

LUCA SALASNICH (\*)

## FISICA, RIDUZIONISMO E COMPLESSITÀ

ABSTRACT - SALASNICH L., 2010 - Physics, Reductionism and Complexity.

Atti Acc. Rov. Agiati, a. 260, 2010, ser. VIII, vol. X, B: 29-33.

In the last years the reductionistic approach to the scientific research has been questioned in biology and chemistry, but; also in physics. The *theory of complexity* is a modern current of thought; which thinks, on the basis of empirical evidence, that some *collective phenomena* can emerge only as the result of the cooperative interaction between strongly-correlated subparts of the analyzed system. This theory aims to model the essential properties of the complex dynamics of many-body systems by using few *collective parameters* which are governed by few differential equations.

KEY WORDS - Complexity, Collective parameters.

RIASSUNTO - SALASNICH L., 2010 - Fisica, riduzionismo e complessità.

Negli ultimi anni l'approccio riduzionista alla ricerca scientifica è stato messo in discussione in biologia ed in chimica, ma anche in fisica. La *teoria della complessità* è una moderna corrente di pensiero che ritiene, sulla base dell'evidenza empirica, che alcuni *fenomeni collettivi* possano emergere solo come risultato della interazione cooperativa di sottoparti fortemente correlate del sistema analizzato. Questa teoria si propone di modellizzare gli aspetti essenziali della dinamica complessa di un sistema a molti corpi utilizzando pochi *parametri collettivi* ai quali sono associate poche equazioni differenziali.

PAROLE CHIAVE - Complessità, Parametri collettivi.

### INTRODUZIONE

La fisica moderna si fonda sul metodo sperimentale e sulla descrizione matematica dei fenomeni naturali. Il successo della fisica è dovuto

---

(\*) Consiglio Nazionale delle Ricerche, Dipartimento di Fisica «Galileo Galilei» dell'Università di Padova, Center for Applied Mathematics and Theoretical Physics of the University of Maribor.

alla riproducibilità degli esperimenti, alla capacità di fare predizioni accurate, e anche alle innumerevoli applicazioni tecnologiche.

Questi successi, unitamente alla crisi della metafisica e del pensiero filosofico classico, hanno dato origine ad un graduale scollamento della scienza dalla filosofia. Nonostante ciò, vi sono questioni epistemologiche che ricorrono spesso nelle discussioni tra fisici. Tra queste il riduzionismo [1]. La questione è quella di capire se si può conoscere la realtà fisica scomponendola nelle sue parti o se «il tutto» sia invece non riducibile alla semplice somma della sue parti. Il riduzionismo asserisce che la natura delle cose complesse può sempre essere ridotta e spiegata da cose più semplici e fondamentali [1].

Usualmente si ritiene che il riduzionismo implichi l'unità della scienza: la chimica è fondata sulla fisica, la biologia è fondata sulla chimica, e la psicologia e la sociologia si fondano sulla biologia [1]. Notoriamente, il riduzionismo ha sempre incontrato una forte ostilità in ambito filosofico. La novità è che, negli ultimi anni, il riduzionismo è stato messo in discussione non solo in filosofia ma anche da autorevoli esponenti di discipline scientifiche di base, quali la biologia e la chimica. Anche eminenti fisici, principalmente operanti nei settori della materia condensata e della meccanica statistica, hanno rivolto critiche alla visione riduzionista della realtà, solitamente sostenuta dai fisici delle particelle elementari. La parola d'ordine di questi scienziati ed intellettuali è: *complessità* [1].

La teoria della complessità è la moderna corrente di pensiero che ritiene, come già Aristotele [2], che «il tutto è più delle parti che lo costituiscono». Questa è una affermazione tipica della teoria filosofica nota come *olismo*, spesso contrapposta al riduzionismo. L'olismo si spinge però oltre, affermando che il tutto determina come le singole parti si comportano. La teoria della complessità non si spinge fino a questo punto. Tuttavia, essa afferma che alcuni fenomeni, detti *fenomeni collettivi o emergenti*, sono il risultato della interazione di molte parti fortemente correlate tra loro; in assenza di tali correlazioni non esiste alcun fenomeno emergente [1].

#### MORE IS DIFFERENT

Le linee guida della teoria della complessità nelle scienze fisiche sono espresse nel saggio «More is different» [3] di Philip Warren Anderson, premio Nobel per la fisica nel 1977. Le idee di Anderson sono state riprese da Robert Laughlin, anch'egli fisico teorico della materia con-

densata e premio Nobel per la fisica nel 1998. Scrive Laughlin [4]: «L'idea che tutte le leggi fondamentali della natura siano ormai conosciute è soltanto una componente dell'inganno. La frontiera è ancora là, e si mantiene splendidamente selvaggia. [...] Il conflitto logico tra l'idea di una frontiera aperta da un lato e la presenza di un sistema di regole fondamentali dall'altro viene risolto dal fenomeno dell'emergenza. Il mondo naturale è caratterizzato da una struttura gerarchica a generazione interdipendente». Philip Anderson ha difeso a più riprese le sue idee e quelle di Laughlin, affermando che il libro di Laughlin è un indispensabile contraltare alla recente proliferazione di libri, quali quelli di Brian Green [5] e Stephen Hawking [6], che promulgano l'idea che la fisica è la scienza che si occupa principalmente di profonde e quasi teologiche speculazioni sulla natura ultima delle cose [1].

#### FENOMENI EMERGENTI E PARAMETRO D'ORDINE

In fisica il fenomeno emergente per eccellenza è la transizione di fase, dove il sistema macroscopico in esame esibisce un radicale cambiamento delle sua proprietà al variare di una variabile termodinamica [7]. Solitamente la grandezza termodinamica che determina la transizione di fase è la temperatura. Al diminuire della temperatura lo scenario diviene vieppiù ricco e sorprendente. Alla temperatura di transizione le tantissime particelle del sistema agiscono in modo cooperativo e si organizzano quasi simultaneamente. Ad esempio, nella transizione liquido-solido dell'acqua, milioni e milioni di molecole si organizzano nella forma cristallina del ghiaccio quando si abbassa la temperatura oltre gli 0 °C [7].

Le transizioni di fase coinvolgono grandezze fisiche e sistemi diversi, e non esiste ancora una teoria unitaria che renda conto di tutte le loro proprietà [1, 7]. Storicamente, il primo tentativo di classificare le transizioni di fase fu fatto dal fisico austriaco-olandese Paul Ehrenfest nel 1933. Egli classificò le transizioni di fase in base alla più bassa derivata dell'energia libera (di Helmholtz o di Gibbs, a seconda delle variabili termodinamiche indipendenti) che risulta discontinua in corrispondenza della transizione [1, 7].

Una svolta nella comprensione delle transizioni di fase si ebbe nel 1937. In quell'anno il fisico russo Lev Davidovich Landau, fondatore di una formidabile scuola di fisici teorici e premio Nobel per la fisica nel 1962, osservò che in una transizione di fase si può distinguere una fase dotata di maggior simmetria rispetto ad un'altra meno simmetrica [8].

Tipicamente, la fase a più alta simmetria è sul lato più caldo della transizione e viene detta *fase disordinata*, mentre quella a simmetria più bassa sul lato più freddo e viene detta *fase ordinata* [8]. Ad esempio, nelle transizione liquido-solido dell'acqua il liquido è composto da molecole sistemate in modo disordinato ma omogeneo. Il liquido possiede la simmetria traslazionale continua: ogni punto all'interno del fluido ha le stesse proprietà di qualsiasi altro punto. Nella fase solida invece, si forma una struttura cristallina ben ordinata, dove gli atomi sono sistemati in un reticolo regolare. La disposizione degli atomi del solido appare diversa se osservata da punti diversi, a meno che questi punti non siano separati da un numero intero di passi reticolari.

Secondo Landau [8] quando la simmetria si rompe, ed il sistema passa dalla fase disordinata a quella ordinata, è necessario introdurre un'altra variabile per descrivere la termodinamica della fase ordinata. Questa ulteriore variabile prende il nome di *parametro d'ordine* ed è normalmente una variabile termodinamica che può essere misurata sperimentalmente. Come detto, secondo la teoria di Landau, ad ogni transizione di fase corrispondente la comparsa di un parametro d'ordine. Ad esempio, nella transizione gas-liquido in prossimità del punto critico il parametro d'ordine è la differenza di densità tra lo stato gassoso e quello liquido.

Il concetto di parametro d'ordine è in grado di spiegare vari tipi di transizioni di fase. Tra queste ricordiamo: le transizioni tra le fasi solida, liquida, e gassosa; la transizione tra le fasi ferromagnetica e paramagnetica dei materiali magnetici; la transizione conduttore-superconduttore o isolante-superconduttore in certi metalli e leghe; la transizione dallo stato normale a quello superfluido nell'elio liquido [7, 8].

La teoria delle transizioni di fase di Landau, ed il sottostante concetto di parametro d'ordine, è sicuramente il prototipo della più generale teoria della complessità. L'idea cardine della teoria della complessità è che risulta possibile individuare dei *parametri collettivi* che determinano la dinamica rilevante del sistema complesso in esame. Questi parametri collettivi sono solitamente il risultato del moto coerente e cooperativo delle variabili microscopiche del sistema. In altri termini, invece di cercare di risolvere una teoria microscopica che coinvolge miliardi di equazioni differenziali, si cerca una teoria effettiva macroscopica (o mesoscopica) costituita da poche equazioni differenziali, che sia però in grado di fornire lo stesso potere predittivo della teoria microscopica. Si tratta, in qualche modo, di una rivincita della termodinamica, di equilibrio e di non equilibrio, nei confronti di un approccio ingenuamente riduzionistico allo studio dei sistemi a molti corpi.

## CONCLUSIONI

Alla fine di questo breve intervento è quanto mai opportuno ribadire che la teoria della complessità non rappresenta un radicale cambio di paradigma ma è saldamente ancorata nella fisica classica e quantistica. Questa teoria fornisce, però, dei nuovi e potenti strumenti fisico-matematici per una più accurata descrizione della realtà. La scienza, ed in particolare la fisica, opera secondo modalità che sono andate affinandosi negli anni. La fisica continua ad utilizzare questo approccio metodologico, in cui l'esperimento, la fenomenologia e la teoria, anche con il supporto della simulazione al computer, lavorano insieme al fine di capire sempre meglio la natura delle cose.

Diversamente da quanto affermano anche autorevoli intellettuali, la teoria della complessità non mostra affatto i limiti della scienza moderna né implica una visione olistica o panteistica della realtà. Questa teoria però ci insegna che i sistemi a molti corpi possono avere un comportamento complesso, ma descrivibile efficacemente con poche semplici equazioni.

L'autore ringrazia Giovanni Mazzarella per la sua lettura critica del testo.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] MACCONE L., SALASNICH L., 2008 - Meccanica quantistica, caos e sistemi complessi, *Carocci*, Roma.
- [2] ARISTOTELE, 2005 - La metafisica, *UTET*, Torino.
- [3] ANDERSON P.W., 1972 - in *Science*, vol. 177, p. 393.
- [4] LAUGHLIN R., 2005 - Un universo diverso. Reinventare la fisica da cima a fondo, *Codice Edizioni*, Torino.
- [5] GREEN B., 2004 - L'universo elegante, Superstringhe, dimensioni nascoste e la ricerca della teoria ultima, *Einaudi*, Torino.
- [6] HAWKING S., 2004 - La teoria del tutto. Origine e destino dell'universo, *Rizzoli*, Milano.
- [7] HUANG K., 1990, Meccanica statistica, *Zanichelli*, Bologna.
- [8] LANDAU L.D., LIFSHITZ E.M., PITAEVSKII L.P., 1986 - Fisica Teorica, vol. 5 - Fisica Statistica, *Editori Riuniti Edizioni Mir*, Roma.

---

Indirizzo dell'autore:

Luca Salasnich - Dipartimento di Fisica «Galileo Galilei» - via Marzolo 8 -  
I-35122 Padova, Italia - salasnich@pd.infn.it

---

