



# LA SCIENZA OLTRE IL RIDUZIONISMO

ALBERTO STRUMIA

[www.albertostrumia.it](http://www.albertostrumia.it)

C.i.r.a.m. - Univ. di Bologna

Dip. di Matematica - Univ. di Bari



Documentazione Interdisciplinare  
di Scienza e Fede

[www.disf.org](http://www.disf.org)

Interdisciplinary Documentation  
on Religion and Science

[www.inters.org](http://www.inters.org)

## La Scienza Oltre il Riduzionismo

Tra le parole che compaiono nel titolo;

- subito dopo Scienza,
  - risalta in modo particolare quell'Oltre,
  - accanto a Riduzionismo
- 

Ma ...

Che cos'è il Riduzionismo?

E ...

In che senso va inteso questo Oltre?

## Che cos'è il Riduzionismo?



John Polkinghorne sintetizza la risposta a questa domanda in un modo efficace, se pure approssimativo, ormai divenuto di uso frequente:

(Voce «Riduzionismo» in Tanzella-Nitti e Strumia, *Dizionario interdisciplinare di scienza e fede*, Città Nuova - Urbaniana University Press, Roma 2002)

- «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».
- «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».

## Oltre il Riduzionismo ...

In che senso va inteso questo Oltre?

- Che cosa si annida in questo essere

maggiore della somma delle parti

che caratterizza un

tutto  $\left\langle \begin{array}{c} \text{irriducibile alla} \\ \text{non spiegabile come} \end{array} \right\rangle$  somma delle parti

che viene comunemente detto tutto complesso?

- In che cosa consistono queste proprietà “olistiche” (ovvero d’insieme o globali) che non possono essere descritte (dedotte) in termini dei puri elementi costituenti?

Lo studio che riguarda queste “nuove” problematiche va oggi, genericamente, sotto il nome di

## scienza della complessità

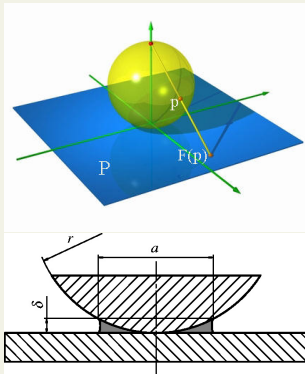
La parola

- complessità vuole indicare che non si può/riesce a
- semplificare la struttura di un tutto (qualcosa), spezzettandolo (riducendolo) 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.

È importante notare come il metodo riduzionista

- abbia dato buoni risultati finora nelle scienze
- e continui a funzionare bene

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 il metodo scientifico riduzionista è come un geometra che ha studiato una sfera (il mondo fisico) approssimandolo al piano tangente in un suo punto.

Fino a che non si allontana troppo dal punto di contatto ottiene risultati attendibili con buona approssimazione.

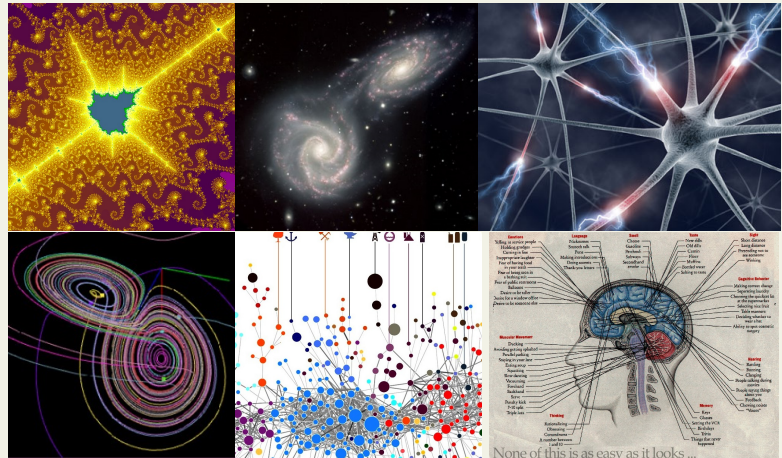
Ma allontanandosi di più per conoscere di più, ad un certo punto, i risultati della teoria non corrispondono più all'esperienza.

# La complessità

Si tratta di una problematica trasversale che coinvolge un po' tutte le scienze.

Oggi essa affiora nelle scienze:

- matematiche
- informatiche
- fisiche
- biologiche
- cognitive
- economiche
- . . . . .



in quanto sembra collocarsi al livello  
dei fondamenti comuni a tutte le scienze piuttosto che ad una sola.

Ampliando un po' gli orizzonti ... potremmo chiamarli i

Fondamenti  $\left\langle \begin{array}{c} \text{logici} \\ \text{e} \\ \text{ontologici} \end{array} \right\rangle$  delle scienze


---

A questo livello il problema

è insieme  $\left\{ \begin{array}{l} \text{scientifico: riguarda} \left\{ \begin{array}{l} \text{l'esperienza (osservazione)} \\ \text{la teoria (formulazione-spiegazione)} \end{array} \right. \\ \text{e} \\ \text{filosofico: riguarda} \left\{ \begin{array}{l} \text{le cose (mondo reale)} \\ \text{la conoscenza (mondo mentale)} \end{array} \right. \end{array} \right.$



Quello che è interessante è il dato, a cui non siamo più abituati da secoli, di dover constatare come

le problematiche filosofiche  logiche  
e  
ontologiche

oggi emergano dall'interno delle scienze (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.

---

## Divagazione

- Una inadeguata conoscenza della razionalità greca e medievale
- insieme al relativismo filosofico diffuso nel nostro Occidente

hanno 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)

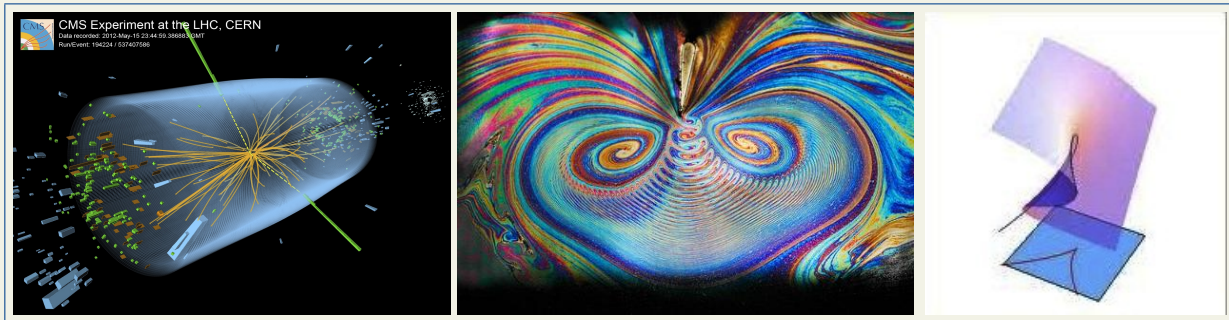
ma per una scienza nata nel quadro della razionalità europea è più logico e naturale rivolgersi alla propria storia culturale che altrove.

In ogni caso i fondamenti universali e irrinunciabili della razionalità sono comuni ad ogni cultura e solo l'ideologia li contrappone.

---

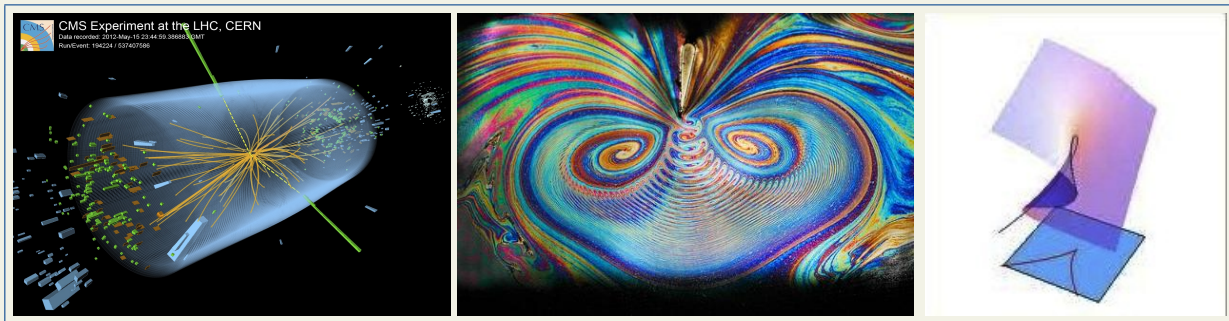
Le nostre scienze sembrano essere arrivate ormai vicine a formulare una teoria dei fondamentali che ha dei tratti comuni con la logica e la metafisica aristoteliche, nate dalle problematiche interne alla fisica e dalla matematica che cercavano di spiegare:

- la struttura della materia (corpi osservabili)
- la dinamica della materia (moti osservabili)
- la logica/epistemologia (oltre le contraddizioni)



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 e dalla matematica che cercavano di spiegare:

- la struttura della materia (corpi osservabili) → **enti immateriali**
- la dinamica della materia (moti osservabili) → **divenire**
- la logica/epistemologia (oltre le contraddizioni) → **analogia**



## Diversi tipi di riduzionismo (Polkinghorne)

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

«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».

### Struttura

«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».

## Dinamica

«Il 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 del tutto che essi vanno a costituire».

«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».

«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 direttamente al classico

problema del tutto e delle parti

Gli altri aspetti legati alla complessità, come

- l' impredicibilità,
- il caos deterministico e
- l' auto-organizzazione

riguardano prevalentemente la dinamica  evolutiva della materia.



## 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) 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:

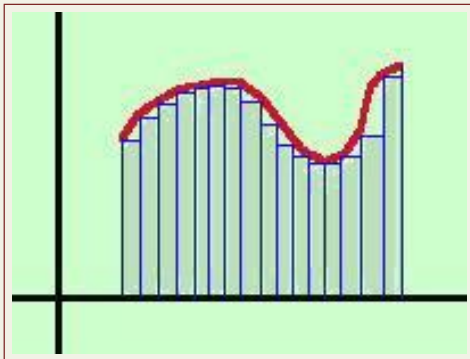
- a) l'oggetto complesso viene spiegato esaurientemente, almeno entro certi limiti, dall'indagine sulle sue parti prese come se fossero a se stanti
- b) l'oggetto complesso presenta proprietà e comportamenti che non si spiegano mediante il solo studio delle sue parti componenti

Il primo caso costituisce l'assunzione tipica di quello che chiamiamo approccio riduzionistico:

il tutto viene spiegato completamente attraverso le sue parti componenti.

Potremmo 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



Es.: il calcolo integrale

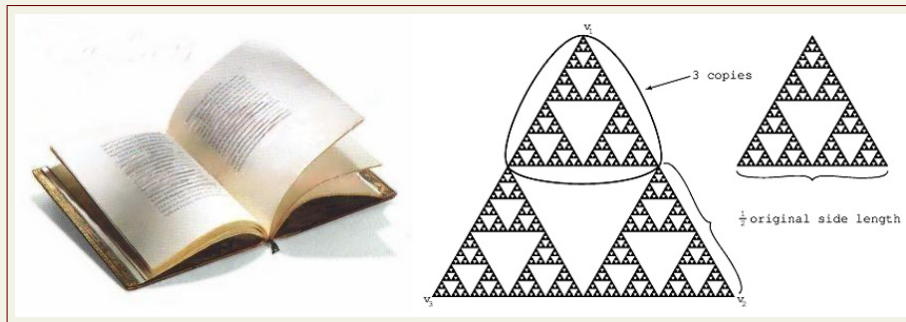
Il secondo caso evidenzia l' insufficienza, o l' impossibilità dell'approccio riduzionistico rinviando ad un approccio globale.

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.

Nello schema aristotelico  
si direbbe che il tutto possiede una

forma (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  
nel linguaggio

– dei biologi e

– dei matematici (cfr. ad es., R. Thom)



insieme ad un interesse rinascente per gli scritti di Aristotele.

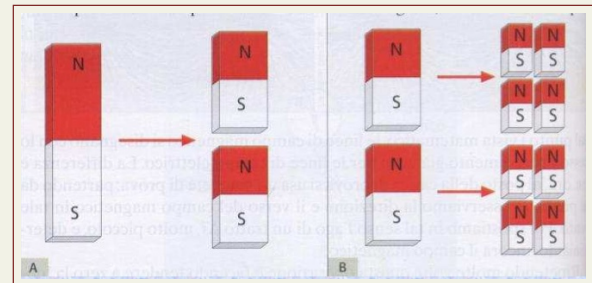
## Impossibilità di adottare lo schema riduzionistico

Ci si imbatte nell'impossibilità quando

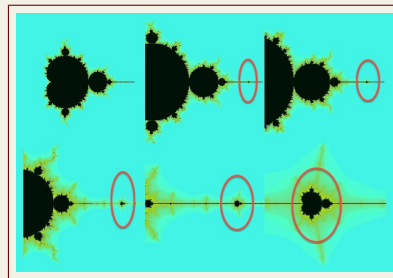
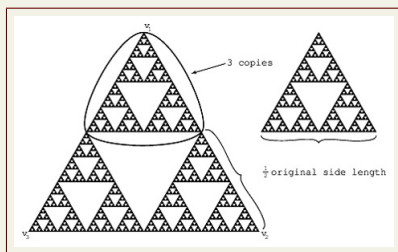
- il tutto complesso non è divisibile in parti più semplici
- in quanto qualche parte, o addirittura ogni parte, ha proprietà identiche, o comunque, di un grado di complessità confrontabile con quello del tutto

Per cui la suddivisione non comporta nessuna semplificazione.

È un po' quanto accade – 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.



O come avviene – in matematica – nelle strutture autosimilari, come i frattali.

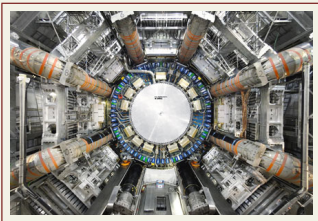


Con una formula schematica possiamo dire che, in questo caso, il tutto è contenuto nelle sue parti, e in un certo senso è replicato in tutte le sue parti.

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.

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 (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.



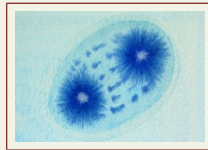
Ne offre un esempio la recente tendenza a collaborare della cosmologia con la fisica delle particelle elementari quando l'indagine si spinge verso i cosiddetti “primi istanti” dell'universo con i risultati sperimentali sul bosone di Higgs.



## Alcuni esempi tratti da diverse scienze

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

### La biologia



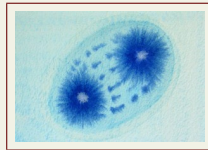
si trova da sempre di fronte al fatto che il vivente mostra delle proprietà che, anche dal punto di vista chimico-fisico, sono nuove rispetto a quelle del non vivente (accrescimento, riproduzione).

Il vivente, anche il più semplice, non è descrivibile interamente mediante l'analisi delle sue parti componenti.

## Alcuni esempi tratti da diverse scienze

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

### 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).

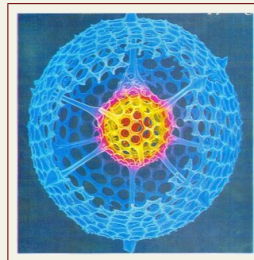
Il vivente, anche il più semplice, non è descrivibile interamente mediante l'analisi delle sue parti componenti.

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 punto) ma occorre un'indagine del nuovo livello d'insieme, dell'informazione che lo organizza come un nuovo tutto.

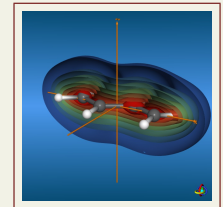


Lo studio approfondito della molecola, più o meno complessa, così come quello dei reticoli cristallini nei solidi e dei conduttori elettrici (per citare solo pochi esempi), hanno messo in evidenza come anche

### 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.

## 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. Ne parleremo perciò tra poco, trattando della matematica.
  - 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 si presentano come non separabili 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 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.

## Nell'ambito della matematica

il problema del tutto e delle parti si presenta con molta chiarezza sotto entrambi gli aspetti prima accennati.

## 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

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 di più soluzioni (parti)

---

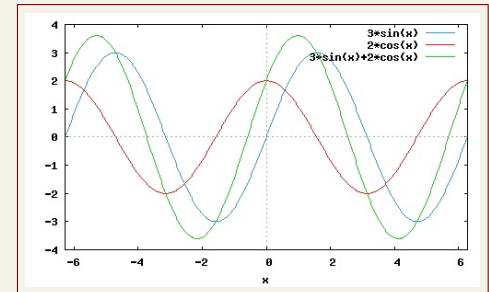
## Esempio: Oscillatore armonico semplice

$$\ddot{X} + \omega^2 X = 0 \quad (\text{Equazione differenziale})$$

$$X_1 = A_1 \cos \omega t \quad (\text{Soluzione 1})$$

$$X_2 = A_2 \sin \omega t \quad (\text{Soluzione 2})$$

$$X_1 + X_2 = A_1 \cos \omega t + A_2 \sin \omega t \quad (\text{Soluzione somma})$$



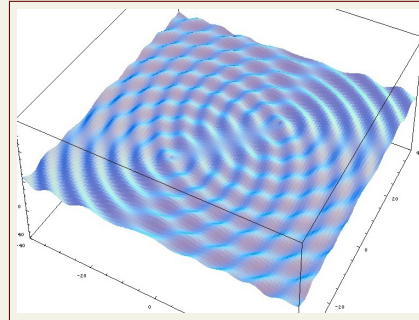
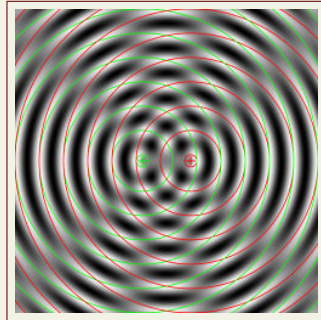


In fisica questa regola riduzionistica è conosciuta anche come

principio di sovrapposizione

Ben noto è l'esempio nel caso delle onde che interferiscono linearmente sommando algebricamente le loro elongazioni.

---



## 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.

$L(X)$ lineare	$N(X)$ non lineare
$L(X_1) = 0, \quad L(X_2) = 0$ $\Downarrow$ $L(X_1 + X_2) = 0$	$N(X_1) = 0, \quad N(X_2) = 0$ $\Downarrow$ $N(X_1 + X_2) \neq 0$
$L(X_1 + X_2) = L(X_1) + L(X_2)$	$N(X_1 + X_2) \neq N(X_1) + N(X_2)$

## 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.
- 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

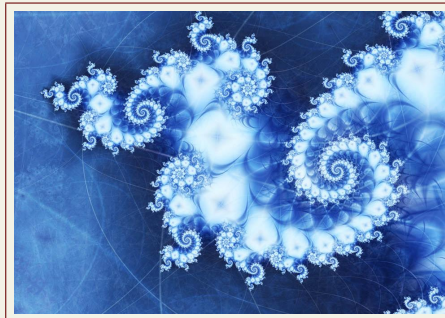
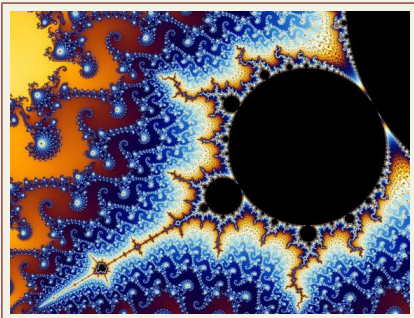
## Nell'ambito della matematica

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.



## Nell'ambito della matematica

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 autosimilari, cioè di riprodurre all'infinito, in ogni loro parte, 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.

## Nella logica-matematica (Autoreferenzialità)

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.

Questo discorso ha a che fare con la logica delle collezioni.

La collezione di tutte le collezioni è il tipico esempio di una collezione in cui una parte coincide con il tutto.

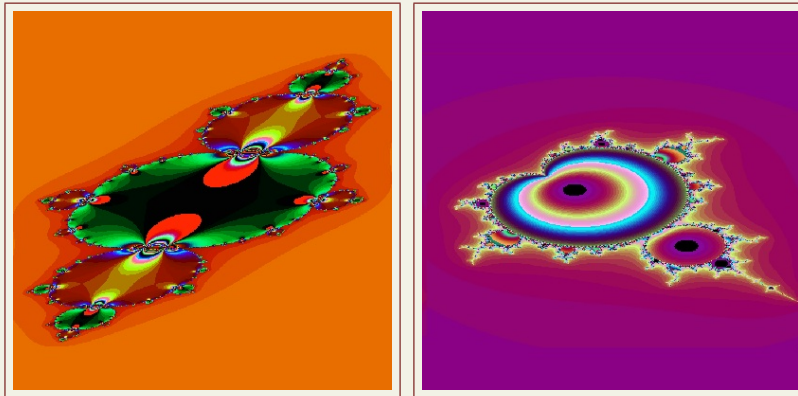
In un primo tempo la logica delle classi, sviluppata da Russell ha aggirato il problema escludendo dalla definizione di classe le collezioni che contengono se stesse come elemento, per evitare le tipiche contraddizioni che possono insorgere dalla loro considerazione.

È noto il paradosso di Russell che nasce quando si tenta di definire un oggetto come il catalogo dei cataloghi che non citano se stessi.

## 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 insieme come quelli di Julia e Mandelbrot, dal loro contorno, infinitamente tortuoso e rara bellezza.



## Le indagini sulla cosiddetta intelligenza artificiale

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 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.



Ricordando il nostro schema di esposizione

---

Oltre

- il riduzionismo strutturale
  - il riduzionismo causale
  - il riduzionismo concettuale/epistemologico
- 

possiamo dire di avere esaurito il primo punto.  
Passiamo, quindi, al secondo punto.

II - Oltre il riduzionismo causale nelle scienze ←

Questo chi chiede di dire qualcosa sui:

Mutamenti nell'approccio alla causalità nel contesto 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.

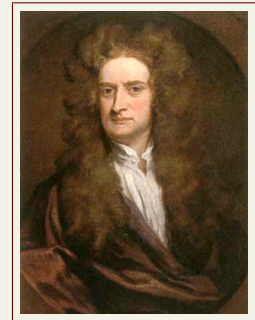
Il problema della causalità, a cominciare dalla fisica moderna, è stato comunemente inteso, sulla base di una sorta di **filosofia spontanea degli scienziati**,

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.

---

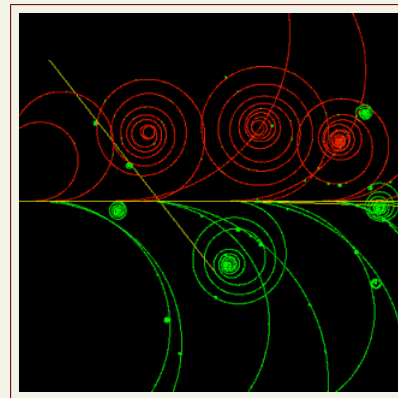
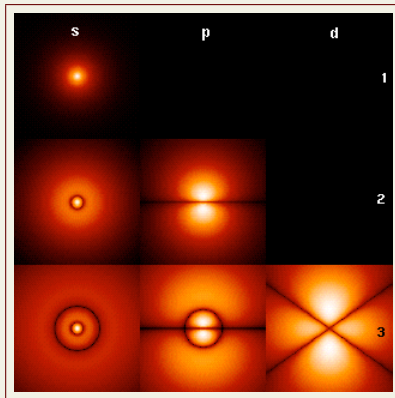
Ad esempio, nell'ambito della **meccanica newtoniana** la **forza** veniva interpretata come la **causa efficiente** dell' **accelerazione** di un corpo al quale essa è applicata.

$$\text{causa} \rightarrow \vec{F} = m \vec{a} \leftarrow \text{effetto}$$



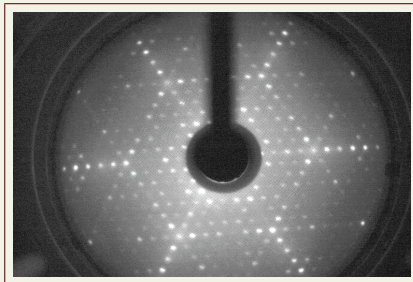
Questa visione, tuttavia, incomincia a dimostrarsi  
troppo restrittiva

— già con la **meccanica quantistica** (indeterminismo)



Questa visione, tuttavia, incomincia a dimostrarsi troppo restrittiva,

- già con la **meccanica quantistica** (**indeterminismo**),
- 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** non si accontentava di disporre di una di **causa delle accelerazioni** (variazioni degli stati del moto),

—> ma si domandava quale fosse la **causa dell'inerzia**,  
cioè dello “**spontaneo**” permanere dei corpi nel loro moto rettilineo  
e uniforme in assenza di **forza** (**moto senza causa?**).

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**.

## 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.

---

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.



## 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),
- e cause il cui effetto è del tutto **indeterminato** (ad utrumlibet), come la **volontà umana** che è libera.

## La causalità deterministica

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 nella fisica classica —

La causalità deterministica è tipica della fisica classica

— sia nella sua formulazione datane 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**).

— La causalità deterministica nella teoria della relatività —

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

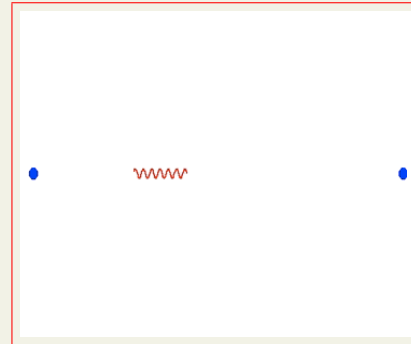
per cui si tende a riconoscere come

- 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  $L$ .

## — La meccanica quantistica —

### Tra determinismo e indeterminismo

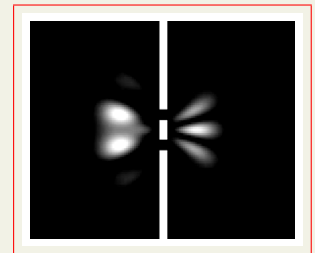
Diversa è la situazione per la meccanica quantistica nella quale  
– è deterministica la **matematica** dell'equazione di Schrödinger:

$$i \hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = H \psi,$$

che governa la funzione d'onda  $\psi$ ,

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

$$\text{densità di probabilità} = |\psi|^2$$



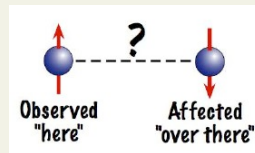
— **Violazione del principio di località in Meccanica quantistica** —

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).



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 a velocità  $c$  (la 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.



## — Verso la causalità formale —

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** che pone la questione di comprendere come si attui la

**cognizione umana universale astratta.**

**DOMANDA:** È sufficiente un approccio riduzionistico

- **materialista**

(mente riducibile al corpo e alle sue basi fisico-chimiche);

- o **funzionalista**

(mente come funzione emergente di un sistema biologico complesso)?

O si richiede l'ipotesi di una mente in grado di compiere delle funzioni **immateriali** che un sistema biologico, per quanto complesso, non è in grado di far emergere?

---

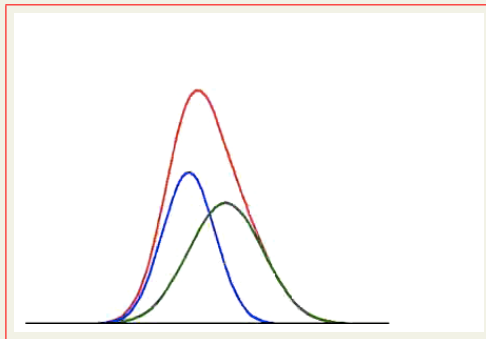
A questa questione Tommaso rispondeva con la teoria dell'astrazione della forma universale dalla materia corporea da parte di un' anima immateriale.



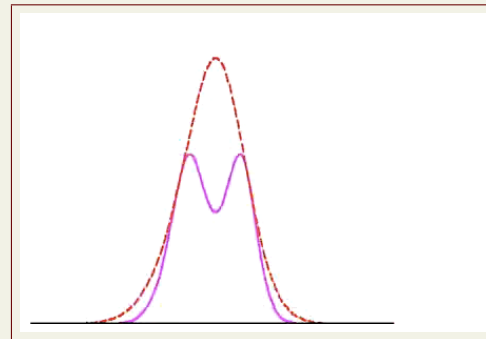
— Aspetti irriducibili della dinamica: predicibilità e impredicibilità —

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 descrivono l'evoluzione temporale del sistema complesso.



Linearità



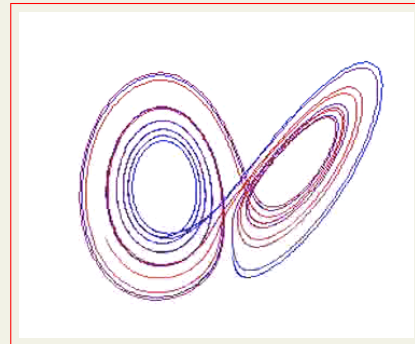
Non linearità

— Aspetti irriducibili della dinamica: predicibilità e impredicibilità —

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 descrivono l'evoluzione temporale del sistema complesso.

Ma insieme alla non linearità compare, in certe condizioni, anche il problema della **impredicibilità** degli eventi futuri, su base fisico-matematica.



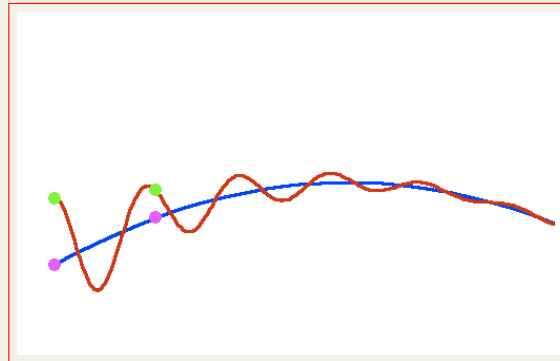
Caoticità

## La predicibilità (stabilità)

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.



## L'impredicibilità (instabilità, caoticità)



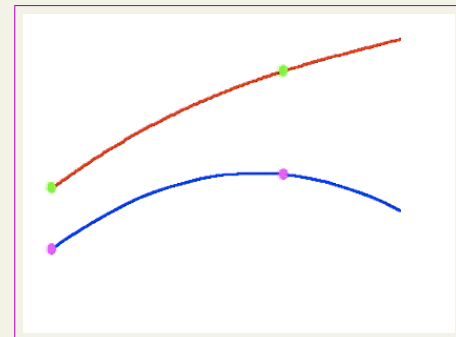
Ma, come ebbe a scoprire Poincaré (1890):

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'impredicibilità non indica una mancanza di causalità, ma per noi l'impossibilità

- teorica (matematica)
- e pratica (sperimentale)

di dominarla conoscitivamente.



## La causalità indeterministica

L'indeterminismo, al contrario, 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.



Nel 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:

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

### III - Oltre il riduzionismo concettuale nelle scienze

Ordine e gerarchie di livelli concettualmente irriducibili

Da un certo momento in poi:

- con la messa in discussione del metodo riduzionista;
- lo studio dei sistemi dinamici non lineari dissipativi;
- 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.

La relazione d'ordine introduce, con la dipendenza

– una priorità di un ente (causa)

causa < effetto

– rispetto ad un altro ente (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.

---

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**.
- 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 per i **logici**  
per i quali ad essere rilevante **non è il tempo**, quanto lo è la **consequenzialità**, quel nesso di implicazione per cui le premesse causano (originano) formalmente la conclusione;
- o per i **matematici**  
per i quali l'ordinamento è dovuto a **relazioni d'ordine** (come quella di “maggiore” o “minore” tra numeri, che sono **atemporali**).

L'aspetto non temporale della **causalità formale**  
fa la sua comparsa nel **mondo fisico, chimico e biologico**  
con l'analisi della considerazione:

- del **tutto** nella sua **struttura d'insieme**
- 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 **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**.

## 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 sia nella **formulazione matematica** delle **leggi di natura**
  - ad esempio con i **principi variazionali**
  - e in una certa formulazione delle **leggi della termodinamica**;
- che nella **struttura** e nella **dinamica** della materia che è capace
  - di organizzarsi al **fine**
  - di compiere operazioni con uno **scopo**:  
nutrizione, riproduzione, locomozione, apprendimento, ecc.

— La finalità a livello temporale come destino —

Il livello più elementare della finalità, in senso temporale, appare come rovesciamento del problema dell'origine.

- La dinamica dei sistemi consente sempre di assegnare le condizioni finali del moto in luogo di quelle iniziali, ricostruendo queste ultime dalle prime (problema balistico).

Inoltre ci sono situazioni in cui certe condizioni finali (attrattori) vengono raggiunte a partire da qualunque condizione iniziale si parta entro una certa regione dello spazio degli stati del sistema.

- Nella considerazione dell'universo fisico nella sua totalità il problema delle origini viene capovolto nel problema del destino dell'universo nel tempo.

Una questione che riguarda la cosmologia altrettanto quanto quello dei primi istanti dell'universo.

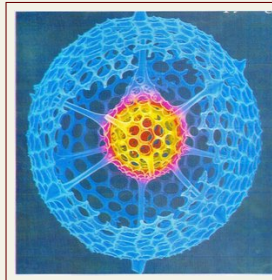
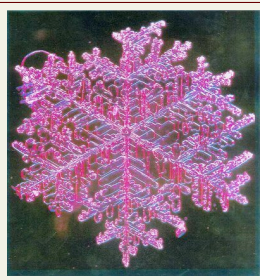
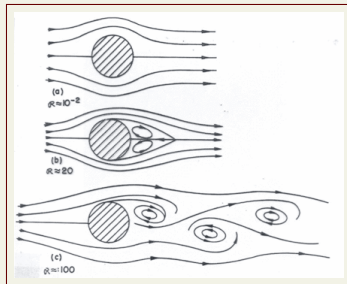


## Il problema dell'organizzazione

— 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 aprirsi al concetto aristotelico-tomista di **analogia**.

Questi livelli differenziati e irriducibili secondo i quali si organizza  
(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 (**logica matematica**)
- e non ancora a proposito della causa dell'essere reale (**metafisica**).

E già sul versante della logica-matematica si possono fare delle riflessioni assai interessanti . . .

Ad esempio: su come effettuare il passaggio dalla teoria degli insiemi alla teoria degli enti (ontologia formale)

## In conclusione

- In tutte le scienze, dunque, sembra comparire una struttura gerarchizzata di informazioni legate al grado di complessità e quindi di unitarietà della struttura chiamata in causa.
- Nell'ambito della filosofia aristotelico-tomista, il principio unitario di un ente è la forma. 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 più soddisfacente.
- 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.
- Si sta aprendo, come già nell'antichità, un passaggio dalle scienze della natura e logico-matematiche ad una scienza dei loro fondamenti logici e ontologici.