

Una razionalità da dilatare

di Alberto Strumia

Che cosa sta succedendo nell'ambito scientifico dei nostri giorni? Forse non sono in molti a rendersene conto, ma da una trentina d'anni a questa parte, anno più anno meno, l'esplosione del cosiddetto problema della complessità ha scatenato una vera e propria rivoluzione metodologica. E le reazioni sono molto diverse anche fra gli stessi ricercatori. Alcuni si sono lanciati senza riserve in questo settore di indagine che vede coinvolte un po' tutte le scienze, comprese la chimica, la fisica, la matematica, la logica, le scienze più consolidate, insomma. Altri, al contrario, fanno di tutto per tenersene al di fuori, continuando a fare scienza come sempre, quasi nulla fosse accaduto. Eppure la questione sembra essere davvero interessante e così importante da segnare, forse, i nostri anni come gli anni di una svolta metodologica irreversibile e determinante nella storia del cammino scientifico. Ma sarà il tempo a giudicare...

In questa breve esposizione è mia intenzione offrire una semplice introduzione alle problematiche più significative nell'ambito delle scienze odierne per aprire una finestra che lasci entrare aria nuova nel quadro epistemologico a volte troppo condizionato da blocchi inveterati e da pregiudizi più filosofici che scientifici.

Certamente parlare di tutti i problemi delle scienze di oggi è troppo impegnativo e richiederebbe un tempo molto lungo oltre ad una competenza straordinaria, per cui mi limiterò necessariamente ad alcuni dei problemi più scottanti delle scienze, con una particolare attenzione alle scienze fisico-matematiche. Non mi avventurerò nell'universo delle scienze umane che non sono di mia diretta competenza.

Le scienze fisiche

Suddividerò le problematiche in due parti:

—nella prima raggrupperò quelli che ormai sono divenuti i problemi *classici* delle scienze attuali, perché ancora non risolti. Questa rassegna sarà utile per rendersi conto di come nelle scienze i problemi non risolti sono molti di più di quanto non si immagini abitualmente.

—Nella seconda parte raggrupperò i problemi *veramente nuovi*, quelli che a mio parere sono i più interessanti perché aprono la strada, almeno in parte, ad un cambiamento di metodo della ricerca scientifica. Penso che probabilmente ci troviamo in un momento della storia delle scienze che può segnare una svolta molto importante nel modo di concepire e praticare la scienza, con tutta una serie di conseguenze anche filosofiche connesse. Si tratta di quelle problematiche che sono insorte, o almeno sono state riprese in considerazione con vigore, da circa una trentina d'anni, grazie all'impiego del computer, e che oggi vanno sotto la denominazione generica di *problema della complessità*.

Ciò che va sottolineato è il fatto che questo secondo settore di problematiche inerenti la *complessità* ha posto alle scienze delle domande metodologiche e filosofiche che spesso gli umanisti e anche i biologi già da tempo avevano formulato, ma che i fisici e i matematici evitavano di porre per timore inquinare il rigore del metodo scientifico. Fino a quando certi problemi erano solo dei biologi si poteva accusare la biologia di non essere ancora una vera scienza, ma quando gli stessi problemi sono esplosi all'interno della chimica, della fisica, della matematica e della logica le cose si sono dovute

affrontare con un diverso atteggiamento.

Iniziamo allora con uno schema che raccoglie le principali problematiche del primo settore spostandoci gradualmente verso le problematiche del secondo gruppo, incominciando dalla fisica. Qualche commento può essere utile sulle singole problematiche.

Unificazione delle forze. Dall'epoca di Einstein il problema di una teoria unitaria dei campi è rimasto un sogno per i fisici: lo stesso Einstein non era riuscito ad unificare gravitazione ed elettromagnetismo. Un passo notevole è stato compiuto recentemente con l'unificazione elettro-debole e forse siamo sulla buona strada, ma il problema non è ancora risolto.

Cosmologia. La cosmologia fino a quando Penzias e Wilson non hanno scoperto la radiazione cosmica di fondo faticava ad essere considerata una scienza in quanto non sembrava poter avere riscontri controllabili sperimentalmente. Essa è comunque fondata su spesso su estrapolazioni, su molte ipotesi ad hoc. In questi ultimi anni si è trovata a collaborare strettamente con la teoria delle particelle elementari nell'intento di descrivere i cosiddetti primi istanti dell'universo.

Unificazione della meccanica quantistica con la relatività. La meccanica quantistica e la relatività di Einstein nella forma speciale come in quella generale sono teorie che nascono in maniera completamente diversa e come tali appaiono irriducibili in un quadro unitario. Tuttora vengono forzate a convivere nell'elettrodinamica quantistica e nella teoria quantistica dei campi per produrre risultati corretti ma rimangono

concettualmente non unificate. Forse si tratta di uno dei problemi più rilevanti della fisica del XX secolo che potrà essere risolto solo quando si sarà capito meglio il quadro che sta effettivamente alla base della meccanica quantistica.

Interpretazione della meccanica quantistica. L'interpretazione idealista della meccanica quantistica che tende a vedere l'indeterminismo come una legge di natura, così come un'interpretazione realista che tende a pensare come fisici i processi così come questa teoria li descrive mi sembrano entrambe insufficienti. La prima sta perdendo via via di credito e la seconda non riesce ad affermarsi: forse tutto ciò è motivato dal fatto che la meccanica quantistica, nella sua versione attuale, va intesa come uno strumento di calcolo puro e semplice che non pretende di descrivere i veri processi fisici della natura nei loro effettivi meccanismi intrinseci. In questo senso essa ricorda un po' l'astronomia tolemaica, sofisticatissimo strumento di calcolo dei moti planetari del tutto estraneo ad una descrizione dei processi fisici secondo i quali essi si realizzano in natura.

Freccia del tempo. Con questi ultimi problemi ci avviciniamo gradualmente al secondo settore di problematiche di cui ho parlato all'inizio. L'irreversibilità dell'orientamento del tempo dal passato verso il futuro non ha una spiegazione nella meccanica classica né in quella quantistica se non in termini di meccanica statistica: l'orientamento del tempo appare come conseguenza dalla maggiore probabilità con la quale si passa da una configurazione ordinata di un sistema ad una disordinata, ma non ha una spiegazione microscopica al livello del moto di una singola particella. Solo con la meccanica non lineare si è trovata una spiegazione microscopica della freccia del tempo in quanto i moti instabili sono anche singolarmente irreversibili.

La turbolenza nei fluidi. Lo studio dei moti turbolenti nei fluidi è sempre stato considerato troppo complicato per poter essere

affrontato matematicamente e tutti i modelli che tentano di risolverlo scomponendolo in problemi più semplici si sono rivelati inadeguati: si tratta di uno di quei nuovi problemi della complessità che sembrano non scomponibili, ma possono essere affrontati solo nel loro insieme. Oggi si sta affrontando questo problema in termini di attrattori caotici delle equazioni non lineari dei fluidi.

Problema dei tre corpi. I fisici sono riusciti a risolvere in maniera analitica e quindi esatta, in fondo, solo due problemi fondamentali: il problema dell'oscillatore armonico e il problema dei due corpi, con il quale si schematizzano i moti planetari attorno al sole. Questi due problemi si risolvono analiticamente perché sono problemi differenziali alle derivate ordinarie di tipo *lineare*, e i matematici hanno elaborato tutti i teoremi che servono a risolvere esattamente qualunque problema lineare come questi. Le complicazioni insorgono quando si ha a che fare con problemi non lineari: questi ultimi si affrontano generalmente con la teoria delle perturbazioni, cioè partendo da un problema lineare al quale si aggiunge un piccolo termine non lineare, oppure costruendone le soluzioni numericamente con il calcolatore. Già Poincaré aveva scoperto che anche in un problema con soli tre corpi (come il sole e due pianeti), che non è lineare, le soluzioni sono instabili, cioè subiscono grandi modifiche nel tempo se si modificano anche di poco le condizioni iniziali a differenza di quanto accade nei problemi lineari. Lo strumento matematico rivela così tutti i suoi limiti quando si lavora con una teoria non lineare in quanto un piccolo errore nella determinazione delle condizioni iniziali rende imprevedibile la predizione del comportamento del sistema nel futuro; poiché in fisica gli errori di misura non si possono mai eliminare e la maggior parte dei problemi di un certo grado di complessità comporta equazioni non lineari, ecco che le teorie non possono fare predizioni valide oltre certi limiti di tempo. È il classico problema delle previsioni del tempo atmosferico che

diventano tanto meno attendibili quanto più tentano di spingersi oltre le brevi scadenze.

La fisica di questi ultimi problemi accennati, che sono problemi non lineari, dunque fornisce queste informazioni:

—i problemi non lineari sono spesso *non predicibili* in quanto le soluzioni dipendono fortemente dalle condizioni iniziali (instabilità) e quindi un piccolo errore su queste ultime può divenire molto grande dopo un certo tempo;

—i problemi non lineari non sono scomponibili in problemi più semplici di cui si conosce la soluzione, ma vanno considerati nel loro insieme, cioè sono *complessi*: si dice spesso anche che il tutto non è la somma delle parti. Questo è legato al fatto che mentre per un problema lineare vale il noto *principio di sovrapposizione*, in base al quale la somma di più soluzioni di un problema è una nuova soluzione, per cui viceversa una soluzione qualunque può pensarsi come somma di soluzioni più semplici, per un problema non lineare questo non è più vero.

Le altre scienze

Vediamo ora qualche accenno anche ad altre discipline diverse dalla fisica in cui il problema della complessità è emerso già da prima che in fisica.

Qualche breve commento anche a questo schema.

Chimica. La chimica si è trovata a fare i conti con la complessità fin da quando ha riscontrato che le proprietà delle molecole, anche semplici, non sono completamente

deducibili dalle proprietà degli atomi componenti: la molecola sembra essere qualcosa di nuovo rispetto agli atomi, possiede degli orbitali in cui gli elettroni sono completamente condivisi in una struttura unica. Questo solo per limitarci ad un aspetto del problema *parti-tutto* nella chimica.

Biologia. La biologia ha da sempre avuto il problema di riconoscere un principio unitario caratterizzante l'organismo vivente che ha una sua identità propria non riducibile alla

somma delle cellule o delle molecole che costituiscono la cellula. Tuttavia ha sempre faticato a formulare scientificamente il problema venendo accusata di vitalismo dai fisici e di non scientificità. Ora che il problema del tutto e delle parti nasce dalla fisica e dalla matematica stesse la questione sembra cambiare radicalmente aspetto. Lo stesso problema del finalismo particolarmente riproposto in varie epoche dai biologi potrebbe avere una sorte simile.

Medicina. Oltre ai problemi biologici connessi con la medicina oggi è particolarmente studiato il cervello in rapporto alla mente, intesa come quella facoltà, non meglio definita, che si serve del cervello come organo: si può ridurre la mente al cervello? L'indagine viene spesso condotta in parallelo al cammino dell'informatica riguardo alla cosiddetta *intelligenza artificiale*.

Informatica. L'informatica ha senz'altro evidenziato che l'informazione risiede a diversi livelli e in diversi gradi di contenuto: a un livello materiale di base nei circuiti dell'hardware, a livelli via via più astratti e unitari nel software, nel linguaggio di programmazione e nella mente umana del programmatore come dell'utente. Questa gerarchizzazione di livelli mette bene in evidenza la gerarchizzazione dei gradi di complessità a somiglianza di quanto avviene negli organismi biologici e nelle strutture complesse di tipi chimico e fisico. Inoltre l'impiego del computer ha consentito di realizzare in tempi brevi una mole di calcoli incredibile e di visualizzarne i risultati in una forma grafica anche esteticamente elegante. In particolare una delle procedure più importanti realizzate al computer è quella della ricorsività: si compie una certa operazione a partire da certi dati iniziali e poi si ripete il calcolo immettendo i risultati ottenuti al posto dei dati iniziali e così via per un grande numero di cicli di calcolo. Questo processo iterativo, come viene chiamato, fornisce non solo dei risultati interessanti, ma sta costringendo logici e matematici ad approfondire una branca delle loro discipline spesso lasciata

incompiuta per timore di contraddizioni.

Logica. I processi iterativi

dell'informatica stanno in qualche modo sollecitato i logici a riaprire una vecchia questione sulla quale Russell si era già pronunciato con una scelta negativa: la questione dell'autoinclusività delle classi e quella, ad essa legata, dell'autoreferenzialità degli enunciati. È una questione antica già nota ai greci che è rimasta praticamente relegata agli studi specialistici fino a quando il computer non l'ha resa nuovamente attuale e urgente con le sue procedure ricorsive. La questione dell'autoinclusività delle classi si può formulare in questo modo: *esistono delle classi che contengono se stesse?* Strettamente legata vi è la questione dell'autoreferenzialità degli enunciati: *esistono degli enunciati che parlano di se stessi?* Russell aveva escluso dalla sua assiomatizzazione l'autoinclusività come l'autoreferenzialità perché in certi casi può portare a delle contraddizioni. Era una semplificazione comprensibile in prima istanza, tuttavia non sempre l'autoreferenzialità porta a delle contraddizioni e l'uso abbondante che ne fa l'informatica oggi richiede alla logica delle assiomatizzazioni più ampie in cui anche l'autoreferenzialità sia compresa. Eminentissimi logici e matematici anche in Italia sono allo studio in questa direzione. Vediamo qualche esempio di collezioni (in questo caso si usa il termine *collezione* in luogo di classe) che contengono se stesse come elemento: un esempio può essere la *collezione di tutte le collezioni*. Una collezione che contiene tutte le collezioni, per definizione deve contenere anche se stessa, altrimenti non le comprenderebbe tutte; non c'è nessuna contraddizione in questa definizione. Un altro esempio simile è dato dal *catalogo di tutti i cataloghi che citano se stessi*; non vi è nessuna contraddizione in questa definizione, perché se questo catalogo si cita è giusto in quanto essendo un catalogo che si cita deve essere citato nel catalogo di tutti quelli che si citano, se viceversa non si cita è altrettanto giusto,

perché non citandosi non deve comparire tra quelli che si citano. La contraddizione nasce se introduciamo una negazione cercando di definire il famoso *catalogo dei cataloghi che non citano se stessi*. Un simile catalogo non esiste in quanto la sua definizione è contraddittoria: infatti se questo catalogo si citasse in base alla definizione dovrebbe essere un catalogo che non si cita e questo è contro l'ipotesi; viceversa se non si citasse in base alla definizione esso dovrebbe citarsi. Tuttavia, come abbiamo visto, negli esempi precedenti il fatto che in alcuni casi possano darsi delle contraddizioni non significa che l'autoreferenzialità porti sempre a delle contraddizioni. Gli antichi conoscevano l'autoreferenzialità con le sue contraddizioni attraverso le varie formulazioni del paradosso del mentitore che asserisce di mentire sempre. Questi problemi non sono solo di interesse scientifico ma portano con sé delle implicazioni filosofiche di grande rilievo: basti pensare ad una nozione come quella di *ente*. L'ente è autoinclusivo in quanto le proprietà di un ente sono a loro volta degli enti anche se secondo modalità differenti: è l'antico problema dell'*analogia* che, soppiantato dalla filosofia moderna, sembra oggi riproporsi attraverso le scienze. Ma passiamo ora ad un altro aspetto della questione legato sempre al problema del tutto e delle parti, ma riguardante la necessità di un certo cambiamento nel metodo delle scienze che sembra essere richiesto per un affronto corretto del problema della complessità.

Il metodo delle scienze

Ci aiuteremo anche in questo caso con uno schema riassuntivo.

Scienze formali. Sono scienze come la logica e la matematica, che partendo da *assiomi* e *definizioni* dimostrano *teoremi*: sono quindi scienze deduttive, dimostrative, totalmente astratte.

Scienze galileiane. Le scienze fisico-matematiche sono scienze che utilizzano i metodi matematici

La geometria dei frattali

La geometria dei frattali offre l'esempio più elegante di questo genere di complessità in base alla quale il tutto si ritorva nelle parti per quanto piccole esse siano.

Vediamo come si può costruire un tutto che si riproduce in ogni sua parte: la regola operativa consiste nel fissare una certa operazione e nel ripeterla più volte regolarmente per un numero di volte che, in linea di principio, può continuare all'infinito. Si tratta di un processo iterativo, di cui ho già parlato trattando dell'informatica.

Ad esempio vediamo come si genera la curva di Von Koch (figura 1).

Partiamo da un segmento di retta. Suddividiamolo in tre segmenti uguali e sostituiamo la parte di mezzo con due segmenti uguali, come nella figura che segue.

Se ripetiamo nuovamente l'operazione su ognuno dei quattro segmenti ottenuti dividendolo in tre parti e sostituendolo con due segmenti come prima otteniamo la figura rappresentata nella terza riga: notiamo come ora, in ogni segmento troviamo la stessa struttura che avevamo in partenza. Se procediamo ulteriormente la complessità del tutto si replica nella parte

Impostando l'operazione di partenza sui lati di un triangolo equilatero e ripetendola a scale via via più piccole otteniamo una figura chiusa particolarmente elegante.

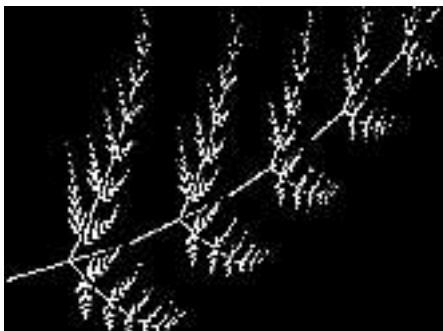
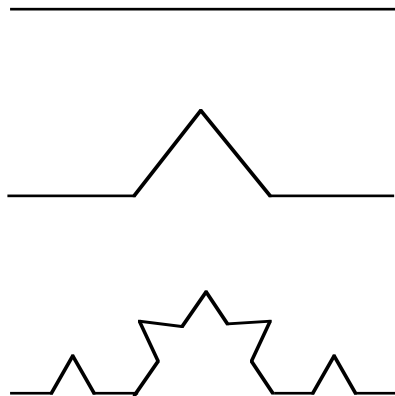


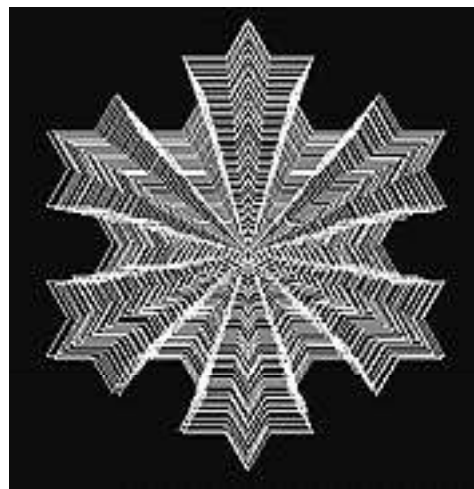
Figure di questo genere hanno una somiglianza con oggetti esistenti in natura, come i cristalli di neve. Anche le foglie possono descriversi mediante costruzioni frattali in quanto i contorni frastagliati tendono a riprodurre in ogni parte la complessità del tutto: la felce è un esempio tipico in quanto ogni suo particolare è una replica in scala ridotta della struttura completa. La figura che segue è ottenuta fissando dei numeri in una legge di trasformazione affine iterata migliaia di volte.

Con lo stesso metodo possiamo imitare i profili delle montagne o delle nuvole: anche in questa situazione l'ingrandimento di una parte è indistinguibile dal profilo di una montagna intera perché si presenta frastagliato allo stesso modo. La scelta dei coefficienti numerici determina profili più aguzzi o più arrotondati.

Altri frattali molto noti, che non hanno un corrispettivo realistico, sono gli insiemi di Mandelbrot e di Julia che si ottengono mediante iterazione di funzioni di variabile complessa: anche in questi insiemi l'ingrandimento rivela delle parti che hanno la stessa struttura del tutto. Nella prossima figura è rappresentato l'insieme di Mandelbrot.

E ora un particolare ingrandito.

L'ultima figura rappresenta un particolare insieme di Julia detto cavalluccio marino per la struttura caratteristica: si vede molto bene come ogni parte dell'insieme replica all'infinito una forma simile al cavalluccio marino.



per ottenere una teoria coerente che renda conto adeguatamente delle misure e dei dati osservativi e per ottenere previsioni sperimentalmente corrette.

Riduzionismo. Secondo lo schema epistemologico finora corrente tutte le altre scienze in qualche modo dovevano ricondursi al modello ideale delle scienze formali o di quelle galileiane. Questo processo si riteneva possibile in forza della supposta possibilità di ricondurre la descrizione del *complesso* alla descrizione, più semplice, delle sue parti componenti. Dal punto di vista matematico tutto questo era reso concepibile in forza dell'impiego di equazioni lineari per le quali la soluzione generale si può sempre esprimere come somma di soluzioni particolari.

Il punto di vista storico-filosofico

Dal punto di vista storico-filosofico è ben noto che le problematiche di cui abbiamo parlato finora rispecchiano due concezioni della scienza che si sono trovate a rivaleggiare fino dall'antichità e sono ben anteriori a Copernico, Galileo, Cartesio e Newton. In particolare il quadro epistemologico di base era ben definito già nel 1200, periodo in cui si fronteggiavano le due scuole rivali di Oxford e di Parigi. Al solito uno schema viene in aiuto.

È ad Oxford che nasce l'idea della matematizzazione delle scienze, che sarà poi alla base del metodo galileiano. A Parigi si sosterrà una concezione più ampia della scientificità. È interessante vedere come le problematiche che abbiamo esposto sopra mostrano certi limiti di un approccio troppo univocista e sembrano richiedere una visione che si avvicina, almeno in parte, alla concezione delle scienze parigine.

Non a caso, ai nostri giorni non sono mancati matematici di grande fama, come René Thom, particolarmente noto per la sua *teoria delle catastrofi*, che si sono messi a studiare Aristotele per ricavarne elementi di riferimento per la loro epistemologia.

Riporto due testi che rispecchiano le due antiche visioni della scienza: il primo di Ruggero Bacone (che non va confuso col Francesco Bacone che è stato indebitamente mitizzato come uno dei creatori del metodo sperimentale e gli è di molto posteriore) e il secondo di Tommaso d'Aquino.

«Ora nella matematica ci è possibile giungere ad una verità completa senza errore e ad una certezza universale senza ombra di dubbio, poiché ad essa conviene procedere per dimostrazioni a priori, *per causas proprias* e necessarie. E la dimostrazione, si sa, porta alla verità. (...)

Soltanto nella matematica ci sono dimostrazioni nel vero senso della parola "per causas proprias"; e perciò soltanto nell'ambito e in virtù della matematica l'uomo può giungere alla verità. (...)

Perciò nella sola matematica si raggiunge la certezza piena. Per la qual cosa risulta che se nelle altre scienze vogliamo, com'è nostro dovere, arrivare ad una certezza che escluda ogni dubbio, e ad una verità, che escluda ogni errore, è necessario che la matematica diventi il fondamento del nostro conoscere, in quanto da essa preparati possiamo giungere alla piena certezza e alla verità anche nelle altre scienze...».ⁱ

[Ruggero Bacone, *Opus Maius*]
«Ci sono tre categorie di scienze per quanto riguarda gli oggetti della fisica e della matematica:

—Quelle della prima categoria sono puramente fisiche: esse considerano le proprietà delle realtà naturali come tali e sono la fisica, la scienza agraria, ecc.

—Quelle della seconda categoria sono puramente matematiche: esse si occupano delle quantità come tali, come la geometria si occupa dell'estensione e l'aritmetica del numero.

—Quelle della terza categoria sono intermedie, dal momento che applicano i principi della matematica alle realtà naturali, e sono l'armonia, l'astronomia ecc.

Esse sono più vicine alle matematiche, perché nella loro considerazione ciò che è fisico gioca il ruolo di materia, mentre ciò che è matematico gioca il ruolo di

i suoni in quanto sono suoni, ma in quanto stanno in una proporzione numerica; similmente le altre

scienze di questo tipo. Di conseguenza conducono delle dimostrazioni riguardanti gli oggetti fisici, ma con metodi matematici. E così nulla impedisce loro di trattare della materia sensibile, in quanto sono scienze di tipo fisico; nel contempo sono scienze astratte in quanto matematizzate».ⁱⁱ
[Tommaso d'Aquino, Commento al "De Trinitate" di Boezio]

4. Un esempio di complessità: i frattali

Possiamo riassumere tutto quanto abbiamo detto finora in nelle seguenti valutazioni:

—Lo schema *riduzionistico* che spesso viene schematicamente riassunto con la formula: *il tutto è somma delle parti*, è insufficiente alla scienza contemporanea ogni volta che ci troviamo di fronte a problemi complessi legati alla non linearità.

—In alternativa si rende necessario l'impiego di uno schema, a volte detto *olistico*, secondo cui *il tutto è più della somma delle parti*.

Questa seconda situazione può realizzarsi:

- perché il tutto contiene un informazione nuova che non c'è nelle singole parti (come accade ad esempio nella molecola, nella cellula, in presenza di livelli gerarchizzati di organizzazione e di informazione)

oppure

- perché non esistono parti distinguibili dal tutto (come accade nei frattali) in quanto ogni parte possiede lo stesso grado di complessità del tutto.

L'interesse per questo secondo approccio è cresciuto particolarmente quando il problema si è presentato nella fisica, nella matematica e nell'informatica, oltre che nella chimica e nella biologia.

Prospettive

È difficile certamente immaginare delle prospettive nello sviluppo delle scienze per quanto riguarda questa tematica della complessità, così vasta e spesso ancora indefinita, tuttavia credo che sia opportuno cercare di orientarsi anche per evitare atteggiamenti irrazionalistici che evadono il

nocciolo della questione. Penso al contrario che sia giunto il momento in cui le scienze possono ampliare il loro metodo dilatando la propria nozione di razionalità.

Secondo alcuni interpreti, fenomeni come il caos indeterministico e l'imprevedibilità dell'evoluzione di un sistema, a causa della non linearità delle equazioni che lo governano, dovrebbero condurre esclusivamente ad una sfiducia nel metodo scientifico e ad una posizione filosoficamente irrazionalistica e scettica, una sorta di sfiducia nella ragione umana che si riflette anche sulla scienza. Penso si debba invece percorrere un'altra strada: quella della dilatazione della razionalità, mettendo a punto metodi dimostrativi più ampi di quelli attualmente in possesso della logico-matematica, identificando possibilità e limiti di tali metodi. Anzitutto la logica e la matematica possono procedere alla messa a punto di teorie assiomatiche nelle quali l'autoreferenzialità non sia esclusa a priori ma possa trovare una sua collocazione rigorosa: a quali condizioni l'autoreferenzialità non conduce a contraddizioni logiche, ma consente un'assiomatizzazione rigorosa dell'antico metodo della dimostrazione analogica? Una risposta chiara a questa domanda sarebbe estremamente interessante anche dal punto di vista dell'indagine filosofica che, rinunciando all'analogia propria dei sistemi medioevali e sostituendola con la moderna dialettica, sembra aver perso la capacità di dimostrare le sue asserzioni, limitandosi spesso a teorizzare il soggettivismo e addirittura l'irrazionalismo. Ma anche per le scienze l'aver a disposizione un'assiomatizzazione più ampia con dei metodi dimostrativi meno restrittivi potrebbe offrire la possibilità di indagare senza escludere quegli elementi che normalmente non rientrano nell'ambito scientifico a meno che non siano ridotti a quantità e relazioni: penso alle qualità, alla stessa finalità. Scienze come la biologia certamente sembrano esigere con urgenza questo passo, ma come abbiamo visto anche la chimica e la fisica, la matematica e la logica. Non è la prima volta che si compiono ampliamenti di questo genere nell'ambito delle scienze

rigorose: basti pensare alla teoria degli insiemi che ha portato la matematica dal mondo dei numeri e delle estensioni a quello molto più vasto delle classi di oggetti qualunque. Dilatando logica e matematica se ne ricava una dilatazione di tutte le scienze che di esse si servono per formulare le loro teorie: non si tratta quindi di rinunciare a dimostrare, ma di dimostrare con strumenti più potenti abbracciando ambiti più vasti della conoscenza. Tutto questo porterà certo anche a definire meglio i limiti della nostra conoscenza e ad accrescere il senso del Mistero che non manca mai nella mente di un serio ricercatore, ma in tal caso il Mistero non sarà identificato come un fatto di ignoranza da combattere, ma sarà riconoscibile come il fondamento necessario dell'intera possibilità di conoscere e di fare scienza. Dopo Gödel sappiamo che una scienza veramente rigorosa dimostra anche l'impossibilità di

dimostrare la sua completezza! ●

ⁱTesto tratto da AA.VV., *Grande enciclopedia filosofica*, ed. Marzorati, vol. VI, pp.1299-1300.

ⁱⁱLettura I, questione II, articolo 3, risposta alla sesta obiezione, pubblicato in S. Thomae Aquinatis, *Opuscula theologica*, ed. Marietti (la traduzione è mia).

-Il materiale qui presentato relativo ai frattali è stato tratto da un repertorio molto più vasto reperibile sul server WWW del C.I.R.A.M. dell'Università di Bologna all'indirizzo <http://eulero.ing.unibo.it/~strumia/Menu.html>

-Alcune delle problematiche epistemologiche, con la relativa bibliografia, sono esaminate in A. Strumia, *Introduzione alla filosofia delle scienze*, Edizioni Studio Domenicano, Bologna 1992.