea il significato di complicato, ossia composta da molti elementi (una centrale nucleare è un sistema complicato in quanto composto da centomila pezzi differenti), altre volte si sottolinea il significato di difficilmente comprensibile (l'atmosfera è un sistema complesso, in quanto non si possono fare previsioni a lunga scadenza). Lo scopo di una teoria dei sistemi complessi risiede nel cercare leggi che regolano il comportamento globale di sistemi di questo tipo; leggi fenomenologiche che non sono immediatamente deducibili dall'analisi delle regole che controllano ciascuno dei singoli costituenti». In altri passi si sofferma sul rapporto tra fisica e biologia, due discipline che presentano affinità elettive: «La biologia ha suggestionato un gran numero di fisici, da Schroedinger a Max Delbruck e Salvatore Luria, ad Arthur Gamow e Francis Crick... Esiste una disciplina, la biofisica, che potrebbe veramente unire lo stile della fisica a quello della biologia ma spesso la prima viene utilizzata come mero strumento al servizio della seconda. Una situazione analoga si riscontra nella biochimica... Soltanto negli ultimi tempi si è sviluppato un tentativo concreto di sfruttare gli sviluppi della fisica teorica per studiare alcuni problemi fondamentali della biologia».



Miguel Benasayag, Cinque lezioni di complessità, Feltrinelli 2020

«Vivevamo in un immaginario improntato a un'idea di individuo autonomo, autocentrato e di colpo... ci siamo trovati davanti la complessità». Queste parole di Benasayag, filosofo e psicanalista argentino, aprono un'altra accezione di complessità, legata all'emergere di tecnologie che modificano il nostro rapporto con il mondo, con noi stessi e il nostro modo di vivere. Le lezioni raccolte in questo libro non mirano a spiegare cosa sia un mondo divenuto complesso, ma come cercare di vivere in esso senza smarrirsi: «La complessità è davvero difficile da assumere, nella politica come nella vita, in termini di analisi, attuazione, decisione e prospettiva. Quello che occorre tenere presente, ad ogni livello dell'esistere, è che vi è molto di più rispetto all'istante che si vive. Un di più d'essere che non si conosce. E, proprio per questo, è necessario assumerlo come dato di fatto e tenerlo sempre presente. Non si tratta di ignoranza, di qualcosa di ignoto che deve restare così. La complessità va analizzata».



Così ha dichiarato l'autore in un'intervista a *fondazione-nenni.blog*. Ha poi proseguito: «Non penso che la complessità sia una teoria. O, perlomeno, io non la concepisco come tale. La ritengo, più che altro, una realtà materiale. Non ultimo perché il mondo stesso è complesso di per sé, la realtà è complessa di per sé: due entità tutt'altro che semplici. Io sono convinto che il pensiero dialettico – di stampo hegeliano e marxiano – e positivista alla Comte non bastino più per capire come viviamo e il contesto nel quale operiamo. Per arrivare ad una piena comprensione del nostro mondo, del mondo di questi anni e di come, probabilmente, esso cambierà in futuro, è necessario assumere la complessità come dato fattuale». Si può anche ascoltare direttamente l'autore, sul tema della complessità, sul sito della

Fondazione Feltrinelli.

The image shows the cover of the book 'Cinque lezioni di complessità' by Miguel Benasayag. The cover features a 3D geometric structure made of yellow and orange blocks. Text on the cover includes: 'CINQUE LEZIONI DI COMPLESSITÀ', '5 giugno, 18:30', 'La conoscenza e la formazione', 'Oltre l'informazione, verso l'azione', 'Miguel Benasayag', 'Franco Lorenzoni', and 'Benedetta Tobagi'. The publisher's logo 'FINECO' is at the bottom right.



Mauro Ceruti, Francesco Bellusci, Abitare la complessità. La sfida di un destino comune,

Mimesis 2020

Ceruti, sul suo sito personale, si presenta come “filosofo, teorico della complessità”. In questo saggio dialoga con un altro studioso di filosofia, a partire dalla considerazione che il mondo in cui viviamo oggi è segnato e guidato dall’incerto, dall’inafferrabile e dall’improbabile. Per questo urge un’attitudine a elaborare pensieri complessi, a considerare la complessità per viverla, per abitarci. Il testo propone itinerari nel pensiero filosofico e sociologico attuali per aiutare il lettore a superare l’illusione della semplificazione, per accettare una sfida che coinvolge l’educazione, la democrazia, la conoscenza. Il pensiero complesso è infatti ibrido e invita

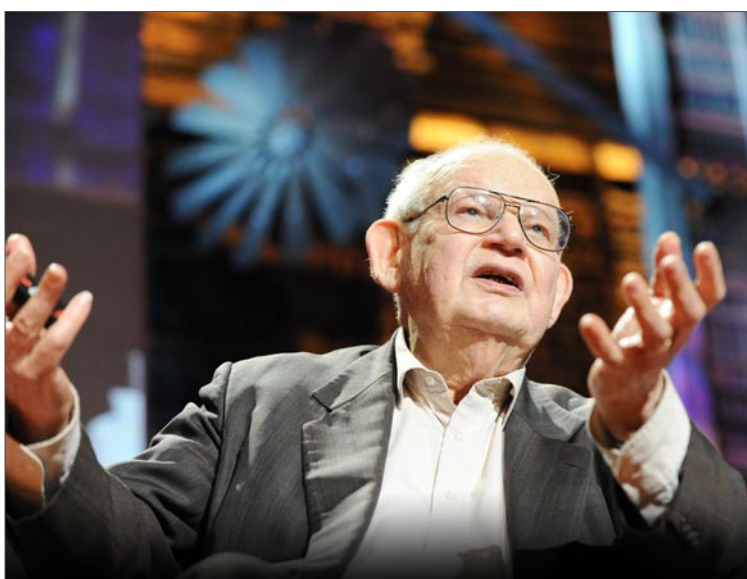
a ripensare i saperi superando la frattura fra umanesimo e scienza. Accettare la complessità è accogliere l’imprevisto e le differenze: una sfida alla sopravvivenza che si affronta necessariamente tutti insieme.

Mauro Ceruti, Il tempo della complessità. Con-

versazione con Walter Mariotti, Raffaello Cortina

2018

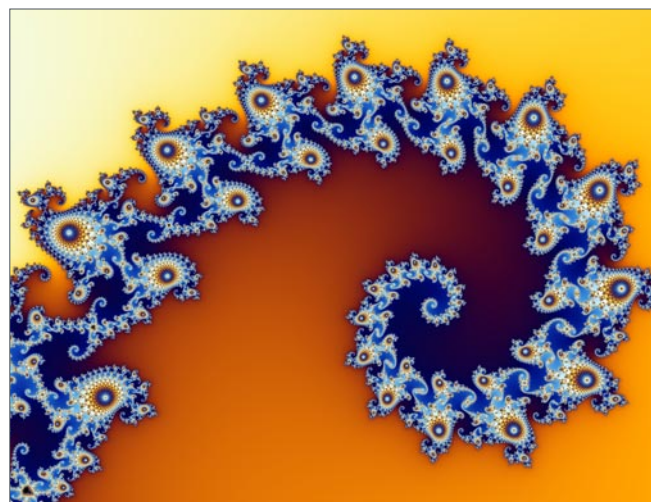
Seguendo il filo delle domande poste dal giornalista Walter Mariotti (direttore editoriale di Domus), Ceruti sostiene, citando anche Papa Francesco, l’importanza di un cambio di paradigma, per ripensare le idee di crescita, progresso e globalizzazione all’interno di una prospettiva complessa, che valorizzi «l’irriducibile molteplicità di dimensioni intrecciate nella nuova condizione umana». Ritiene indispensabile sviluppare pensiero complesso, imparando a vedere come l’integrazione di diverse dimensioni possa generare unità dalla molteplicità. Da questo intreccio sistemico di componenti diversificate si sviluppano modelli di comportamento, relazioni e interazioni che non sono direttamente deducibili dalle proprietà dei singoli elementi in gioco. Concludendo questa lunga intervista, Nella parte finale della lunga intervista-libro, cita il biologo americano Stephen Jay Gould, che discrimina tra visione creativa e visione fondamentalista dell’umanità, sostenendo che la condizione umana è una creazione continua, un’aspirazione all’universalità che emerge dall’interazione tra le diversità dei modi di essere e dei linguaggi tra persone e culture diverse.



BENOÎT MANDELBROT

Di origine ebraica, nato in Polonia, trasferitosi prima a Lione e poi negli Stati Uniti, è il matematico che ha inventato il termine “frattale”, dal latino *fractus*, che significa *spezzato*, per descrivere quegli enti geometrici che, per la loro natura frammentata e non liscia, si prestano meglio a descrivere la complessità della natura. Si racconta che trovò il termine sfogliando il dizionario di latino del figlio... Nel mondo che ci circonda non vediamo mai davvero coni, sfere, rette. Se vogliamo parlare di monta-

gne, fiocchi di neve, alberi, galassie, fulmini e broccoli, il linguaggio della geometria euclidea non è adeguato, perché descrive delle forme lisce, mentre il mondo ha fondamentalmente una natura frastagliata, rugosa, irregolare. Il termine frattale ottiene grande successo, tra gli scienziati e anche presso il grande pubblico.



Il frattale rappresenta un potente modello per realtà che appaiono terribilmente complesse, in svariati campi. Un modo per pensare e “domare” la complessità...

Ecco qualche titolo di Mandelbrot, si tratta di testi divulgativi, non specialisti.

Gli oggetti frattali. Forma, caso e dimensione, Einaudi 2000

Il testo in cui Mandelbrot spiega in prima persona la geometria dei frattali, che ha aperto la possibilità di misurare fenomeni naturali come fiori, alberi, fulmini, fiocchi di neve o cristalli...



Il disordine dei mercati. Una visione frattale di rischio, rovina e redditività, Einaudi 2005

I frattali aiutano a leggere e comprendere come funzionano fenomeni complessi anche di natura sociale, come può essere la finanza con i suoi sbalzi continui...

La formula della bellezza. La mia vita da vagabondo della scienza, Rizzoli 2014

L'ultimo libro scritto dal grande matematico, scomparso nel 2010: il racconto di una ricerca e di una vita animata dal desiderio di vedere...

