
Padova, 30 gennaio 2023

**CONFERITO OGGI NELL’AULA MAGNA DI PALAZZO DEL BO A PADOVA IL
DOTTORATO AD HONOREM AL NOBEL GIORGIO PARISI**

**Cerimonia con *lectio magistralis* del grande scienziato
dal titolo “La complessità vista da un fisico”
30 gennaio 2023 – ore 17.00**

MATERIALE STAMPA IN ALLEGATO:

Avviso punto stampa
Discorso Rettrice Daniela Mapelli
Motivazioni Direttore del Dipartimento di Fisica e Astronomia, Flavio Seno
Lectio magistralis del prof Giorgio Parisi
Foto

**AL PREMIO NOBEL GIORGIO PARISI
IL DOTTORATO AD HONOREM IN PHYSICS
DALL'UNIVERSITÀ DI PADOVA**

**Cerimonia con *lectio magistralis* del grande scienziato
dal titolo "La complessità vista da un fisico"
30 gennaio 2023 – ore 17.00**

**PUNTO STAMPA CON GIORGIO PARISI
30 GENNAIO ORE 15,30 SALA DELLA NAVE PALAZZO DEL BO**

27 gennaio 2023. È per gli straordinari meriti scientifici che l'**Università di Padova** attribuisce il **dottorato ad honorem in Physics** al professor **Giorgio Parisi, Premio Nobel per la fisica 2021** "per la scoperta dell'interazione fra disordine e fluttuazioni nei sistemi fisici dalla scala atomica a quella planetaria". Il titolo accademico onorario arriva su proposta del Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Ateneo patavino e sarà conferito con una cerimonia ufficiale **lunedì 30 gennaio alle ore 17 presso l'Aula Magna di Palazzo del Bo**, occasione in cui il grande scienziato terrà una *lectio magistralis* dal titolo ***La complessità vista da un fisico***. L'intervento chiude formalmente il palinsesto delle **Nobel Lectures** organizzate per le celebrazioni dell'**Ottocentenario dell'Università di Padova**.

La cerimonia, che ha inizio con l'ingresso in Aula Magna del corteo accademico, prosegue col preludio alla *lectio* di Parisi, ovvero la lettura della *laudatio* in suo onore a cura della **Magnifica Rettrice Daniela Mapelli** e quella delle motivazioni per il conferimento del dottorato da parte del **direttore del Dipartimento di Fisica e Astronomia Flavio Seno**, che afferma: "Sulla base del curriculum eccezionale di Giorgio Parisi, tenendo conto che egli non possiede il titolo di dottore di ricerca in Fisica assegnato da università italiane o straniere in quanto tale titolo è stato istituito in Italia solo negli anni Ottanta, il Dipartimento ne propone il conferimento ad honorem come doverosa gratificazione a uno dei più illustri scienziati che il nostro Paese abbia mai avuto, un onore per la nostra Università. Si tratta altresì di un riconoscimento alla consolidata attività sulla fisica statistica dei sistemi complessi dell'Università di Padova, iniziata dal professor Giovanni Jona-Lasinio negli anni Settanta e attualmente uno dei punti di forza della fisica teorica padovana".

"Giorgio Parisi è un fisico eclettico – aggiunge **Giulio Monaco, coordinatore del dottorato in Physics** dell'Università di Padova – le cui ricerche hanno riguardato aree come le particelle fondamentali, la materia condensata, la fisica statistica e i materiali disordinati. In tutti questi campi è diventato una figura di riferimento internazionale".

Nella mattinata di martedì 31 gennaio Giorgio Parisi sarà ospite del Dipartimento di Fisica e Astronomia: alle 9,30 visiterà il Museo Poleni e apporrà la propria firma nella "Lavagna dei

1222·2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Nobel". Alle 11,00 terrà con gli studenti il Colloquium "Multipla equilibria", e alle 12,00 gli sarà consegnato, come nella tradizione padovana, il papiro.

Nato a Roma nel 1948, **professore ordinario di Fisica teorica all'Università di Roma Tor Vergata prima e alla Sapienza poi, presidente dell'Accademia Nazionale dei Lincei dal 2018 al 2021**, con i suoi studi Parisi è stato determinante in diverse aree della fisica (delle particelle, meccanica statistica, fluidodinamica, materia condensata, supercomputer), ma non solo: autore di oltre 700 articoli scientifici, i suoi contributi si sono estesi anche a settori molto diversi, quali le reti neurali, il sistema immunitario e il movimento di gruppi di animali. Negli anni la sua attività di ricerca è stata premiata con i più prestigiosi riconoscimenti nazionali e internazionali, tra i quali, oltre al Nobel, il **Premio Lars Onsager (2016)** e il **Premio Wolf per la fisica (2021)**.

La *lectio* sarà trasmessa in **diretta streaming sul canale YouTube dell'Università di Padova** a questo indirizzo: https://www.youtube.com/watch?v=I_ewXxpukjY

PADOVA 2022

L'**Università degli Studi di Padova** è nata nel 1222, quando alcuni studenti provenienti da Bologna fondarono lo «Studium Patavinum» alla ricerca di libertà di cultura ed espressione. In otto secoli di storia ha ospitato grandi scienziati (uno su tutti, Galileo Galilei), aperto nuove vie e luoghi per la ricerca scientifica (l'Orto Botanico, il Teatro Anatomico) e ricevuto anche una Medaglia d'oro al valore militare (nel 1945, per il ruolo avuto durante la Resistenza). Nel 2022 festeggia gli ottocento anni dalla sua fondazione, la sesta più antica al mondo. Un viaggio lungo 18 mesi che, iniziato a ottobre 2021, prosegue fino al 2023 e si dispiega in un calendario ricco di eventi: inaugurazioni, cerimonie, conferenze, incontri di divulgazione scientifica, eventi pubblici, manifestazioni, pubblicazioni dedicate, congressi, performance, spettacoli, concerti, esposizioni, itinerari, visite guidate, laboratori e installazioni. Il suo motto è *Universa Universis Patavina Libertas*.
www.800anniunipd.it

UFFICIO STAMPA UNIVERSITÀ DI PADOVA

Carla Menaldo 334 6462662 - stampa@unipd.it
Tel. 049 8273066-3041- 3520

UFFICIO STAMPA OTTOCENTENARIO

Ex Libris Comunicazione - Carmen Novella (335 6792295)
ufficiostampa@exlibris.it

Ufficio stampa Ottocentenario
Ex Libris Comunicazione
via Benedetto Marcello 4
20124 Milano
tel. 02 45475230
exlibris@exlibris.it

Ufficio stampa Università di Padova
via VIII febbraio 2
35122 Padova
tel. 049 8273066-3041
stampa@unipd.it

Care e cari,

è con grande piacere che do il benvenuto a tutte e a tutti i rappresentanti della comunità accademica, agli ospiti qui convenuti, e in particolar modo al professor Giorgio Parisi, al quale abbiamo l'onore di conferire oggi il dottorato ad honorem in Physics.

Professore emerito di Fisica Teorica delle Interazioni Fondamentali all'Università di Roma "La Sapienza" e membro della Accademia Nazionale dei Lincei, dell'Académie des Sciences di Francia e della National Academy of Science degli Stati Uniti d'America, Giorgio Parisi ha vinto innumerevoli premi scientifici, tra i quali la medaglia Boltzmann, la medaglia Dirac, il premio Fermi, il premio Onsager, il premio Wolf e nel 2021 ha ricevuto, sesto italiano di sempre, il Premio Nobel per la Fisica per aver svelato l'interazione fra disordine e fluttuazioni nei sistemi fisici, dalla scala atomica a quella planetaria.

Parisi si è laureato a Roma, la città in cui è nato, nel 1970 sotto la guida di uno dei più grandi fisici italiani del 900, Nicola Cabibbo. Assunto come ricercatore INFN, ha trascorso periodi nei più importanti centri di Ricerca, come la Columbia University, l'École Normale Supérieure

di Parigi e il CERN di Ginevra, ma come per tutto il resto della sua carriera, pur allettato dalle offerte delle più prestigiose università, ha sempre mantenuto Roma e l'Italia al centro della sua vita. Ed è giusto sottolineare questa sua italianità, limpida prova che anche in un Paese dove scienza e istruzione sono cronicamente sotto-finanziate, è possibile fare ricerca al livello più alto.

Ed è proprio a Roma, che nel 1981 diventa professore ordinario di Fisica Teorica a soli 31 anni. Come allievo di Cabibbo, Parisi inizia la sua carriera nel campo della fisica delle particelle e a soli 29 anni introduce le equazioni, note anche come equazioni di Altarelli-Parisi. Contemporaneamente è attratto anche da argomenti fondamentali di teoria dei campi e, in particolare, dalle teorie di campo conformi.

Questo lo porta in poco tempo ad affrontare problemi di meccanica statistica, dove rapidamente si impadronisce della tecnica delle repliche, uno strumento formale che i ricercatori possono talvolta utilizzare per ridurre la complessità dei sistemi con interazioni eterogenee. Parisi vuole capire il caso paradigmatico dei vetri di spin - un tipo particolare di lega dove gli atomi magnetici interagiscono in modo casuale, contrariamente a quello che avviene nei ferromagneti puri. L'eterogeneità nelle interazioni tra gli atomi produce la cosiddetta frustrazione degli stati del sistema a bassa temperatura, la chiave per l'emergenza della complessità.

L'applicazione della teoria del campo medio ai vetri di spin richiede innanzitutto l'introduzione di "repliche", ovvero delle copie, identiche del sistema, che alla fine dei calcoli devono essere uguali a zero. Le applicazioni originali delle teorie standard ai vetri di spin assumevano che le "repliche" potessero essere trattate in modo del tutto equivalente, che ci fosse cioè la simmetria di replica e, come conseguenza, l'esistenza di un unico parametro d'ordine. Tuttavia, questa assunzione portava al risultato assurdo che l'entropia a basse temperature diventava negativa.

Giorgio Parisi risolve l'incongruenza con una idea folgorante. L'astuzia consiste nel dividere le repliche in gruppi, e poi questi gruppi in sottogruppi, e questi sottogruppi in sottogruppi più piccoli, e così via: gradini che non finiscono mai. Il risultato netto è che si ottiene, non uno, ma un numero infinito di parametri d'ordine e la conseguente rottura della simmetria di replica. Questa suddivisione risolve tutti i problemi e porta alla soluzione esatta del modello di campo medio dei vetri di spin. Tale risultato ha richiesto l'invenzione di una nuova tecnica formale che solo decenni dopo è stato dimostrato portare alla soluzione esatta.

La citazione di Parisi per l'assegnazione della Medaglia Boltzmann nel 1992 affermava che il suo lavoro "costituisce una delle più importanti scoperte nella storia dei sistemi disordinati".

I sistemi disordinati non si trovano solo nelle leghe magnetiche e la lezione appresa dai vetri di spin si è estesa ad altri campi. In particolare, l'uso di repliche e la rottura della simmetria tra di esse si è rivelato utile nel campo informatico dell'ottimizzazione combinatoria, in cui i ricercatori devono massimizzare o minimizzare una funzione di molte variabili soggetta a una varietà di vincoli.

Il lavoro di Parisi sui vetri di spin è solo una parte della sua vastissima produzione scientifica. In una intervista ha detto: "Ho la tendenza a lavorare su diversi argomenti contemporaneamente, perché per avere un'idea ci vuole tempo".

Dalla sua mente escono proposte nei più svariati campi, come l'idea di introdurre i multi-frattali nella turbolenza e negli attrattori strani o quella di usare la teoria delle reti per affrontare problemi di immunologia, oltre che quella di progettare un super-computer.

Più recentemente, Parisi ha studiato sistemi altamente complessi e disordinati che anche i non scienziati possono apprezzare: gli stormi vorticosi di uccelli. «Gli stormi sono molto interessanti perché compiono movimenti molto rapidi nell'aria. Si muovono in modo molto rettilineo, molto veloce, e lo fanno a migliaia e migliaia», ha detto Parisi in un'intervista, aggiungendo. «Uno dei problemi è come fanno a comunicare per fare questo movimento collettivo?».

Parisi e 20 colleghi trascorsero così un inverno a scattare 100.000 fotografie di stormi in volo e proprio qui a Padova, nel giugno del 2007, in una giornata organizzata dal Dipartimento di Fisica per far incontrare le comunità dei fisici e dei biologi, Parisi presentò questi risultati, lasciando di stucco gran parte dei presenti che si aspettavano di vedere formule complicatissime.

Gli stormi di storni rappresentano un esempio pratico e misurabile di un sistema complesso. Possono sembrare molto lontani dai vetri di spin ma hanno qualche cosa in comune: la complessità del loro comportamento non è data dalla semplice somma delle leggi dei singoli componenti, ma emerge dalle loro intricate interazioni. “More is different”, come diceva il Premio Nobel Anderson nel suo pioneristico articolo del 1972.

In un recentissimo editoriale, sulla rivista Sapere, Parisi sottolinea che la complessità, il tema del suo intervento oggi, qui in Aula Magna, può essere ben rappresentata dal cervello umano, «costituito da singoli neuroni che funzionano con leggi fisico-chimiche ben definite, che però una volta messi insieme producono comportamenti enormemente complessi, pensiamo solo alla vasta gamma di emozioni che siamo in grado di provare».

Ecco, oggi celebriamo uno scienziato che ha saputo spaziare su un fronte amplissimo di problemi: dal confinamento delle particelle all'interno del nucleo a quello del volo degli uccelli, uno scienziato che ha sempre sorpreso e aperto nuove frontiere. Ricordo

un'intervista di tanti anni fa a un altro fisico romano, Carlo Bernardini, che alla domanda quale sarà la fisica del futuro rispose, «quella che sta facendo e che farà Giorgio Parisi».

Ma ai meriti scientifici va aggiunta anche un'intensissima attività di promozione della cultura scientifica, di partecipazione sociale e di passione civile.

Partecipazione sociale, passione civile, promozione della scienza e della cultura che in questi ultimi due anni, da quando, forse suo malgrado, è diventato una stella dei programmi televisivi, sta cercando di trasmettere a un pubblico sempre più grande.

La cerimonia di oggi rappresenta una delle ultime celebrazioni per l'annus mirabilis che ci ha visto ricordare gli 800 anni della nostra Università. Come ho avuto più volte modo di dire, è stato un anno meraviglioso, emozionante, nel quale abbiamo avuto conferma di essere una grandissima comunità, poliedrica, multidisciplinare ma unita dal linguaggio comune parlato da tutte e tutti noi, quello del sapere.

Abbiamo avuto l'onore di ospitare personalità di rilievo e grandi artisti. E oggi qui, nell'Aula Magna dedicata a uno dei più nostri illustri docenti, quel Galileo Galilei a cui l'ateneo di Padova assicurò quella libertà di ricerca che in altri luoghi non poteva avere e che portò allo sviluppo del metodo scientifico, celebriamo il nostro ottocentenario con la presenza del professor Parisi che ha mostrato, in tutta la sua straordinaria carriera, la

libertà di oltrepassare i confini e di cercare la
contaminazione profonda dei saperi, coniugando
passione sociale e civile. Tutto questo è nel DNA del
nostro Ateneo, nei nostri 800 anni di Libertà e Futuro.
Benvenuto tra noi, Giorgio Parisi.

Padova, 30 gennaio 2022

DOTTORATO AD HONOREM GIORGIO PARISI
MOTIVAZIONI DEL CONFERIMENTO
DIPARTIMENTO DI FISICA E ASTRONOMIA DELL'UNIVERSITÀ DI PADOVA

Magnifica Rettrice, gentili colleghe, colleghi e studenti, autorità, signore e signori,

il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Padova propone di conferire al prof. Giorgio Parisi il dottorato di ricerca ad honorem in Physics, per i suoi pionieristici contributi nella fisica teorica delle particelle elementari, nella teoria quantistica dei campi e nella fisica statistica, e in particolare per aver svelato l'interazione tra disordine e fluttuazioni nei sistemi fisici a tutte le scale possibili, risultato che gli è valso l'assegnazione del premio Nobel per la Fisica nel 2021.

La produzione scientifica di Giorgio Parisi è vastissima e copre, come abbiamo sentito, svariati settori della fisica teorica, dall'infinitamente piccolo, all'infinitamente grande. In ognuno di questi ha fornito contributi di enorme rilevanza. Questa poliedricità ha dell'incredibile nella scienza moderna iper-specializzata e lo accomuna ad Enrico Fermi, ultimo grande fisico sia teorico che sperimentale, la cui attività si svolse però quasi un secolo fa. Ad Enrico Fermi lo si può accostare anche perché entrambi hanno vinto il premio Nobel per la fisica per ricerche condotte nel nostro paese.

Giorgio Parisi è unanimemente riconosciuto come il fondatore della teoria fisica dei sistemi complessi, poiché ancora negli anni 80 ha scoperto quei meccanismi nascosti, ma universali, che regolano il comportamento di molti sistemi il cui andamento collettivo è caratterizzato da proprietà emergenti. Tali proprietà scaturiscono quando la somma delle parti non basta a dare il totale e l'approccio riduzionista non è più un paradigma sufficiente per fare predizioni.

La natura è piena di fenomeni emergenti: la sincronizzazione tramite interazione, come la comunicazione delle cellule cardiache che si modulano per creare una contrazione o quella delle luci emesse dalle lucciole che, interagendo tra loro, fanno in modo di emettere i segnali luminosi tutte assieme o tutti i fenomeni che in biologia sono chiamati "pattern" dove l'interazione crea dei "motivi" geometrici affascinanti, come le dune nel deserto e le spirali sulla superficie delle conchiglie.

La grande rilevanza del lavoro di Giorgio Parisi è proprio quella che i suoi risultati possono avere applicazioni nei più svariati campi della scienza dove la complessità diviene la teoria unificante.

Non a caso, nell'assegnazione del premio Nobel, il lavoro di Giorgio Parisi viene affiancato a quello di Sykuro Manabe e di Klaus Hasselmann, pionieri della modellizzazione fisica dei fenomeni di cambiamento climatico.

Quando Giorgio Parisi iniziò giovanissimo la sua carriera accademica, in Italia, non esisteva ancora il titolo di Dottore di Ricerca che fu istituito con decreto ministeriale il 5 giugno 1982.

A quell'epoca era già Professore Ordinario presso l'Università di Roma 2, a Tor Vergata e per tanto non ha mai avuto la necessità pratica di ottenere quel titolo.

È per me quindi un onore ed un privilegio potervi riferire oggi che il Dipartimento di Fisica e Astronomia ha deciso, all'unanimità dei suoi voti, in base a queste motivazioni e al curriculum

eccezionale, di proporre l'attribuzione del Dottorato ad honorem in Physics a Giorgio Parisi, ritenendo che tale attribuzione sia una doverosa gratificazione a uno dei più illustri scienziati che il nostro paese abbia mai avuto, e un onore per la nostra università.

Prof Flavio Seno, Direttore Dipartimento di Fisica e Astronomia "Galileo Galilei" dell'Università di Padova

Riconoscimenti internazionali

Premio Lagrange, aprile 2009 [*"il premio, istituito nel 2007, viene conferito agli scienziati che abbiano maggiormente contribuito allo sviluppo della scienza della complessità nei più diversi ambiti della conoscenza"*];

Medaglia Max Planck, 2011, con la seguente motivazione: *"per i suoi importanti contributi teorici nella fisica delle particelle elementari, nella teoria quantistica dei campi e nella fisica statistica, in particolare nello studio dei sistemi con disordine quenched e dei vetri di spin"*;

Premio Vittorio De Sica per le scienze, 2011;

Premio ENS "Prix des 3 Physiciens", 2011;

Nature Awards for Mentoring in Science, 2013;

Premio High Energy and Particle Physics (EPS-HEPP), 2015, con la seguente motivazione:

"per lo sviluppo di una teoria di campo probabilistica per la dinamica di quark e gluoni, consentendo una comprensione quantitativa di collisioni ad alta energia che coinvolgono adroni".

Premio Lars Onsager, 2016, con la seguente motivazione: *"per il lavoro pionieristico sull'applicazione del concetto di vetro di spin a gruppi di problemi computazionali, fornendo sia una nuova classe di algoritmi efficienti, che nuove prospettive sulla struttura e sulla complessità delle transizioni di fase"*.

Premio Wolf per la fisica, 2021, con la seguente motivazione: *"per le sue scoperte pionieristiche nella teoria quantistica dei campi, in meccanica statistica e nei sistemi complessi"*.

Premio Nobel per la fisica, 2021, con la seguente motivazione: *"per la scoperta dell'interazione fra disordine e fluttuazioni nei sistemi fisici dalla scala atomica a quella planetaria"*.

Giorgio Parisi è inoltre membro delle seguenti Accademie:

Accademia dei Lincei dal 1988;

National Academy of Science degli Stati Uniti d'America dal 1992;

Académie des sciences di Francia dal 1993;

Accademia nazionale delle scienze detta dei XL dal 2000;

Academia Europaea dal 2009

American Philosophical Society dal 2013.

DOTTORATO AD HONOREM GIORGIO PARISI
LECTIO MAGISTRALIS

Un mucchio di rifiuti sparsi a caso, l'ordine più bello. Eraclito

La parola “complesso” scivola tra le mani di chi cerca di darne una definizione precisa. A volte se ne sottolinea il significato di “complicato”, ossia composto da molti elementi (una centrale nucleare è un sistema complesso, in quanto composto da centomila pezzi differenti); altre volte si sottolinea il significato di “incomprensibile” (l'atmosfera è un sistema complesso, in quanto non si possono fare previsioni a lunga scadenza). Molto spesso, nei convegni sui sistemi complessi, capita che ciascuno degli oratori usi la parola con un'accezione differente. A parte i problemi di definizione, le vere difficoltà nascono quando, dopo aver dichiarato che un dato sistema è complesso, si vuole utilizzare questa affermazione per ottenere risultati positivi e non per lavarcisi le mani, limitandosi ad affermare che il sistema è complesso e quindi nessuna predizione è possibile.

In questi ultimi decenni l'attenzione si è concentrata sui sistemi complessi, composti da elementi diversi che interagiscono fra di loro secondo leggi più o meno complicate, ed in cui sono presenti un certo numero di meccanismi che ne stabilizzano il comportamento collettivo. La teoria dei sistemi complessi, che i fisici hanno messo a punto, si colloca a metà strada tra un punto di vista riduzionista tradizionale, che peraltro sembra non portare da nessuna parte, e un punto di vista olistico globale in cui invece si trascura la natura dell'interazione tra costituenti.

Questa teoria parte sempre dai sistemi complessi e dall'analisi del comportamento dei suoi singoli costituenti ma aggiunge l'idea che i dettagli minuti delle proprietà dei componenti sono irrilevanti e che il comportamento collettivo non cambia se cambiano di poco le leggi che regolano le interazioni fra i componenti.

La teoria dei sistemi complessi ha tantissime sfaccettature e punti di vista diversi, e io vorrei oggi, anche se in modo approssimativo, affrontare l'aspetto fondamentale che nei sistemi complessi esistono equilibri multipli. Comincerei con un riferimento, anche se molto lontano dalla fisica, che è la teoria di Eldredge e Gould sull'evoluzione delle specie, elaborata nel 1972, la quale parla di equilibri punteggiati (punctuated equilibria), assumendo che nell'evoluzione vi siano lunghe stasi separate (punteggiate) da cambiamenti veloci con un processo che non è continuo. È ancora presto per dire quanto questa idea sia corretta, dal momento che ci sono ancora molte discussioni a proposito, ma essa rivoluziona la teoria dell'evoluzione, ammettendo che in un sistema complesso come quello di una singola specie ci siano dei periodi lunghi di equilibrio

separati da transizioni veloci che portano ad un nuovo punto di equilibrio. Questo può succedere negli ecosistemi, nelle glaciazioni, nelle ere geologiche e via dicendo.

Possiamo dire in generale che un sistema complesso può stare in molti stati di equilibrio, mentre un sistema semplice può stare in pochi o in un solo stato di equilibrio. Se prendiamo un sistema semplice, l'acqua, e la mettiamo a temperatura ambiente in un bicchiere, allora a seconda della temperatura della stanza e della pressione questa può stare in forma o liquida o gassosa. Se prendiamo invece un animale, sistema complesso, questo può fare tante azioni diverse e passare da uno stato all'altro in modo veloce.

Il sistema complesso con cui abbiamo maggiore familiarità è il nostro cervello. Prendiamo per esempio una parte fondamentale del nostro cervello, quella responsabile della memoria. Se decidiamo di memorizzare qualcosa o un ricordo, la nostra memoria può rimanere in uno stato di ricordo attivo per un periodo relativamente lungo di 5-10 secondi per poi passare velocemente a ricordarne un'altra. La memoria, quindi, ha un enorme numero di stati di equilibrio, ognuno dei quali corrisponde a un nostro possibile ricordo e il vasto numero di cose e situazioni da memorizzare dipende dal grandissimo numero di questi stati di equilibrio.

Quest'idea di sistemi dotati di tanti punti di equilibrio era diffusa in diverse branche della scienza già negli anni 70, ma non era affatto chiaro come si potesse attaccare il problema usando le tecniche standard della fisica. Questi sistemi erano complessi, differenti gli uni dagli altri, e anche se i fisici avessero avuto cognizione, cosa che non avevano, della teoria degli equilibri punteggiati, una tale cognizione sarebbe stata inutile. Come diceva già Einstein, per fare dei progressi, per poter modellizzare un sistema fisico, bisogna trovare un modello da studiare che sia il più semplice possibile. Una volta trovato, questo modello va studiato nel dettaglio e poi usato come trampolino per studiare altri problemi. È quello che ha fatto per esempio il nostro Galileo Galilei che, riguardo la teoria tradizionale sull'attrito, ha cominciato a studiare un caso limite, in cui l'attrito era trascurabile e, analizzando questo modello, ha trovato tutta una serie di comportamenti. L'semplificazione, seppur forzata, di un mondo senza attrito, è stata fondamentale per capire fino in fondo la fisica del mondo senza attrito, per procedere da un modello semplice in cui inserire poi l'attrito e altri ingredienti trascurati. Quindi, la scelta di un modello semplice da cui partire per la sperimentazione è stata fondamentale.

Negli anni 60/70 su questo principio è nata l'idea dei vetri di spin.

Il modello più semplice che possiamo considerare è il seguente: in una stanza ci sono tante persone che si conoscono, e che sono tra loro simpatiche e antipatiche. Dobbiamo dividerle su due tavoli: cominciamo in maniera casuale e poi permettiamo loro di poter cambiare posto fino a che non si raggiunge uno stato di soddisfazione generale e in cui non si può ulteriormente migliorare la soddisfazione. In questa situazione non è facile calcolare qual è la situazione ottimale e dal punto di vista matematico questo è uno dei sistemi più complicati.

Un ruolo fondamentale è giocato dalla frustrazione. La frustrazione negli esseri umani e negli animali deriva da bisogni insoddisfatti. Freud ha messo in relazione la frustrazione con le condizioni inibitorie che ostacolano la realizzazione di un dato obiettivo. Nella letteratura psicologica si possono trovare molte definizioni diverse ma, a grandi linee, una situazione è definita frustrante quando un ostacolo fisico, sociale, concettuale o ambientale impedisce la soddisfazione di un desiderio. Nel contesto dei vetri di spin la frustrazione nasce quando ci sono obiettivi che sono incompatibili tra di loro.

Facciamo un esempio: io sono amico sia del signor Bianchi che del signor Rossi e vorrei sedermi al tavolo con entrambi, ma purtroppo loro si detestano e per me diventa quindi difficile essere simultaneamente molto amico di entrambi. Questa situazione, che incontriamo spessissimo nella vita, diventa di per sé frustrante ed è sempre più complessa quando sono coinvolti tanti individui.

Prendiamo come altro esempio le tragedie di Shakespeare, dove ci sono due (o a volte più) gruppi tra loro contrapposti e ogni personaggio deve decidere da che parte stare. Prendiamo tre personaggi di questo dramma, Anna, Beatrice e Carlo. Se tutti e tre si stanno simpatici a vicenda, non c'è nessun problema: sceglieranno lo stesso gruppo. Altrettanto semplice sarà la soluzione se due di loro si stanno simpatici e ambedue provano antipatia, ricambiata, per il terzo. In questo caso la coppia affiatata sceglierà un gruppo e il personaggio rimanente opererà per l'altro. Ma cosa accadrà se tutti e tre si stanno antipatici tra loro? Risulterà un certo grado di frustrazione perché due persone che provano reciproca antipatia dovranno necessariamente stare nello stesso gruppo. Una tripletta di questo genere è frustrata. Quando molte triplette sono frustrate, evidentemente la situazione inizia a diventare instabile, alcuni possono cambiare gruppo cercando di trovare uno stato in cui la frustrazione totale sia più bassa. Possiamo definire la "tensione drammatica" come il numero di triplette frustrate diviso il numero totale di triplette. Studi dettagliati hanno mostrato come nelle tragedie di Shakespeare la tensione drammatica così definita sia abbastanza bassa all'inizio della tragedia, raggiunga un massimo circa a metà della rappresentazione, per poi decrescere verso la fine.

Questo sistema dal punto di vista matematico corrisponde ai vetri di spin, quando si sostituiscono le parole simpatico e antipatico con ferromagnetico, che significa mettersi nella stessa direzione, e antiferromagnetico, cioè andare in direzioni opposte, e identifichiamo i gruppi di amici e nemici con insiemi di spin orientati in direzioni differenti.

Fisica velocissima dei vetri di spin

L'analisi teorica sui vetri di spin fatta da Sherrington e Kirkpatrick negli anni 70 era inconsistente e per caso io mi sono interessato a questo tema. Dal Natale del '78, lavorando e studiando in maniera indefessa per circa sei mesi, ho trovato alla fine un rimedio che dava finalmente risultati consistenti.

Descrizione della teoria, biglietto della lotteria

Dal momento in cui la mia teoria è stata formulata, fino a quando ne è stata dimostrata la correttezza in tutti i dettagli sono passati trent'anni. E ne sarebbero passati molti di più se il fisico matematico Francesco Guerra non avesse avuto delle idee brillantissime che hanno dimostrato la correttezza di quello che avevo fatto. I vetri di spin sono stati un inizio dello studio di tantissimi altri sistemi che hanno caratteristiche simili. Uno dei primi sistemi con queste caratteristiche sono state le reti neurali, poi considerate alla base dell'intelligenza artificiale.

Sviluppi nella fisica:

- Dynamics: aging, modified fluctuation-dissipation relation on long time scales.
- Structural glasses: relevance of replica symmetry breaking for the glass transition.
- Jamming for hard spheres: the exponents for the jamming transition.
- Interfaces and polymers in random media, pinning.
- Heteropolymers and the folding of biopolymers (RNA, proteins).

Sviluppi in altre discipline

- Artificial neural networks.
- Computation of the capacity of associative memories. • Learning and generalizations.
- Relation to neurobiology.
- Optimization and computer science.
- Simulated annealing.
- Random travelling salesman, matching, assignment.
- Constraint satisfaction problems : K-SAT, coloring ... • Error correcting codes.
- Compressed sensing.

Inoltre, tutto questo è stato applicato a equilibri ecologici, ed a problemi di ottimizzazione di varia natura. La teoria dei sistemi complessi è stata quindi applicata a vari sistemi, la cui caratteristica più interessante è costituita dall'esistenza di un gran numero di stati di equilibrio differenti. In poche parole, ciò che non si modifica col tempo non è complesso, mentre un sistema che può assumere molte forme diverse lo è certamente. Se ci guardiamo intorno, guardiamo noi stessi, gli animali, gli ecosistemi, la terra, il clima, abbiamo complessità intorno a noi. La cosa più interessante per me, durante questo lavoro, è stato mettere giù gli strumenti fisici con cui affrontare la complessità. A tale proposito vi è un mio lavoro degli anni 80, *Facing complexity* in cui sottolineavo i problemi che nascevano a guardare in faccia la complessità, senza cercare di nasconderla sotto il tappeto.

Ovviamente i sistemi, per rimanere complessi, devono avere un equilibrio interno, perché quello che può succedere è che il sistema smetta di essere complesso e vada in una situazione diversa, in uno stato non più modificabile. Allora quello che succede quando guardiamo i sistemi complessi reali, come una cellula vivente, un cervello, una società o un essere vivente completo come un animale, vediamo sempre che in questi sistemi c'è una costante competizione, ma anche una cooperazione fra un grandissimo numero di elementi che a seconda dei casi possono essere proteine, neuroni, o gli attori, le persone che compongono questa società.

Questi sistemi non sono mai in equilibrio, ma tuttavia oscillano e fluttuano attorno a un qualche stato definito di equilibrio. Per esempio, un cane che dorme, si sveglia, corre, ecc. fa azioni completamente diverse, ma rimane in qualche modo un essere vivente. In questa situazione lo stato è flessibile, malleabile, è capace di adattarsi ai cambiamenti nell'ambiente attraverso la transizione tra vari stati possibili senza in questo modo perdere l'identità: in altre parole noi dormiamo, ci svegliamo ecc. e non cambiamo identità. Tuttavia, è possibile che questo sistema delicato di cooperazione, di competizione, di stimolazione e in qualche modo di inibizione (per esempio nel cervello ci sono neuroni che stimolano e neuroni che inibiscono), di controlli e di sistemi di bilanciamento sia violato: in tal caso quello che succede è che il sistema cambia, le interazioni tra i sottosistemi si modificano, il sistema globale incomincia a non essere più complesso e avviene qualcosa di anomalo. Esempi sono un tumore nella cellula, una malattia nei sistemi nervosi e una dittatura nella società. A questo punto, la complessità del sistema degrada e il funzionamento del sistema, nella sua interezza, è severamente danneggiato o addirittura eliminato.

Quindi vorrei concludere, prendendo spunto da quello che scrive il mio amico Imre Kondor, asserendo che la perdita della complessità è pericolosa, e ricordare il monito attribuito un grande storico ottocentesco, Jacob Burckhardt, che ha studiato a fondo i processi politici e sociali: "La negazione della complessità è l'essenza della tirannia".

Grazie.

