



## LA SCIENZA OLTRE IL RIDUZIONISMO

Alberto Strumia\*

### Che cos'è il riduzionismo?

Tra le parole che compaiono nel titolo “La scienza oltre il riduzionismo”, subito dopo “scienza,” risalta in modo particolare quell’“oltre”, accanto a “riduzionismo”. Se possiamo pensare di sapere, più o meno, che cosa significano in italiano “scienza” e “oltre”, sentiamo, però, il bisogno di precisare che cosa si deve intendere per “riduzionismo”. Ed anche, in che senso va inteso questo “oltre” in riferimento al riduzionismo.

Per ottenere una risposta alla domanda “che cos'è il riduzionismo” conviene farsi aiutare da una voce autorevole, qual è, ad esempio, quella del fisico e sacerdote anglicano John Polkinghorne, la cui autorità è ben riconosciuta. Nella voce “Riduzionismo” del *Dizionario interdisciplinare di scienza e fede*<sup>1</sup>, egli così caratterizza la posizione epistemologica di colui che si qualifica come “riduzionista”:

«Un riduzionista ritiene che un sistema complesso non sia nient'altro che la somma delle sue parti, per cui si può dar ragione del sistema “riducendone” la considerazione a quella dei singoli costituenti».

Per contro, l'antiriduzionismo viene definito, dal medesimo autore, caratterizzando la posizione di chi si dichiara “antiriduzionista”:

«Un antiriduzionista, al contrario, ritiene che il tutto sia maggiore della somma delle parti, per cui vi sono proprietà “olistiche” che non possono essere descritte in termini dei puri elementi costituenti».

Naturalmente, per dare un valore non approssimativo e solo intuitivo ad espressioni come «tutto», «parti», «uguale alla somma delle parti», «maggiore della somma delle parti», occorrerà definirle in ciascun ambito disciplinare, per rendersi conto di che cosa effettivamente significano.

---

\* Dip. di Matematica – Univ. Di Bari.; C.i.r.a.m. – Univ. di Bologna ([www.albetrostrumia.it](http://www.albetrostrumia.it) - e-mail [info@albetrostrumia.it](mailto:info@albetrostrumia.it)). Nella stesura del presente articolo mi sono liberamente rifatto ai miei precedenti scritti: la voce *Materia*, in *Dizionario interdisciplinare di scienza e fede*, a cura di G. Tanzella-Nitti e A. Strumia, pubblicato da Città Nuova e Urbaniana University Press (Roma – Città del Vaticano 2002), vol. 1, pp. 849-866 e *on line* all'indirizzo web [www.disf.org/Voci/80.asp](http://www.disf.org/Voci/80.asp) e lo studio “Dalla scienza matematizzata all'ontologia formale. Annotazioni su analogia e causalità”, in A. Strumia (a cura di), *I fondamenti logici e ontologici delle scienze. Analogia e causalità*, Cantagalli, Siena 2006, pp. 10-48.

<sup>1</sup> In *Dizionario interdisciplinare...*, vol. 2, pp. 1231-1236, e *on line* all'indirizzo web [www.disf.org/Voci/104.asp](http://www.disf.org/Voci/104.asp) (testo originale inglese [www.inters.org/en/Voci.104.asp](http://www.inters.org/en/Voci.104.asp)).

Per ora, una comprensione anche solo intuitiva è sufficiente per avere un'idea di ciò di cui stiamo parlando.

Subito dopo queste prime definizioni intuitive dei termini, viene naturale domandarsi in che senso vada inteso questo "oltre" il riduzionismo che sembra caratterizzare gli ambiti più avanzati delle scienze dei nostri giorni. Ovvero: che cosa si annida in questo essere «maggiore della somma delle parti» che caratterizza un "tutto" *irriducibile alla/non spiegabile come*<sup>2</sup> "somma delle parti", che viene comunemente detto tutto «complesso»? In che cosa consistono queste proprietà «olistiche» (ovvero d'insieme o *globali*)<sup>3</sup> che non possono essere descritte, e dedotte in termini dei puri elementi costituenti, o "parti" del "tutto"?

Lo studio che riguarda queste "nuove"<sup>4</sup> problematiche va oggi, genericamente, sotto il nome di "scienza della complessità".

## LA COMPLESSITÀ

La parola "complessità" vuole indicare che non si *può/riesce* a semplificare la struttura di un "tutto" (un qualcosa, un ente), spezzettandolo (riducendolo)<sup>5</sup> in parti componenti più facili da esaminare, in quanto spezzandolo si finirebbe per distruggerlo, perdendo le proprietà che lo caratterizzano nella sua unitarietà, ottenendo così qualcosa d'altro, a partire da cui non si è più in grado di ricostruire il tutto come un semplice assemblato.

### *Legittimità e limiti del riduzionismo*

È importante notare come il metodo riduzionista abbia dato buoni risultati, finora, nelle scienze e continui a funzionare bene. Per cui non si tratta, oggi, di rifiutare in blocco il metodo riduzionista in vista del futuro delle scienze. Si tratta, piuttosto, di controllarne i limiti di validità. Tutto funziona bene con il riduzionismo, fino a che non si va alla ricerca di quelle "proprietà d'insieme" che sono caratteristiche del "tutto" in quanto è *inseparabile/inseparato* nei suoi mattoni costitutivi (parti).

Figurativamente possiamo immaginare il metodo scientifico riduzionista come uno studioso di geometria che ha studiato una sfera (rappresentativa, per intenderci, del mondo fisico) approssimandolo al piano tangente in un suo punto. Fino a che egli non si allontana troppo dal

---

<sup>2</sup> Si noti, nella formula usata *irriducibile alla/non spiegabile come*, il duplice riferimento: a) alla realtà, espresso dalla dizione *irriducibile alla* (piano ontologico) e b) alla conoscenza/scienza, espresso dalla dizione *non spiegabile come*.

<sup>3</sup> Il termine "olistiche" nella sua etimologia indica ciò che riguarda il tutto nella sua unitarietà. Oggi è divenuto di moda associarlo a visioni della realtà orienteggianti, dal sapore spesso gnosticheggiante e panteistico. Per questo, nel linguaggio scientifico si preferisce parlare di "proprietà d'insieme" del tutto complesso, o anche di "proprietà globali", come amano denotarle i matematici (si pensi alla topologia dello spazio delle fasi di certi sistemi non lineari), che richiedono lo studio di un sistema nella sua totalità, in contrapposizione alla "proprietà locali?" che si limitano ad analizzare ciò che succede nell'intorno di un singolo generico punto del sistema.

<sup>4</sup> Ho incluso la parola "nuove" tra virgolette, perché, in effetti, le radici remote di ciò che oggi chiamiamo "complessità" risalgono alla fine del XIX secolo (H. Poincaré), anche se solamente a partire dagli anni '60 del XX secolo sono state prese seriamente in considerazione nella loro effettiva portata. E nella letteratura divulgativa, almeno in Italia, si trovano pubblicazioni solo a partire dagli anni '80-90, quando nei titoli hanno fatto la loro comparsa parole come "complessità" e "caos". Per citare solo due titoli esemplificativi: J. Gleick, *Caos. La nascita di una nuova scienza*, Rizzoli, Milano 1989 e G. Nicolis, I. Progina, *La complessità. Esplorazione nei nuovi campi della scienza*, Einaudi, Torino 1991.

<sup>5</sup> Da cui il termine "riduzionismo".

punto di contatto tra la sfera e il piano, ottiene risultati attendibili con buona approssimazione. Ma allontanandosi di più, per conoscere di più, ad un certo momento, i risultati della teoria non corrispondono più all'esperienza. Allora occorre procedere con un grado di approssimazione migliore e, ad un certo punto, occorre considerare addirittura la sfera nella sua totalità.

Ormai, da tempo, si è riscontrato che la complessità si presenta come una problematica "trasversale", in quanto coinvolge un po' tutte le scienze. Oggi essa affiora nelle scienze matematiche, informatiche, fisiche, biologiche, cognitive, economiche, ecc., in quanto sembra collocarsi al livello dei "fondamenti comuni" a tutte le scienze piuttosto che ad una sola scienza.

#### *Alla ricerca dei fondamenti comuni delle scienze: un problema nuovo e antico*

Nelle scienze odierne, la messa in questione del riduzionismo e la questione della complessità sembra collocarsi al livello dei fondamenti comuni a tutte le scienze piuttosto che ad una sola di esse. Ampliando un po' gli orizzonti potremmo chiamarli i "fondamenti logici e ontologici delle scienze"<sup>6</sup>.

A questo livello il problema è insieme scientifico, in quanto riguarda l'"esperienza" (l'osservazione) e la "teoria" (la formulazione e la spiegazione dei fatti osservati), e filosofico, in quanto riguarda le "cose" (il mondo fisico, reale) e la "conoscenza", e quindi la scienza (il mondo mentale, logico, cognitivo). Ciò che è interessante rilevare è il dato di fatto, a cui non siamo più abituati da qualche secolo, di come le problematiche filosofiche, logiche e ontologiche, oggi emergano *dall'interno* delle scienze (come un problema scientifico) per un'esigenza di metodo e per superare delle contraddizioni interne, e non come una giustapposizione esterna, facoltativa, estranea al metodo scientifico stesso.

Effettivamente il "problema del tutto e delle parti" è molto antico e avvicina le nostre scienze alle questioni di logica e metafisica di cui si occuparono i Greci e i Medievali.

#### *Una divagazione o meglio un giudizio storico-culturale*

Vale la pena evidenziare come una inadeguata conoscenza della razionalità greca e medievale, insieme al relativismo filosofico diffuso nel nostro Occidente, abbiano spinto anche alcuni uomini di scienza a ricercare questi fondamenti nelle culture dell'estremo Oriente (non di rado ancora formulate letterariamente secondo il genere del mito) ma per una scienza nata nel quadro della razionalità europea è più logico e naturale rivolgersi alla propria storia culturale che altrove.

In ogni caso i fondamenti universali e irrinunciabili della razionalità sono comuni ad ogni cultura e solo l'ideologia modaiola opera per contrapposizione rifiutando le proprie radici culturali e idealizzando quelle altrui.

---

<sup>6</sup> Sto cercando, da diversi anni, di occuparmi di questa affascinante tematica e ho fissato alcune riflessioni in alcuni studi, tra i quali anche alcuni in collaborazione. Chi è interessato può vedere, ad esempio: A. Strumia, *Le scienze e la pienezza della razionalità*, Cantagalli Siena 2003; A. Strumia (a cura di), *I fondamenti logici e ontologici delle scienze. Analoga e causalità*, Cantagalli, Siena 2006; A. Strumia (a cura di), *Il problema dei fondamenti. Da Aristotele e Tommaso d'Aquino all'ontologia formale*, Cantagalli, Siena 2004; A. Strumia, *Il problema dei fondamenti. Un'avventurosa navigazione dagli insiemi agli enti passando per Gödel e Tommaso d'Aquino*, Cantagalli, Siena 2009.

## DIVERSI TIPI DI RIDUZIONEISMO

Oggi le nostre scienze sembrano essere arrivate ormai vicine a formulare una “teoria dei fondamenti” che ha dei tratti comuni con la logica e la metafisica aristoteliche, nate dalle problematiche interne alla fisica del tempo (si pensi a filosofi Ionici) e dalla matematica (si pensi ai Pitagorici) che cercavano di spiegare: a) la “struttura” della materia (i corpi osservabili), b) la “dinamica” della materia (i moti osservabili) c) la “logica” e l’“epistemologia” necessarie per superare le contraddizioni interne alle loro teorie sulla realtà. Ed è a partire dal tentativo di descrivere e spiegare il mondo reale, fisico, materiale, che gli antichi pensatori greci prima e medievali poi, sono arrivati ad ipotizzare, per ragioni di ordine logico, l’esistenza/necessità di affiancare ai principi *materiali/osservabili* anche dei principi *immateriali/non osservabili*, giungendo in tal modo a formulare una metafisica (oggi possiamo preferire chiamarla, più scientificamente “teoria dei fondamenti”) che si occupasse dell’ente/essere (materiale o immateriale che fosse) e del divenire (dal moto locale, all’accrescimento e a qualunque forma di trasformazione e mutamento).

In corrispondenza di ciascuna di queste problematiche troviamo il corrispondente tipo di riduzionismo.

### *Il riduzionismo strutturale*

Al livello della “struttura” della materia, seguendo il testo di Polkinghorne già citato, possiamo dire che

«Il riduzionismo strutturale (*constitutive reductionism*) ammette che, quando un sistema complesso venga effettivamente decomposto nei suoi elementi, le parti che ne risultano siano esclusivamente quelle che corrispondono agli elementi costituenti che ci si aspetterebbe di trovare [...] senza che alla fine vi sia rimasto alcun ingrediente *extra*»<sup>7</sup>.

«Il riduzionismo di questo genere è molto vicino al riduzionismo metodologico (*methodological reductionism*), che rappresenta la strategia scientifica, altamente praticata, consistente nello studiare il tutto frantumandolo nelle sue parti costituenti».

□?

«Ancora una volta, Il successo della strategia non implica però che ogni aspetto rilevante del tutto possa essere studiato in questo modo».

### *Il riduzionismo causale*

Per quanto riguarda la “dinamica”, cioè l’evoluzione nel tempo dei sistemi materiali, possiamo parlare, in termini un po’ più filosofici, di un

---

<sup>7</sup> È importante notare come la ricerca scientifica più vicina a noi stia cercando di scoprire, mettendole in luce, le caratteristiche di questo elemento *extra*, e lo stia individuando in quella che oggi chiamiamo “informazione”. Si tratta di un qualcosa che richiama alla mente l’antico concetto aristotelico di “forma”, per cui anche quest’ultimo termine si sta riaffacciando nel linguaggio scientifico di scienze come la matematica e la biologia.

«riduzionismo causale (*causal reductionism*). Esso comporta che le cause agenti sul tutto producano semplicemente la somma degli effetti delle singole cause agenti sulle parti».

□□ «Nel caso dell'umidità, una simile riduzione sembra riuscire, partendo dall'ipotesi ragionevole che la tensione superficiale sia interamente generata dall'azione delle forze molecolari».

□□ «Viceversa, non è del tutto chiaro come la somma delle scariche delle sinapsi neuronali possa combinarsi per produrre i *qualia* (percezioni, emozioni) mentali, dal momento che sembra esserci una chiara differenza qualitativa tra i due livelli».

□

□□ «Il riduzionismo causale è un parente stretto del riduzionismo ontologico (*ontological reductionism*), che equivale ad affermare che il tutto è la somma delle parti».

□□ «È possibile, in realtà, sostenere il riduzionismo strutturale e rifiutare il riduzionismo causale, come fanno molti. Una strategia che consente di sostenere questa posizione è quella di abbracciare il contestualismo (*contextualism*), che consiste nel ritenere che il comportamento degli elementi costituenti dipenda dalla *natura*<sup>8</sup> del tutto che essi vanno a costituire».

### *Il riduzionismo concettuale-epistemologico*

Le forme precedenti di riduzionismo si ripercuotono dal piano della realtà a quello della conoscenza, comportando una irriducibilità tra nozioni logiche che, pur avendo qualcosa di comune (*analogia*), non sono riducibili ad un'unica definizione (*univocità*), così come tra le scienze, per cui oltre una certa misura, si scopre, ad esempio che la biologia non è riducibile alla chimica, e la chimica non è riducibile alla fisica, come un riduzionismo spinto induceva a ritenere.

«Il riduzionismo concettuale (*conceptual reductionism*), nel quale si sostiene che i concetti applicabili al tutto possono essere interamente espressi in termini di concetti che si applicano alle parti».

□

«La dizione riduzionismo epistemologico (*epistemological reductionism*) è pure in uso per designarlo.

Un esempio ben riuscito di una riduzione di questo genere è offerto dall'impiego della teoria cinetica dei gas per ridurre il concetto di temperatura [...] all'esatto equivalente, rappresentato dell'energia cinetica media delle molecole del gas».

---

<sup>8</sup> Si noti la comparsa della parola "natura". Un termine dal grande peso fisico, metafisico e antropologico in quanto si ricollega ad "essenza come principio d'azione", "forma", "informazione".

□

«Ma ci sono anche molti altri esempi che stanno ad indicare come riduzioni di questo tipo non siano sempre possibili».

«Inoltre le scienze biologiche impiegano molti concetti essenziali per il loro lavoro, come convenienza, adattamento, organo, sessualità, nicchia ecologica, ecc., che non possono essere tradotti in enunciati relativi alle sole molecole».

## I - Oltre il riduzionismo strutturale nelle scienze

Dal punto di vista dell'analisi della "struttura" della materia sono le questioni che sorgono dalla fisica dei sistemi non lineari e, più in generale, dalle scienze della complessità che ci riportano al classico problema del tutto e delle parti. Gli altri aspetti legati alla complessità, come l'imprevedibilità, il caos deterministico e l'auto-organizzazione riguardano prevalentemente la "dinamica" evolutiva della materia.

Eliminato: ,

### POSIZIONE E PROBLEMATICITÀ DEGLI APPROCCI

Il problema del tutto e delle parti, così come oggi emerge dalle scienze si può formulare in prima istanza nel modo seguente.

Consideriamo un dato oggetto ("tutto") che chiameremo "complesso", in quanto si presenta a noi difficile da esaminare nel suo insieme. Scomponiamo, sulla base di una *regola assegnata*<sup>9</sup>, l'oggetto di partenza in altri oggetti che chiamiamo parti, che risultano più semplici da esaminare perché già noti all'indagine scientifica.

Si danno due possibilità alternative:

a) l'oggetto complesso viene spiegato esaurientemente, almeno entro certi limiti, dall'indagine sulle sue parti prese come se fossero a se stanti;

b) l'oggetto complesso presenta proprietà e comportamenti che *non* si spiegano mediante il solo studio delle sue parti componenti.

Il primo caso costituisce l'assunzione tipica di quello che chiamiamo approccio riduzionistico: il tutto viene spiegato completamente attraverso le sue parti componenti.

Possiamo anche dire con una formula che, scientificamente, ha senso solo quando se ne definiscono esattamente i termini, ma che ha comunque una sua forza espressiva, che "il tutto è riducibile alla somma delle parti". Un esempio tipico di questa metodologia riduzionista è offerto, in matematica, dal "calcolo integrale". Quest'ultimo permette, ad esempio, di calcolare l'area della superficie ("tutto") compresa tra la curva di una funzione e l'asse delle ascisse ("trapezoide"), come

---

<sup>9</sup> Qui l'accento va posto sul fatto che, per lavorare in ambito scientifico, occorre assegnare, per ogni tipo di sistema ("tutto") una precisa "regola" che definisca il concetto di "somma", ovvero in che senso il "tutto" risulta ottenibile o meno come "somma" di "parti".

limite della somma delle aree dei rettangoli (“parti”) che tendono a ricoprire la superficie in questione, quando la larghezza di ciascun rettangolo tende a zero e il numero dei rettangoli tende, quindi, all’infinito.

Il secondo caso evidenzia l’insufficienza, o l’impossibilità dell’approccio riduzionistico rinviando ad un approccio globale. Distinguiamo “insufficienza” e “impossibilità” perché queste due situazioni possono presentarsi alternativamente.

### *Insufficienza dell’approccio riduzionistico*

L’insufficienza compare quando si prende atto del fatto che il “tutto complesso” non risulta spiegabile esaurientemente mediante lo studio delle sue “parti componenti”, in quanto possiede delle proprietà d’insieme, che sfuggono all’indagine se non si considera il tutto nel suo complesso, perché non sono rinvenibili nelle singole parti separate. Si può dire, allora, con una formula schematica, che in questo caso il tutto è *più* della somma delle sue parti, ovvero contiene delle “informazioni nuove”, rispetto a quelle contenute nelle parti, informazioni che lo caratterizzano come “tutto nel suo insieme”.

Nel linguaggio aristotelico si direbbe che il tutto possiede una “forma” (oggi la chiamiamo “informazione”) che lo rende *uno*, con delle proprietà nuove che nelle parti giustapposte non sono presenti. Non a caso il termine “forma” (“informazione”) sta ricomparendo, ad esempio, nel linguaggio dei biologi e dei matematici<sup>10</sup> insieme ad un interesse rinascente per gli scritti di Aristotele.

### *Impossibilità di adottare lo schema riduzionistico*

Ci si imbatte nell’impossibilità quando il tutto complesso non è divisibile in parti più semplici in quanto qualche parte, o addirittura ogni parte, ha proprietà identiche, o comunque, di un grado di complessità confrontabile con quello del tutto, per cui la suddivisione non comporta nessuna semplificazione. È quanto accade, ad esempio in fisica, ad una calamita che, divisa in due parti, non risulta semplificata nella sua struttura, ma dà luogo a due nuove calamite simili a quella originaria. E così via procedendo nella suddivisione, fino al livello dei magneti elementari. O come avviene, in matematica, nelle strutture autosimilari, come i frattali<sup>11</sup>.

Con una formula schematica possiamo dire che, in questo caso, “il tutto è contenuto nelle sue parti”, e in un certo senso “è replicato” in tutte le sue parti. Queste parti non sono necessariamente identiche ma possiedono delle somiglianze che non consentono di ridurre il grado di complessità delle parti rispetto a quello del tutto<sup>12</sup>.

---

<sup>10</sup> Si pensi, ad esempio agli studi di René Thom sulla “forma” in matematica: partendo dalla forma in geometria (*shape*) egli gradualmente si avvicina alla forma in senso informazionale e decide di impegnarsi nella lettura di Aristotele. Si veda ad esempio, R. Thom, “Les intuitions topologiques primordiales del l’aristotélisme”, *Revue thomiste*, XCVI année, Toulouse, t. LXXXVIII, n. 3 (1988), pp. 393-409.

<sup>11</sup> Per una visualizzazione grafica si può vedere, ad esempio, lo splendido saggio illustrato di H.O. Peitgen e P.H. Richter, *La bellezza dei frattali*, Bollati Boringhieri, Milano 1987, oppure in rete i numerosi siti dedicati ai frattali, compreso la mia *Fractal Gallery* ([www.albertostrumia.it/Menu.html](http://www.albertostrumia.it/Menu.html)).

<sup>12</sup> È interessante notare che Tommaso d’Aquino (sec. XIII), che non conosceva certamente i frattali, possedeva però con chiarezza, l’idea che vi sono diversi modi in cui la “parte” è contenuta nel “tutto”, in quanto parte “materiale”, mentre è il “tutto” ad

Chiaramente queste dichiarazioni di inadeguatezza dell'approccio riduzionistico non vanno spinte all'esasperazione: c'è sempre una certa legittimità nel riduzionismo, altrimenti sarebbe impossibile all'uomo la conoscenza perché l'intelligenza umana non coglie tutto insieme con un unico atto, ma necessita di una successione di atti con i quali conosce una alla volta le parti di un tutto, nei loro dettagli (discorsività della conoscenza umana). Non è sempre indispensabile studiare tutto l'universo nel suo insieme per fare scienza su una sua parte, anche se in certi casi ciò si rende necessario. Ne offre un esempio la recente tendenza a collaborare della cosmologia con la fisica delle particelle elementari quando l'indagine si spinge verso i cosiddetti "primi istanti" dell'universo, con i risultati sperimentali ottenuti nella ricerca del bosone di Higgs<sup>13</sup>.

#### ALCUNI ESEMPI TRATTI DA DIVERSE SCIENZE

Delineiamo, brevemente, alcuni aspetti in merito a come la tematica del tutto e delle parti viene riconosciuta ed affrontata in alcune delle principali discipline scientifiche.

##### *La biologia*

La biologia si trova da sempre di fronte al fatto che il vivente mostra delle proprietà che, anche dal punto di vista chimico-fisico, sono nuove rispetto a quelle del non vivente (accrescimento, riproduzione, apprendimento, ecc.).

Il vivente, anche il più semplice, non è descrivibile interamente mediante l'analisi delle sue parti componenti. Un'affermazione del genere, vista nell'ottica riduzionistica era considerata con sospetto e tacciata di vitalismo perché sembrava introdurre un fattore animistico nella vita.

Ma non è questo il vero problema. Il punto è piuttosto quello di vedere se, nell'organizzazione della materia, una volta raggiunto un certo grado di strutturazione organica (complessità) la materia stessa, se opportunamente sollecitata da una causa esterna adeguata, tenda a manifestare un livello nuovo di ordine non presente, di per sé, nei componenti presi separatamente. A questo livello non basta più l'analisi delle parti componenti (che è stata comunque utile e necessaria fino a questo momento) ma occorre un'indagine del nuovo livello d'insieme, dell'informazione che lo organizza come un nuovo tutto.

##### *La chimica*

Lo studio approfondito della molecola, più o meno complessa, così come quello dei reticoli cristallini nei solidi e dei conduttori elettrici (per citare solo pochi esempi), hanno messo in evidenza come anche nella chimica del non vivente le proprietà d'insieme di una struttura composta complessa non siano del tutto deducibili dalle proprietà degli atomi componenti. L'esistenza di orbitali molecolari con elettroni completamente condivisi non permette di pensare più ad elettroni che appartengono ad un atomo singolo. In un conduttore elettrico gli elettroni di conduzione vengono condivisi addirittura tra tutti gli atomi. Esistono, dunque, anche a livello chimico-fisico delle proprietà d'insieme che il progredire delle ricerche rivela essere sempre più significative.

---

essere contenuto nella "parte", n quanto "informazione" ("forma") universale che rientra nella sua definizione (cfr. *Commento alla Fisica di Aristotele*, Libro IV, lettura 4, nn. 2-3).

<sup>13</sup> Notizie continuamente aggiornate si trovano sul sito del C.E.R.N. di Ginevra ([public.web.cern.ch](http://public.web.cern.ch)).



## La fisica

Nell'ambito della fisica dobbiamo tenere presenti i due classici aspetti che le sono propri: quello inerente lo strumento matematico in se stesso e quello relativo alla spiegazione dell'osservazione.

– Dal punto di vista matematico, dal momento che la fisica si serve sempre di più della matematica per formulare le sue leggi sotto forma di equazioni, i problemi sono esplosi come conseguenza dei nuovi risultati della matematica che ha dato risposte inaspettate ai quesiti della fisica<sup>14</sup>.

– Dal punto di vista dell'accordo tra ipotesi ed osservazione, ci troviamo di fronte contemporaneamente ad una vasta gamma di problemi che compaiono nella meccanica classica e nella meccanica quantistica.

Nella *meccanica classica* basti pensare, ad esempio, alla complessità dei moti turbolenti nei fluidi: il classico modello di Landau (1959) che sovrappone più moti convettivi associati a frequenze sempre maggiori non prevede correttamente la transizione alla turbolenza che si presenta come una proprietà del tutto nuova rispetto alla convezione.

Nella *meccanica quantistica* alcuni eventi (“parti”) si presentano come non separabili (come un “tutto”) anche se avvengono a grandi distanze. Sembra trattarsi di uno di quei casi in cui il tutto pare trovarsi in ognuna delle parti. Rimangono, poi, anche quei problemi che, pur trovando in essa degli strumenti di calcolo approssimato che danno risultati attendibili, sono fonte di paradossi nella loro formulazione e comprensione.

## La matematica

Nell'ambito della matematica il problema del tutto e delle parti si presenta con molta chiarezza sotto entrambi gli aspetti prima accennati.

a) Per quanto riguarda l'aspetto dell'“insufficienza” i problemi legati alla non riducibilità del tutto alla somma delle parti acquistano una formulazione chiara per il fisico teorico, il fisico matematico e per il matematico puro quando osserva che le leggi evolutive che regolano la quasi totalità dei processi della fisica sono formulate in termini di *equazioni differenziali non lineari*.

– Per le *equazioni lineari* la somma di due o più soluzioni (chiamiamole “parti”) è ancora una soluzione (chiamiamola “tutto”) del sistema, e viceversa, una generica soluzione (“tutto”) si può scrivere come somma<sup>15</sup> di più soluzioni (“parti”). In fisica questa regola riduzionistica è conosciuta anche come *principio di sovrapposizione*. Ben noto è l'esempio nel caso delle onde che interferiscono linearmente sommando algebricamente le loro elongazioni.

~~Obiettivo?~~ – Per le *equazioni non lineari* la precedente affermazione non è, in generale, più vera per cui si può dire, nel senso sopra indicato, che il tutto non è ottenibile generalmente come somma di parti.

---

<sup>14</sup> Ne parleremo perciò tra poco, trattando della matematica.

<sup>15</sup> Qui il termine “somma” indica effettivamente il concetto matematico usuale di somma algebrica. Un esempio tipico è offerto dall'oscillatore armonico semplice.

Questo accenno basti a indicare come esista, dal punto di vista matematico, un legame tra tutti i comportamenti inerenti alle teorie non lineari e che costituiscono aspetti diversi di un'unica problematica: quella che oggi va sotto il nome di "complessità".

Ecco che le considerazioni che stiamo svolgendo ci conducono verso il secondo aspetto del problema.

b) Il secondo aspetto riguarda l'"impossibilità" di ridurre il grado di complessità di un sistema separando le sue parti dal tutto, perché il tutto si ritrova replicato in ogni parte. Un esempio tipico di questo secondo aspetto ci è offerto dalla geometria frattale. I frattali, tra le altre proprietà, hanno quella di essere "auto simili", cioè di riprodurre all'infinito, nelle loro parti, forme geometriche simili a quella del tutto; per cui non è possibile, suddividendoli in parti sempre più piccole, isolare delle forme che siano strutturalmente meno complesse del tutto.

OBJ:OBJ:OBJ:OBJ:OBJ:OBJ:OBJ:OBJ:OBJ: ?

### La logica-matematica

Nella logica-matematica il problema del rapporto tra il tutto e le parti si presenta, oggi, principalmente nel secondo dei due aspetti già menzionati, quello per cui il tutto è rinvenibile come parte di se stesso (autoreferenzialità). Questo discorso ha a che fare con la logica delle proposizioni e delle collezioni di oggetti.

La "collezione di tutte le collezioni" è il tipico esempio di una collezione in cui una parte coincide con il tutto. In un primo tempo la logica delle classi, sviluppata da B. Russell e A.N. Whitehead, ha aggirato il problema escludendo dalla definizione di classe le collezioni che contengono se stesse come elemento, per evitare le tipiche contraddizioni che possono insorgere dallo loro considerazione. È noto, ad esempio, il paradosso di Russell che nasce quando si tenta di definire un oggetto come "il catalogo dei cataloghi che non citano se stessi". Ulteriori sviluppi hanno condotto alla "teoria dei tipi"<sup>16</sup> e K. Gödel a distinguere tra classi "proprie" e "insiemi"<sup>17</sup>.

### L'informatica e l'A.I.

Spetta tuttavia forse all'informatica il merito di aver reso attuali le ormai classiche problematiche di logica-matematica come quelle legate ai teoremi di Gödel sulla coerenza e la completezza dei sistemi assiomatici, così come a rendere rappresentabili sullo schermo di un *computer* insiemi come quelli di Julia e Mandelbrot, dal loro contorno, infinitamente tortuoso e rara bellezza.

Le indagini sulla cosiddetta intelligenza artificiale (A.I.) hanno permesso di comprendere che l'informazione si può annidare a vari "livelli" e che esistono delle "gerarchie" di informazione: il livello inferiore risiede nella struttura *hardware* della macchina, i livelli superiori nel *software*; il linguaggio di programmazione, a sua volta, contiene informazioni, significative per il programmatore, che ricadono in istruzioni di livello inferiore eseguibili meccanicamente dai circuiti senza percepirle come significative; il programma stesso nel suo insieme contiene

<sup>16</sup> B. Russell, "Mathematical Logic as based on the Theory of Types", American Journal of Mathematics, vol. 30 (1908), pp. 222-62.

<sup>17</sup> K. Gödel, "La coerenza dell'assioma della scelta e dell'ipotesi generalizzata del continuo con gli assiomi della teoria degli insiemi", In K. Guodel, *Opere*, vol. 2, Bollati Boringhieri, Torino 2002, pp. 38-42.

un'informazione di livello superiore legata allo scopo per cui è stato scritto, che risiede nella mente del programmatore e in quella dell'utente, e così via.

## II - Oltre il riduzionismo causale nelle scienze

L'affronto di questo aspetto del riduzionismo e del suo superamento richiede, ovviamente, qualche osservazione sulla nozione di causalità in ambito scientifico.

### MUTAMENTI NELL'APPROCCIO ALLA CAUSALITÀ NEL CONTESTO SCIENTIFICO

Anche a proposito del problema specifico della causalità è stato compiuto un percorso di maturazione della "metafisica" richiesta alla base delle scienze.

Ci occuperemo, molto schematicamente e quasi solo per titoli, di alcuni aspetti rilevanti nel mutamento della nozione di causalità in rapporto all'interpretazione delle teorie scientifiche. Si tratta di aspetti che denotano un primo significativo orientamento di carattere ontologico, pur se ancora bisognoso di una sistematizzazione e di un approfondimento adeguato.

Il problema della causalità, a cominciare dalla fisica moderna, è stato comunemente inteso, sulla base di una sorta di *filosofia spontanea degli scienziati*, principalmente in relazione alla causa efficiente ed è sorto al livello dei tentativi di interpretazione ontologica della dinamica dei fenomeni meccanici e più in generale fisici.

Ad esempio, nell'ambito della meccanica newtoniana la forza veniva interpretata come la causa efficiente dell'accelerazione di un corpo al quale essa è applicata, fornendo in tal modo un'interpretazione della seconda legge della dinamica di Newton ( $F = m a$ ).

Questa visione, tuttavia, incomincia a dimostrarsi troppo restrittiva già con la meccanica quantistica che introduceva l'indeterminismo con il principio di Heisenberg; e ancor più rispetto al quadro scientifico recente nel quale affiorano anche altri aspetti della causalità legati alla non linearità e alla complessità.

Già Ernst Mach (1838-1916) non si accontentava di disporre di una "causa delle accelerazioni" (variazioni degli stati del moto), ma si domandava quale fosse la causa cioè dello "spontaneo" permanere dei corpi nel loro moto rettilineo e uniforme in assenza di forza (si trattava di un moto senza causa?).

È quasi un inconsapevole avvicinarsi ad Aristotele, con la ricerca della causa del moto in se stesso. Una sorta di ricerca della "causa dell'essere" di qualcosa (l'inerzia, lo stato del moto), più che di una "causa del divenire" (l'accelerazione come mutamento dello stato del moto).

Naturalmente Mach non poteva che cercare una spiegazione in termini di interazione fisica tra le parti dell'universo. Una suggestione che guidò Einstein verso il "principio di equivalenza" che è alla base della Relatività generale.

Eliminato: di

### *La causalità nelle scienze odierne*

Ai nostri giorni si sono aperti molti interrogativi sul ruolo della causalità nelle teorie scientifiche. Oltre al problema

– della “causalità efficiente” per l’interpretazione delle teorie fisiche;

– della “causalità materiale” implicito nella ricerca dei costituenti elementari della materia,

emerge ormai

– la “causalità finale” nei sistemi “organizzati”, capaci di operazioni finalizzate (soprattutto i sistemi biologici)

e

– la “causalità formale” (“informazione”) in quanto principio unificante e ordinatore del tutto rispetto alle parti di un sistema complesso strutturato in livelli di organizzazione irriducibili e gerarchizzati.

Si tratta di modalità di approccio ancora abbastanza rudimentali dal punto di vista filosofico, bisognose di una formulazione meno ingenua e più rigorosa, nelle quali si intravede, però, nettamente, il tentativo di riappropriarsi di una sorta di metafisica della causalità capace, non solo di confrontarsi, ma anche di rivisitare con i nostri strumenti formali la teoria aristotelica delle quattro cause. Si direbbe che un certo aristotelismo, cacciato dalla porta della scienza galileiana, sembra quasi rientrare dalla finestra della scienza della complessità e della logica della teoria dei fondamenti.

Proviamo ad addentrarci un po’ in ciascuno di questi aspetti della causalità, là dove sono venuti a confronto con la crisi del riduzionismo.

### *La causalità in rapporto alla dinamica dei sistemi (causalità efficiente)*

Un primo passaggio che si è verificato nell’ambito della interpretazione delle teorie scientifiche è quello che ha visto la necessità di non limitarsi ad una nozione di causalità puramente deterministica (univoca), nel senso in cui la intendeva il meccanicismo. Si tratta di un’apertura che ci riavvicina (almeno di fatto) alla concezione aristotelico-tomista che prevedeva, oltre alle cause che agiscono “deterministicamente” (*ad unum*), anche cause il cui effetto è “probabile” (*ut in pluribus, ut in paucioribus*), e cause il cui effetto è del tutto “indeterminato” (*ad utrumlibet*), come la volontà umana che è libera. È notevole il dover constatare come una teoria di questo tipo sia così ampia da poter abbracciare (ovvero offrire i fondamenti) a scienze tanto diverse, come la fisica e l’antropologia.

a) La causalità deterministica nella fisica classica

La causalità deterministica può ricondursi sostanzialmente al seguente principio:

*Ad una stessa causa, che agisce in determinate condizioni, corrisponde sempre necessariamente uno e un solo identico effetto.*

Si tratta di una causa il cui effetto è determinato *ad unum*.

La possibilità di descrivere questa univocità della relazione causa-effetto è legata, dal punto di vista matematico, alle condizioni di validità del *teorema di unicità* della soluzione dei sistemi di equazioni differenziali. Questo significa che non tutte le funzioni matematiche sono adatte a descrivere delle forze il cui effetto sia deterministico, ma solo quelle che garantiscono la validità del teorema di unicità.

La causalità deterministica è tipica della “fisica classica”, sia nella sua formulazione data da Newton, che in quella della teoria della relatività di Einstein (sia ristretta che generale). Infatti entrambe descrivono le forze (“causa”) con funzioni per le quali è garantito il teorema di unicità delle soluzioni delle equazioni differenziali, e interpretano univocamente ogni soluzione come uno e un solo moto (“effetto”).

In particolare, la teoria della relatività, con il suo principio in base al quale nessun segnale può viaggiare ad una velocità superiore a quella della luce nel vuoto ( $c = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$ ), ha accentuato il fatto che in fisica la causalità efficiente è stata interpretata esclusivamente in relazione alla successione temporale, per cui si tende a riconoscere come causa solo un fenomeno che precede temporalmente il suo effetto. Questa concezione della causalità efficiente solo secondo l'ordine temporale, unitamente al riduzionismo che identifica il tutto con una “somma” di parti ha proposto, in relatività, una concezione del principio di causalità come *principio di località*:

*Una causa (evento A) può far risentire gli effetti della sua azione (su un evento B) ad una distanza L, solo con un certo ritardo, pari al tempo ( $L/c$ ) impiegato dalla luce a percorrere la distanza L.*

b) La meccanica quantistica tra determinismo e indeterminismo

Diversa è la situazione per la meccanica quantistica nella quale

– è “deterministica” la matematica dell'equazione di Schrödinger che governa la funzione d'onda;

– ma è “indeterministica” l'interpretazione fisica che di quest'ultima viene data che è, invece, “probabilistica”.

c) Violazione del principio di località in Meccanica quantistica

La comparsa, nella fisica dei cosiddetti fenomeni “non locali” (nell'ambito della meccanica quantistica) e di teorie che violano il principio di località è stata interpretata, prima che si prendesse in considerazione la nozione di complessità,

– mantenendo fermo il criterio riduzionista che considera il tutto come “somma” delle parti,

– come una violazione del principio di causalità (almeno se inteso nel senso appena descritto).

In alternativa, in un secondo periodo, con la crisi del riduzionismo dopo il primo approccio alla complessità, si è incominciato a considerare la “non località”

– piuttosto come una falsificazione del criterio riduzionista (non separabilità delle parti dal tutto),

– mantenendo valido il principio di causalità (che doveva essere ripensato in un'ottica non riduzionistica e quindi, talvolta, anche atemporale).

### *Verso la causalità formale*

Incomincia, in questa prospettiva, ad affacciarsi tacitamente la plausibilità di una visione della causalità non temporale, che per agire non necessita di “collegare” tra loro due parti separate (di un tutto che ne è la “somma”) mediante un segnale che viaggia alla velocità della luce nel vuoto, ma produce il suo effetto in quanto è presente nella struttura stessa del tutto, e quindi in ogni sua parte simultaneamente, come una sorta di “informazione” che lo caratterizza nel suo insieme, nella sua totalità e non necessita di propagarsi da una parte all’altra del sistema.

Si tratta di un primo approccio che apre la strada alla nozione di “causalità formale”.

La nozione odierna di “informazione” incomincia a richiamare abbastanza da vicino quella aristotelica di “forma”.

Ad esempio, con la “forma” aristotelica, l’“informazione” ha in comune il fatto di essere un “principio immateriale”. L’informazione, come oggi la si intende nelle più diverse discipline, pur essendo veicolata da un “supporto materiale”, è irriducibile a quest’ultimo; così che può essere trasferita da un supporto ad un altro, come si fa tutti i giorni usando il *computer*, senza alterarla nel suo contenuto.

### *Il problema mente/corpo e la forma sussistente*

La scienza si limita, per il momento, a considerare quel genere di informazione che è paragonabile alle forme aristoteliche che caratterizzano la struttura e la dinamica dei corpi materiali, e non è arrivata, certamente, a concepire una forma per sé sussistente come è l’anima umana nella concezione tomista. Essa, tuttavia, si trova ormai di fronte a problemi come quello del rapporto mente/corpo o intelligenza/macchina che pone la questione di comprendere come si attui la cognizione umana universale astratta.

Nasce, a questo punto, legittimamente questa domanda: è sufficiente un approccio riduzionistico, materialista (mente riducibile al corpo e alle sue basi fisico-chimiche), o funzionalista (mente come funzione emergente spontanea di un sistema biologico complesso)?

O si richiede l’ipotesi di una mente in grado di compiere delle funzioni immateriali che un sistema biologico o elettronico, per quanto complesso, non è un grado far emergere senza l’azione di una causa esterna adeguata?

A questa questione Tommaso rispondeva con la “teoria dell’astrazione” della forma universale dalla materia corporea da parte di un’anima immateriale sussistente<sup>18</sup>.

### *Aspetti irriducibili della dinamica: predicibilità e impredicibilità (caos deterministico)*

L’inseparabilità che si presenta in certe situazioni delle parti da un tutto complesso e quindi anche tra loro, ha come base matematica la non linearità delle equazioni differenziali che

---

<sup>18</sup>Cfr. ad esempio, *Somma teologica*, I parte, q.84.

descrivono l'evoluzione temporale del sistema complesso. Ma insieme alla non linearità compare, in certe condizioni, anche il problema della imprevedibilità degli eventi futuri, su base fisico-matematica.

La "predicibilità" degli eventi futuri, come conseguenza necessaria delle leggi della fisica, è dovuta alla "stabilità" delle soluzioni, tipica dei sistemi lineari, grazie alla quale l'evoluzione futura di un sistema non si discosta mai se non di un poco controllabile dalla previsione teorica.

Ma, come ebbe a scoprire H. Poincaré (1890): in un sistema non lineare, una piccola perturbazione delle condizioni iniziali del moto, di una soluzione instabile, può comportare, dopo un certo tempo, un errore anche molto grande nella previsione. In questo caso l'"imprevedibilità" non indica una mancanza di causalità, ma per noi l'impossibilità teorica (matematica) e pratica (sperimentale) di dominarla conoscitivamente. E questo può comportare comportamenti come il "caos deterministico" negli "attrattori strani".

### *Osservazioni sull'indeterminismo*

L'indeterminismo tende a negare, in qualche modo, la relazione tra causa ed effetto. Questa negazione può assumere due aspetti:

– la negazione può essere "assoluta": questa posizione è incompatibile con la possibilità stessa della scienza e, in questo caso, nulla sarebbe predicibile;

– la negazione può essere relativa a qualche aspetto della relazione causa-effetto, ma non della relazione in se stessa. È in quest'ultimo senso che si parla di indeterminismo in fisica. In tal caso la predicibilità è solo probabilistica per ciò che riguarda questo aspetto casuale, mentre è deterministica per tutto il resto. In questo secondo caso si può ritenere che l'indeterminismo:

a) sia una legge di natura del mondo fisico: allora non c'è motivo per cercare una teoria che lo rimuova dalla scienza; (indeterminismo teorico)

b) oppure derivi da un limite della nostra conoscenza. E questo può dipendere da due fattori:

b.1) si può ritenere che esso sia dovuto agli apparati sperimentali e alle operazioni di misura (indeterminismo sperimentale);

b.2) si può generare indeterminismo per la impossibilità pratica di compiere un numero troppo grande di calcoli. Allora si ricorre a metodi statistici che comportano di conseguenza, la possibilità di previsioni solo probabilistiche (indeterminismo statistico).

Formattato: Nessuna sottolineatura

Eliminato: ?

### **III - Oltre il riduzionismo concettuale nelle scienze: ordine e gerarchie di livelli concettualmente irriducibili (analogia)**

Da un certo momento in poi a) con la messa in discussione del metodo riduzionista, b) lo studio dei sistemi dinamici non lineari dissipativi, c) la tematizzazione della complessità, la nozione di causalità ha incominciato a manifestarsi, anche agli occhi degli scienziati non solo per il suo aspetto meccanico di "azione efficiente", ma anche come "relazione d'ordine". Si incomincia, in tal modo, ad accorgersi che, anche nelle scienze, vi sono delle nozioni che non possono essere ri(con)dotte ad una definizione "univoca", ma necessitano di essere associate a più concetti tra loro irriducibili, pur

essendo imparentate tra loro da qualcosa che le accomuna profondamente. Ci troviamo davanti alla riscoperta dell'antica nozione di "analogia" da parte delle nostre scienze<sup>19</sup>. Si tratta di una questione che non coinvolge solamente la causalità, ma, più in generale la struttura dell'ente in quanto tale, sia dal punto di vista della logica che della realtà fisica.

Nell'ultima parte del nostro discorso ci limiteremo ad accennare ai diversi modi (analogia) di attuarsi della causalità, per illustrare almeno in parte questo nuovo aspetto dell'andare "oltre il riduzionismo" da parte delle scienze. Approfondimenti si potranno trovare nella bibliografia richiamata nelle note.

#### ANALOGICITÀ DELLA NOZIONE DI CAUSALITÀ

La relazione d'ordine introduce, con la dipendenza: una "priorità" di un ente (che viene così a presentarsi come "causa") rispetto ad un altro ente (che viene a presentarsi di conseguenza come "effetto"), che può essere anche di natura non temporale, riguardando l'informazione che governa la struttura d'insieme di un sistema, organizzandola a partire da un'origine in vista di una finalità.

Eliminato: ciosi

Questo passaggio costituisce un notevole elemento di sblocco in vista di un approfondimento della comprensione della causalità in prospettiva metafisica anche da parte delle scienze.

#### *Il problema dell'origine*

Un primo criterio di ordinamento causale compare nel problema della ricerca dell'origine. Se questa viene intesa in senso "temporale", in riferimento a un evento particolare, l'origine risiede, per il singolo processo evolutivo, nelle sue "condizioni iniziali", così come si intendono nella fisica che conosciamo. Quando, poi, ad essere esaminato è l'universo fisico come tale, abbiamo il problema dei cosiddetti "primi istanti dell'universo".

Ma si può parlare di origine anche in un senso "non temporale". La causalità nei suoi aspetti non temporali non è mai stata evidente ai fisici, come lo è, ad esempio, per i logici, per i quali ad essere rilevante non è il tempo, quanto lo è la "conseguenzialità", cioè quel nesso di implicazione per cui le premesse "causano" ("originano") formalmente la conclusione; o per i matematici per i quali l'ordinamento di una successione è dovuto a "relazioni d'ordine" (come quella di "maggiore" o "minore" tra numeri, o più in generale di "antecedente" e di "successore") che sono relazioni atemporali.

Ma l'aspetto non temporale della causalità formale fa la sua comparsa, anche nel mondo fisico, chimico e biologico con l'analisi della considerazione del "tutto" nella sua "struttura" d'insieme (come abbiamo visto nella prima parte) e del punto di vista del "progetto" (finalità) che sta alla sua origine e nel suo evolvere. Qual è il principio causale (originante) che fa di un insieme di parti un

---

<sup>19</sup> A proposito della riscoperta dell'analogia da parte delle scienze posso rimandare alla mia voce "Analogia" nel *Dizionario interdisciplinare di scienza e fede*, già citato, (vol. 1, pp. 56-70, *on line* all'indirizzo web [www.disf.org/Voci/29.asp](http://www.disf.org/Voci/29.asp)). Inoltre si può vedere, A. Strumia, *Le scienze e la pienezza della razionalità...*, pp. 62-68. Sull'analogicità della nozione di "classe" nella teoria degli insiemi J. Bochenski osserva come «incidentalmente va sottolineato che gli autori dei *Principia Mathematica* [Russell e Whitehead] hanno fatto uso della traduzione esatta di *aequivocatio a consilio* quando hanno coniato l'espressione "ambiguità sistematica". Infatti essi stavano trattando dell'analogia» (J. Bochenski, "Sulla analogia", in G. Basti, A. Testi (curatori), *Analogia e autoreferenza, Marietti 1820*, Genova-Milano 2004, p. 141). Sull'analogia in matematica e il passaggio da una "teoria degli insiemi" ad una "teoria degli enti" si veda il mio volume *Il problema dei fondamenti. Un'avventurosa navigazione*, già citato.



tutto e non un altro: ad esempio un universo in cui possa comparire la vita? In questa direzione si muovono, tra l'altro, anche le considerazioni relative al "principio antropico"<sup>20</sup>.

### *Il problema della finalità*

E così anche la finalità fa ormai la sua comparsa legittima nel mondo fisico, chimico e biologico da diverso tempo. Non la si teme più come un elemento vitalistico o addirittura spiritualistico, in quanto incomincia ad essere presente a) sia nella "formulazione matematica" delle leggi di natura, come accade, ad esempio, con i principi variazionali, e in una certa formulazione delle leggi della termodinamica, come b) nella struttura e nella dinamica della materia che è capace di organizzarsi al fine di compiere delle operazioni con uno scopo (nutrizione, riproduzione, locomozione, apprendimento, ecc.).

Il livello più elementare della finalità, in senso temporale, appare come rovesciamento del problema dell'origine. Infatti, la dinamica dei sistemi consente sempre di assegnare le condizioni finali del moto, in luogo di quelle iniziali, ricostruendo queste ultime dalle prime (come accade quando si affronta il problema balistico, nel quale è il bersaglio finale ad essere assegnato per primo). Inoltre ci sono situazioni, nella meccanica non lineare, in cui certe condizioni finali (note come "attrattori") vengono raggiunte a partire da qualunque condizione iniziale si parta entro una certa regione dello spazio degli stati del sistema (che per questo prende il nome di "bacino di attrazione").

Nella considerazione dell'universo fisico nella sua totalità, il problema delle origini viene capovolto nel problema del destino dell'universo nel tempo. È una questione che riguarda la cosmologia altrettanto quanto quello dei primi istanti dell'universo.

### *Il problema dell'organizzazione*

Lo studio dei sistemi complessi, strutturati secondo "livelli di organizzazione" (a cominciare da quelli più semplici che emergono nella termodinamica del non equilibrio), mette in evidenza una "gerarchia" di tipi diversi dei livelli "irriducibili" che sembra proprio aprirsi al concetto aristotelico-tomista di analogia. Questi livelli differenziati e irriducibili secondo i quali si organizza (si attua) la struttura di un ente fisico, chimico, biologico, si presentano come un primo manifestarsi – nelle scienze – dei modi differenziati con cui si attua l'ente aristotelico (*analogia entis*).

### *Il fondamento (causa dell'essere)*

Il traguardo più avanzato si trova nel cosiddetto "problema dei fondamenti", che per ora viene posto, come tale, sul versante dell'"ente di ragione" (cioè in ambito logico-matematico) e non ancora a proposito della causa dell'"ente reale" (metafisica).

---

<sup>20</sup> A proposito del principio antropico si può vedere utilmente l'omonima voce di G. Tanelkka-Nitti nel *Dizionario interdisciplinare...*, vol. I, pp. 102-120, on line all'indirizzo web [www.disf.org/Voci/31.asp](http://www.disf.org/Voci/31.asp).

E già sul versante della logica-matematica si possono fare delle riflessioni assai interessanti<sup>21</sup>. Ad esempio: su come effettuare il passaggio dalla teoria degli insiemi alla teoria degli enti, ovvero a quella che oggi va sotto il nome di “ontologia formale”.

## In conclusione

Per terminare riassumiamo sinteticamente alcune osservazioni che possono aprire utilmente la strada ad un vero e proprio percorso di ricerca, e che, in ogni caso, possono aprire anche prospettive didattiche orientate ad una visione di sintesi del pensiero e ad una prospettiva di unità del sapere.

a) In tutte le scienze sembra comparire una “struttura gerarchizzata” di “informazioni” legate al grado di complessità e quindi di unitarietà della struttura chiamata in causa.

b) Nell’ambito della filosofia aristotelico-tomista, il principio unitario di un ente è la “forma” (oggi “informazione”). Anche se non è ancora chiaro il percorso che faranno le scienze, sembra abbastanza indicativo lo spostamento dallo schema univocista del riduzionismo verso quello di una nuova visione analogica più soddisfacente.

c) Oggi assistiamo, curiosamente, ad un interessante mutamento, a causa del quale la stessa matematica, e con essa le altre scienze, sembrano mostrare un concreto interesse verso un ampliamento della razionalità che apre loro l’orizzonte, finora disdegnato, della “analogia” dell’ente.

d) Si sta aprendo, come già nell’antichità, un passaggio dalle scienze della natura e delle scienze logico-matematiche ad una scienza dei loro “fondamenti logici e ontologici”, come anticamente avvenne nel passaggio dalla visione dei filosofi ionici, dei pitagorici, passando per Parmenide, Eraclito e Platone per giungere alla sintesi aristotelica.

Non abbiamo, dunque, che da augurarci “buon lavoro” ed insieme anche “buon divertimento

Cfr. il mio tentativo *Il problema dei fondamenti, Un’avventurosa navigazione...*, ove sono citati studi di diversi autori impegnati in questa direzione di ricerca.

---

<sup>21</sup> Cfr. il mio tentativo *Il problema dei fondamenti, Un’avventurosa navigazione...*, ove sono citati studi di diversi autori impegnati in questa direzione di ricerca.