

# I meriti scientifici del premio Nobel Giorgio Parisi

[Vista \(/articolo/meriti-scientifici-del-premio-nobel-giorgio-parisi/enzo-marinari/2021-10-18\)](#)

[Revisioni \(/node/19521/revisions\)](#)

**di Enzo Marinari (/autori/marinari/2317)**

Publicato il 18/10/2021  
Tempo di lettura: 9 mins



Anche se la cosa non appare chiaramente nella breve motivazione del premio Nobel per la Fisica del 2021, il riconoscimento a Parisi ha sì radici estremamente estese, ma ha il suo nucleo in un gruppo di risultati che Giorgio Parisi ha pubblicato, a tambur battente (perché capiva bene le enormi potenzialità della sua scoperta) fra il 1979 e il 1980<sup>1-6</sup>. In questi lavori viene introdotta quella che poi sarà nota come "la teoria di Parisi", o la teoria RSB (Replica Symmetry Breaking, o rottura della simmetria delle repliche). Si tratta di un esempio tipico di "ricerca per curiosità", tanto cara a Parisi, e cioè di una ricerca che all'inizio non muove da alcuna prospettiva applicativa, che nasce perché si ha un bel problema da risolvere e non gli si può resistere, e che poi, a volte, come in questo caso, porta a un impatto anche applicativo enorme.

Nei primi anni Settanta nuovi esperimenti avevano studiato alcune leghe magnetiche disordinate, i cosiddetti "vetri di spin" (o *spin glass*), non troppo utili per scopi applicativi, e avevano trovato dei risultati inaspettati, che sembravano avere la potenzialità di mettere in discussione alcuni punti chiave della parte della fisica moderna chiamata *meccanica statistica*. Moltissimi teorici, fra i quali motivatissimi premi Nobel, avevano passato anni a cercare di capire cosa stesse succedendo, e nessuno era riuscito ad avvicinarsi alla soluzione del problema che, a questo punto, stava rapidamente diventando uno dei Sacri Graal della fisica teorica. In quei pochi mesi d'oro fra il 1979 e il 1980 un giovanissimo Giorgio Parisi risolve il problema in una sua declinazione standard, quella cosiddetta di *campo medio*, con un'audace soluzione, all'interno della quale molti dei canoni della meccanica statistica vengono frantumati. Solo dopo quasi trent'anni il matematico Michel Talagrand riesce a dimostrare (grazie agli sforzi di molti matematici e fisici matematici, fra i quali ha avuto un ruolo cruciale Francesco Guerra del Dipartimento di Fisica della Sapienza di Roma) che la soluzione di Parisi è in effetti la corretta soluzione del problema, eliminando il dubbio che potesse trattarsi solo di una accuratissima approssimazione.

La soluzione di Parisi, come ottenuta nel 1979-1980, compie un balzo teorico colossale. Parisi costruisce una impressionante struttura matematica sulla base di criteri molto generali, e questa struttura risulta essere proprio la corretta soluzione del problema fisico che ci si era posto: l'enorme fascino teorico del modo in cui Parisi si pone il problema e lo risolve è sottolineato dal fatto che solo tre anni dopo, nel 1983, Parisi riesce a formalizzare la grande portata fisica della teoria<sup>7</sup> e riesce a collegarne le previsioni a grandezze osservabili sperimentalmente. Più avanti torneremo su questo aspetto e lo collegheremo agli strumenti che la "scuola romana" fornisce al giovane Parisi (che riesce a utilizzarli in modo quasi magico). La "scuola romana" gioca un ruolo fondamentale nei contributi scientifici portati da Parisi, che ne diventa, prestissimo, uno dei perni più forti e visibili.

Parisi continua la sua carriera mettendo in luce il ruolo, spesso rivoluzionario, del disordine nel determinare il comportamento di sistemi fisici, e lo fa in molti contesti diversi, sia all'interno della sua stessa teoria sia sfruttando altri formalismi che introduce e svela. Questo contributo è ben descritto dalla motivazione con cui il premio Nobel gli è stato assegnato: "per la scoperta dell'interazione fra disordine e fluttuazioni in sistemi fisici, da scale atomiche a scale planetarie".

In effetti, prima degli anni 1979 e 1980, tanto da ammirare, e negli anni immediatamente successivi, Parisi, che era stato un brillante allievo di Nicola Cabibbo, aveva ottenuto risultati decisivi nella fisica delle particelle elementari, che non sono inclusi, se non forse in piccolissima parte, nella motivazione del premio Nobel 2021. Insieme a Guido Altarelli, aveva proposto le equazioni<sup>8</sup>, ora dette DGLAP, fondamentali nell'ambito dell'analisi della Cromodinamica Quantistica, la teoria che descrive le interazioni tra i costituenti fondamentali della materia, i quark. Questo contributo, da solo e nel quadro dei molti contributi alla fisica delle particelle, è di per sé un contributo da Nobel. Parisi (in questo caso integrando le sue idee in modo appassionato con quelle del premio Nobel Ken Wilson, con il quale ha sempre avuto una enorme sintonia scientifica) ha dato anche contributi importanti allo studio delle teorie di gauge reticolari<sup>9</sup> (un modo per cercare di comprendere i comportamenti fisici al livello delle scale di lunghezza più piccole che riusciamo a indagare) arrivando addirittura a disegnare e realizzare, prima nel gruppo APE<sup>10</sup>, creato insieme a Nicola Cabibbo, e poi nella collaborazione italo-spagnola Janus<sup>11</sup>, super-computer ottimizzati per lo studio dei problemi ai quali si interessava.

Tornando alla motivazione del premio vale la pena esaminare, anche se necessariamente solo in modo molto sintetico, i principali contributi in cui Parisi riesce a dominare la complessità dei sistemi fisici su scale di lunghezza diversissime. Dei vetri di spin abbiamo già detto: ancora oggi si tratta di un campo stimolante, che contiene fondamentali domande ancora aperte. Sulla scala atomica lo sviluppo più notevole della teoria di Parisi è la possibilità di studiare i vetri e lo stato amorfo<sup>12-13</sup> (che ancora la fisica non sa spiegare con la necessaria completezza). In questo caso non c'è un disordine preesistente che non cambia nel tempo (questa è una delle condizioni di base per ottenere un vetro di spin) ma il disordine si crea dinamicamente. Immaginate di avere un gran numero di sfere di due grandezze diverse (un tipo è più o meno della grandezza di un pallone da calcio è il secondo è grande circa metà). Potete disporre, se volete, queste sfere in una stanza impacchettandole per bene, in modo ordinato, e creando in questo modo una forma cristallina. Se invece chiedete al portiere della vostra squadra di calcio preferita di lanciarle dentro la stanza attraverso la porta, molto rapidamente, le sfere si disporranno in modo disordinato, e riportarle a uno stato ordinato (un "cristallo") richiederebbe una grandissima quantità di lavoro. Questo stato disordinato è una rappresentazione dello stato amorfo o vetroso. Lo studio dello stato amorfo è oggi, su scala atomica, certamente lo sviluppo più ricco e promettente della teoria di Parisi.

Le idee di Parisi (e in generale i molti approcci che Parisi ha introdotto) si impongono perché diventano paradigmatiche, e costruiscono un modo per ottenere analisi e predizioni quantitative in sistemi complessi anche molto diversi da quelli magnetici o amorfi che vengono analizzati nella fisica della materia: è proprio la forza che ha permesso di analizzare fenomeni fuori dal campo in cui storicamente si sviluppano le teorie fisiche che ha dato tanta popolarità alle idee di Parisi sui sistemi disordinati e complessi.

Citiamo in primo luogo le molte applicazioni a sistemi biologici<sup>14-15</sup>, e sottolineiamo come esempio gli studi di proteine e di RNA. Qui la scala di lunghezza è dell'ordine dei nanometri, e le idee di Parisi sono importanti, per esempio, per spiegare come le proteine possano avere le loro funzionalità complesse. Salendo ancora nelle scale di lunghezza le teorie di Parisi sono diventate fondamentali nell'analisi di reti neurali<sup>16</sup> e nei tentativi di modellizzazione del funzionamento del cervello.

Parisi ha introdotto la multifrattalità in fisica, analizzando le leggi di scala multifrattali in turbolenza<sup>17</sup>. Parisi ha anche introdotto e analizzato<sup>18</sup> il modello KPZ (Kardar, Parisi e Zhang) per la crescita di superfici in mezzi disordinati. Le equazioni KPZ sono diventate un metodo fondamentale per descrivere questi fenomeni.

Giungiamo infine a scale di lunghezza macroscopiche. Gli studi sugli stormi di storni<sup>19</sup> (gli splendidi e spesso enormi gruppi di uccelli che si vedono volare su Roma) hanno consentito un nuovo livello di comprensione dell'aggregazione di agenti. Sono stati enormi anche i suoi contributi allo studio di problemi e tecniche di ottimizzazione<sup>20</sup>. Le idee di Parisi consentono anche l'analisi quantitativa di sistemi finanziari e socioeconomici. Citiamo in ultimo, raggiungendo la scala planetaria citata nella motivazione del premio Nobel, la sua introduzione del fenomeno della risonanza stocastica<sup>21</sup>, come motivazione della periodicità delle glaciazioni. Come in molti altri aspetti del lavoro di Parisi anche in questo caso è emerso con il tempo un aspetto paradigmatico, e lo stesso principio viene applicato adesso a descrivere sistemi in campi diversi come le neuroscienze, la biologia e la psicologia.

Questo lungo elenco non dà conto, in effetti, che di una parte del lavoro per il quale a Parisi è stato attribuito il premio Nobel per la Fisica nel 2021. Vale però la pena di ritornare, avendo focalizzato meglio l'argomento, sui rapporti di Parisi con la "scuola romana". Parisi è stato ed è anche un notevolissimo traghettatore di concetti tra mondi diversi, usando una sterminata fantasia e un enorme controllo tecnico per elaborare idee nuovissime partendo da spunti presi da contesti del tutto diversi. Torniamo al 1979-80, quando Parisi elabora la sua teoria. È stato Parisi a spiegare che la sua costruzione, così astratta (e ricordiamo, derivata ai tempi senza che fosse ancora del tutto chiaro il parallelo con le grandezze misurabili sperimentalmente), gli era stata in qualche misura ispirata da algebre di Von Neumann, i cui concetti aveva acquisito studiando la fisica delle particelle

elementari. D'altro canto, nel senso opposto, quando introduce una importante approssimazione della Cromodinamica Quantistica destinata a rendere possibile una sua concreta analisi numerica, la definisce *quenched* (in italiano "temprata"), introducendo nel campo della fisica delle particelle elementari una terminologia derivata dalla fisica della materia. Questo creare idee e spostarle fra mondi diverse, rendendole ogni volta più ricche e più proficue, è certamente una delle più notevoli caratteristiche delle costruzioni fisiche che hanno portato Giorgio Parisi al premio Nobel.

## Referenze

- <sup>1</sup> G. Parisi, Toward a Mean Field Theory for Spin Glasses, Phys. Lett. 73A (1979) 203.
- <sup>2</sup> G. Parisi, Infinite number of order parameters for Spin Glasses, Phys. Rev. Lett. 43 (1979) 1754.
- <sup>3</sup> G. Parisi, Mean Field Theory for Spin Glasses, Phys. Rep. 67 (1980) 25.
- <sup>4</sup> G. Parisi, An Order Parameter for Spin Glasses: a Function on the Interval 0-1, J. Phys. A (Math. Gen.) 13 (1980) 1101.
- <sup>5</sup> G. Parisi, A Sequence of Approximated Solutions to the S-K Model for Spin Glasses, J. Phys. A (Math. Gen.) 13 (1980) L115.
- <sup>6</sup> G. Parisi, Magnetic Properties of Spin Glasses in a New Mean Field Theory, J. Phys. (Math. Gen.) A 13 (1980) 1887.
- <sup>7</sup> G. Parisi, Order Parameter for Spin Glasses, Phys. Rev. Lett. 50 (1983) 1946.
- <sup>8</sup> G. Altarelli and G. Parisi, Asymptotic Freedom in Parton Language, Nucl. Phys. B 126 (1976) 298.
- <sup>9</sup> F. Fucito, E. Marinari, G. Parisi and C. Rebbi, A Proposal for Monte Carlo Simulations of Fermionic Systems, Nucl. Phys. B180 (1981) 369.
- <sup>10</sup> The Ape Collaboration, M. Albanese et al., The Ape Computer: an Array Processor Optimized for Lattice Gauge Theory Simulations, Comp. Phys. Comm. 45 (1987) 345.
- <sup>11</sup> The Janus Collaboration, F. Belletti et al, Janus: an adaptive FPGA computer, Computing in Science and Engineering 8 (2006) 41.
- <sup>12</sup> B. Coluzzi, G. Parisi and P. Verrocchio, Thermodynamical liquid-glass transition in a Lennard-Jones binary mixture, Phys. Rev. Lett. 84 (2000) 306.
- <sup>13</sup> M. Mézard and G. Parisi, Statistical physics of structural glasses, J. Phys Cond. Mat. 12 (2000) 6655.
- <sup>14</sup> G. Iori, E. Marinari, G. Parisi e M. V. Struglia, Statistical mechanics of heteropolymer folding, Physica A 185 (1992) 98.
- <sup>15</sup> G. Parisi, Statistical physics and biology, Phys. World 6 (1993) 42.
- <sup>16</sup> G. Parisi, A memory which forgets, J. of Phys. A19 (1986) L617.
- <sup>17</sup> R. Benzi, G. Paladin, G. Parisi and A. Vulpiani, On the Multifractal Nature of Fully Developed Turbulence and Chaotic Systems, J. Phys. A (Math. Gen.) 17 (1984) 3521.
- <sup>18</sup> M. Kardar, G. Parisi, and Yi-Cheng Zhang, Dynamic Scaling of Growing Interfaces, Phys. Rev. Lett. 56 (1986) 889.
- <sup>19</sup> M. Ballerini, N. Cabibbo, R. Candelier, A. Cavagna, E. Cisbani, I. Giardina, V. Lecomte, A. Orlandi, G. Parisi, A. Procaccini, M. Viale and V. Zdravkovic. PNAS 105 (2008) 1232.
- <sup>20</sup> M. Mézard, G. Parisi and R. Zecchina, Analytic and Algorithmic Solution of Random Satisfiability Problems, Science 297 (2002) 812.
- <sup>21</sup> R. Benzi, G. Parisi, A. Sutera and A. Vulpiani, A Theory of Stochastic Resonance in Climatic Change, SIAM Journal on Applied Mathematics 43 (1983) 565.

***Scienza in rete* è un giornale senza pubblicità e aperto a tutti per garantire l'indipendenza dell'informazione e il diritto universale alla cittadinanza scientifica. Contribuisci a dar voce alla ricerca sostenendo *Scienza in rete*. In questo modo, potrai entrare a far parte della nostra comunità e**