Convegno di studi su

IMPLICAZIONI ONTOLOGICHE DEI SAPERI SCIENTIFICI

Questioni e prospettive nel dialogo tra scienze e teologia

23–25 Gennaio 2003 - Pontificia Università Lateranense, P. za S. Giovanni in Laterano, 4

00120 Città del Vaticano

Tracce di Ontologia Aristotelica

nella Fisica degli Ultimi Decenni

Alberto Strumia

Dipartimento di Matematica – Università di Bari – I

UNA CONSIDERAZIONE INRODUTTIVA

Il cammino autentico della nostra conoscenza della natura — uomo compreso — sembra essere segnato, nel corso della storia, almeno da **due fattori** caratterizzanti indispensabili:

— il rispetto dell'**ESPERIENZA** in tutti i suoi elementi;

— l'impiego di un "**LINGUAGGIO**" *adeguato* a descriverla e a formularne una spiegazione.

Ogni qual volta almeno uno di questi due fattori

— per qualunque ragione: errore involontario, scelta ideologica, miope utilitarismo, ecc. —

viene trascurato, quando non rifiutato, il pensiero sembra, alla fine del suo impegno elaborativo, aver perso tempo, essersi distorto, aver prodotto risultati fuorvianti.

Quando, invece, si è compiuto uno sforzo per rimanere aderenti alla realtà (*adaequatio*) e per mettere a punto un linguaggio, con la strumentazione logica sottostante, capace di includere, senza contraddizioni, un ulteriore "dato" che era stato

— in precedenza non adeguatamente compreso

— o trascurato in prima approssimazione

si è potuti giungere ad una **dilatazione *scientifica* del sapere.**

Anche approcci che, in un primo momento, appaiono tra loro distanti, quando riescono ad essere fedeli a questi due principi metodologici, un po' alla volta, si trovano a convergere verso le medesime conquiste conoscitive.

Sembra possa essere una convergenza di questo tipo quella alla quale assistiamo, da qualche decennio

— tra il pensiero scientifico oggi in profondo mutamento quanto ai suoi *fondamenti*, nell'intento di ricomprendere e spiegare, al suo interno, i nuovi "dati" emergenti nelle più diverse discipline, e

— il pensiero metafisico antico di origine *aristotelica* e sviluppo *tomista*.

Si tratta, ora

— da un lato di mettere in *contatto comunicativo* questi due filoni di pensiero;
— da un altro di elaborare un *linguaggio adeguato* attraverso il quale possano comunicare;

in modo da rendere possibile la riappropriazione, in termini *oggi scientificamente riconoscibili*, delle conquiste di allora e la dilatazione delle nostre scienze naturali verso una vera e propria

ontologia scientifica.

Ciò che si presenta come

— una necessità epistemologica per le *scienze*,

dovrebbe poter giungere ad essere anche

— un beneficio per la *filosofia* e di conseguenza per la *teologia*.

Dal punto di vista della storia del pensiero la situazione odierna ricorda, in una certa misura, quella che si ebbe nel mondo greco con

il passaggio dalla

— scienza (filosofia) *fisica* (Ionici) e *matematica* (Pitagorici) alla

— scienza (filosofia) *metafisica* (Parmenide, Platone e Aristotele) che affrontò per la prima volta il

problema dei fondamenti

UNO SGUARDO D'INSIEME

Questa necessariamente sintetica riflessione si svolgerà

— iniziando con un "minimo accenno" alle caratteristiche di questo **linguaggio**

— per poi "toccare" attraverso uno "***schema***" alcune questioni che si ripresentano alle scienze odierne come vere **problematiche scientifico-ontologiche**

con l'individuazione di quei *filoni* di "**questioni**" (le "*quaestiones*" di oggi) di interesse scientifico che riguardano *trasversalmente* diverse scienze

- a cominciare dalla ***fisica***
- ma anche dalla ***chimica***
- fino alla ***biologia***
- alle ***scienze cognitive***
- ecc…

Non disponendo ancora di un linguaggio adeguato, la formulazione di tali problematiche si mantiene qui necessariamente a livello descrittivo.

UN LINGUAGGIO PER LE SCIENZE E PER L'ONTOLOGIA

Che caratteristiche elementari deve avere questo linguaggio di un'ontologia scientifica, per essere **soddisfacente scientificamente?**

Da quando le scienze hanno compiuto grandi progressi in seguito all'utilizzo del linguaggio simbolizzato, formalizzato della matematica, della logica (ma anche della chimica…) questo linguaggio non potrà che essere:

— **formalizzato** e quindi *simbolico* **come** quello oggi in uso nella **matematica**;

— **aperto**, cioè utilizzato in modo da costituire un sistema logico *aperto* (e non *assiomatizzato, chiuso*) **diversamente** da quello oggi in uso nella **matematica**, in modo da essere in grado di *apprendere,* "adattandosi" al suo oggetto e non pretendere di contenere già tutto il sapere implicitamente nei suoi principi (assiomi);

— **analogico**, e non forzatamente univoco come il linguaggio logico-matematico odierno, ma in grado di includere anche quella grande conquista del pensiero aristotelico-tomista che è l'***analogia entis***.

Schema delle problematiche

A - Il problema della *materia*

B - Il problema dello *spazio* e del *tempo*

C - Il problema della *causalità*

A - Il problema della *materia*

Il problema della materia è stato visto, fino a qualche decennio fa,
in ambito scientifico, seguendo un'impostazione *riduzionistica*, come

— problema dei suoi *costituenti elementari*.

In tempi più recenti, con una conseguente crisi dell'approccio riduzionistico come unico metodo scientifico, sono emersi altri due aspetti che non si possono eludere:

— quello della *struttura d'insieme* della materia e

— quello della sua *dinamica d'insieme*.

Questi tre aspetti stanno ormai

- *convergendo* verso una visione unitaria più vicina all'approccio aristotelico alla materia (*organico, dinamico*)

- e *allontanandosi* da quello "platonico-cartesiano-newtoniano" (*geometrico, statico*).

— **I *costituenti* della materia**

(approccio **locale** o **riduzionistico**: dalle *parti* al *tutto*)

ai diversi livelli di scala

- ***macroscopica*: ambiente -> pianeta -> sistema solare -> galassia -> universo**

- ***microscopica*: cellule -> molecole -> atomi -> particelle -> quark**

— **La *struttura d'insieme* della materia**

(approccio **globale** o **olistico**: le relazioni tra le *parti* nel *tutto* e col *tutto*)

— **La sua *dinamica d'insieme* per quanto riguarda**

- **il *mutamento* delle sue parti in rapporto all'ambiente** (scambio)

- **il *permanere* di alcuni dei suoi caratteri come un "tutto"** (invarianze)

A.1. I costituenti (approccio locale o riduzionistico: dalle parti al tutto)

L'**approccio riduzionistico** alla materia è caratterizzato da ***due presupposti***:

— quello secondo cui ***la conoscenza del "tutto" è riconducibile alla conoscenza delle "parti"*** che lo costituiscono

— quello secondo cui ***le "parti e il tutto"*** e ***le "parti tra loro"*** sono **OMOGENEI**, cioè della stessa ***natura***

— ***Il primo presupposto*** è stato ormai ***rimesso in discussione*** nelle diverse discipline (fisiche, chimiche, biologiche, ecc.) con il cosiddetto approccio alla **complessità** per cui si ammette che ***il "tutto" contiene più informazione delle "parti"*** (sia prese separatamente che collettivamente), a causa di un ***principio irriducibile*** (–> **forma**) che lo unifica e lo qualifica come "tutto".

— ***Il secondo presupposto*** non sembra essere stato ancora messo in evidenza agli occhi degli scienziati, ma sta affiorando soprattutto al livello del loro linguaggio logico-matematico (a cominciare dalla *teoria dei "tipi"* che avverte la necessità di superarlo riconoscendo la necessità di

diversificare i "*modi di essere* logici"

secondo i quali si può attuare un *insieme* o un'*enunciazione*).Va osservato come il linguaggio matematico odierno abbia la possibilità di avvicinarsi a questa prospettiva che ancora le scienze fisiche non hanno raggiunto. Successivamente anche le scienze fisiche che lo utilizzano potranno avvantaggiarsene.

Qualche osservazione in merito

• C'è da chiedersi se la CRISI DEGLI *IRRAZIONALI*, che bloccò il pitagorismo, non si possa paragonare all'odierna CRISI DEI FONDAMENTI DELLA MATEMATICA culminata con i *teoremi di Gödel* e se la soluzione di questa, in alternativa ad un blocco teoretico dell'intero impianto matematico, non sarà necessariamente nella direzione dell'ontologia, e di un'ontologia formalizzata.

• Il modo di procedere della fisica, alla ricerca dei "mattoni" elementari di cui è fatto l'universo era presente già in quella antica degli *Ionici* prima, e nell'atomismo di Democrito poi. Come

— oggi i fisici ritengono che i *quark* siano i componenti fondamentali,

— così gli antichi indagatori del mondo fisico pensarono, più semplicemente, prima alla *terra*, all'*acqua*, all'*aria* e al *fuoco* (i "quattro elementi"), poi agli *atomi*.

Per quanto oggi questa descrizione suoni ingenua e, comunque troppo "qualitativa", essa non differisce, nella sostanza, dal punto di vista filosofico e metodologico, dal nostro modo di procedere attuale. Infatti, allora come oggi, si ricercavano degli elementi costitutivi che fossero OMOGENEI rispetto a ciò che si doveva descrivere e spiegare.

• Nell'approccio ontologico la ricerca si sposta dai costituenti ("mattoni") dell'universo, ai "princìpi" che ne spiegano l'esistenza, la struttura e il mutamento. Questi princìpi non sono riconducibili a dei componenti corporei, e quindi osservabili, ma sono di natura diversa da quella dei corpi. Eppure vanno ipotizzati per ragioni di ordine logico per poter spiegare il comportamento osservabile dei corpi. Anzi alcuni di essi si presentano come irrinunciabili, in quanto, provando a prescinderne si giunge a delle contraddizioni (si pensi a certi paradossi della logica, della matematica e della fisica recente).

La logica delle scienze tende verso una *teoria dell'*ANALOGIA, formulata nel suo linguaggio.

A.1.1. I costituenti della materia *su scala macroscopica*

Su scala macroscopica ascendente i problemi inerenti la *materia* prendono in considerazione gli elementi costitutivi su grande scala (fino al "tutto" materiale) che sono, ad esempio

— l'ambiente
— il pianeta Terra
— il sistema solare
— la galassia
— l'universo

Oggi, ormai — e anche questo è una traccia di nuovo *aristotelismo* — non si considera più l'universo come una macchina deterministica (come la concepiva un Laplace), ma come

— un complesso di sistemi *dinamici non lineari* in cui compaiono instabilità, non predicibilità e caoticità (*punto di vista meccanico*)

— un complesso di sistemi *aperti dissipativi* capaci di processi *irreversibili* che scambiando energia e informazione con l'ambiente in cui si trovano sono in grado di organizzarsi (*punto di vista termodinamico*)

— un complesso di sistemi *autoreplicantisi* capaci di accrescersi, replicarsi ed evolversi secondo un progetto finalizzato (*punto di vista biologico*)

A.1.2. I costituenti della materia su scala microscopica

L'analisi su scala microscopica discendente vede i costituenti a livelli sempre più elementari, come

— cellule
— molecole
— atomi
— nuclei
— particelle elementari
— quark

Anche se a mano a mano che si scende lungo la scala i componenti sembrano possedere, un grado sempre minore di *organizzazione* e *complessità*, tuttavia i componenti più elementari paiono essere condizionati da una loro *interdipendenza* sempre più stretta che li rende, ultimamente

inseparabili e quindi non osservabili isolatamente (come nel caso dei quarks).

Tuttavia la fisica *non* è ancora arrivata a ipotizzare dei componenti che non siano osservabili perché sono di altra natura rispetto a quella della materia osservabile, come i *co-principi* aristotelici.

A.2. La struttura d'insieme (verso un approccio *globale* o olistico)

Complementare alla ricerca riduzionistica dei componenti è lo studio della *struttura d'insieme* della materia, secondo le *relazioni* tra le sue "parti" e tra le "parti" e un "tutto" complesso in quanto sono

— **collocate nello spazio-tempo** (approccio geometrico -> statico)

— in **mutua interazione** (approccio fisico -> dinamico)

L'approccio geometrico alla fisica

— ha origini **pitagoriche** e **platoniche**

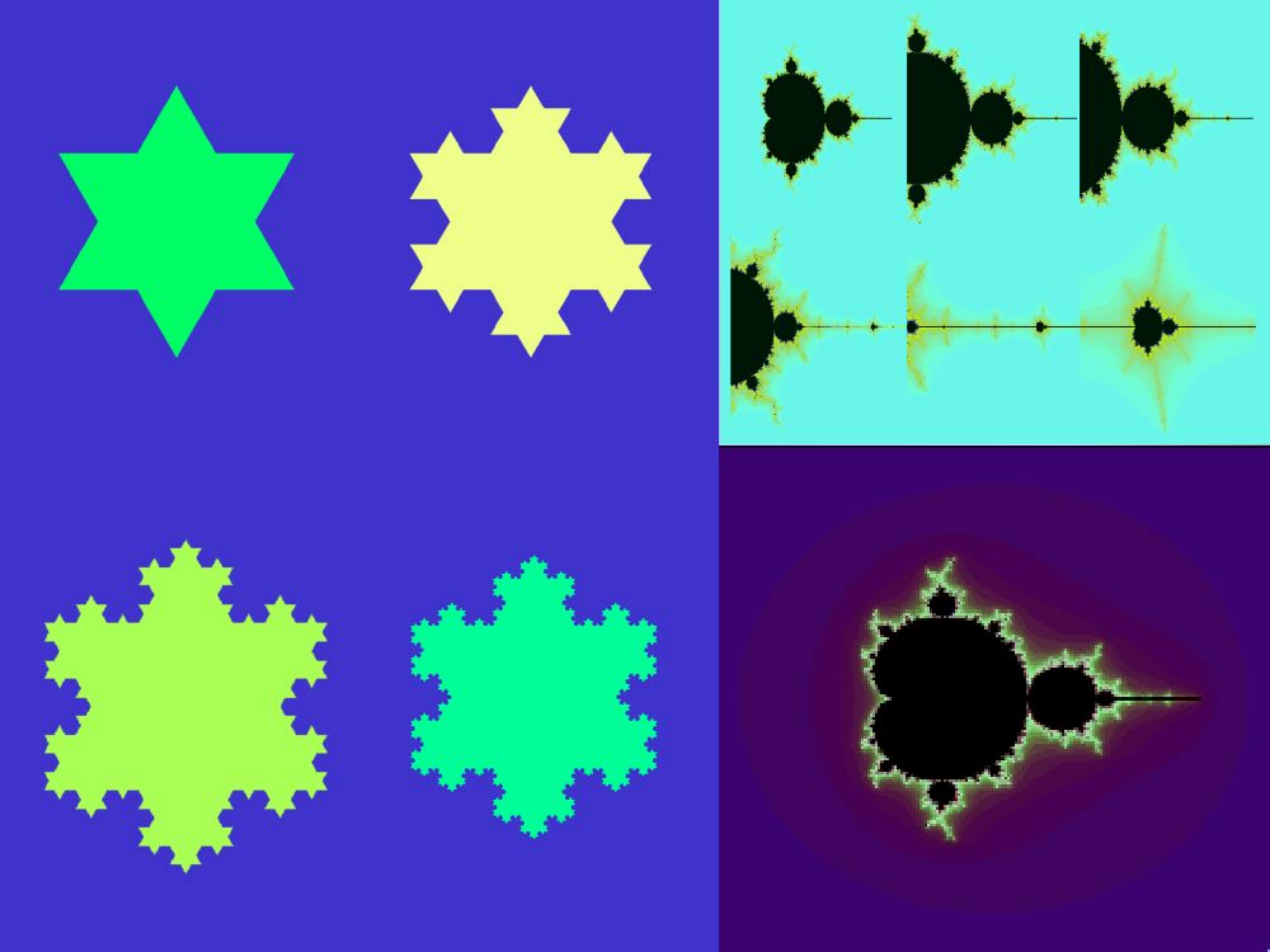
— e si ritrova modernamente in

- **Galileo** la cui matematica è prevalentemente geometria
- nell'impostazione filosofica **Cartesio** e di **Spinoza**
- e più vicino a noi nella relatività di **Einstein**

L'approccio dinamico

— ha origini **arisototeliche**

— **oggi** si ripresenta nella dinamica dei **sistemi aperti** (termodinamici, biologici)



A.2.1. Le parti della materia collocate nello spazio-tempo
(approccio geometrico-statico)

Un modo secondo cui le "parti" sono distinte e distinguibili consiste nella loro *mutua collocazione*

— oggi diremmo *nelle loro relazioni* "**topologiche**"

- sia in senso spaziale
- che temporale

— anticamente avremmo detto *secondo la* "**quantità**"

Quantità aristotelica e topologia (analysis situs)

La nozione aristotelica di *quantità* non si riduce pitagoricamente

— al *numero* in senso aritmetico

— e/o al *punto* geometrico

ma in quanto *accidente* il cui effetto è quello di

porre le "parti" al di fuori di altre "parti"

secondo un certo *situs*, è piuttosto una nozione *topologica*, che stabilisce delle relazioni mutue di *esterno/interno*, di *aperto/chiuso*.

La relatività di Einstein

L'idea della rappresentazione del tempo come *quarta coordinata dello spazio-tempo* delle teorie della relatività, sia ristretta che generale, si colloca in questa prospettiva che tende a *ridurre la fisica a geometria*.

Secondo questo approccio le forze (quelle gravitazionali nella relatività generale; e anche quelle elettromagnetiche nella teoria dei campi unificati)

si dissolvono nella curvatura dello spazio-tempo.

Tuttavia si tratta pur sempre di

— una *geometria fisica*, e quindi ultimamente

— inseparabile da una *dinamica*

in cui il tempo tende a riemergere con la sua diversità rispetto allo spazio.

Se Einstein aveva ammirato quella geometrizzazione statica che lo avvicinava alla visione di Cartesio e di Spinoza, tuttavia sarà proprio

— la *cosmologia* costruita a partire dalla relatività generale, a evidenziare la

— *dinamicità* dell'universo stesso, che si manifesta almeno attraverso la sua espansione.

A2.2. Le parti della materia in interazione (approccio fisico-dinamico)

Progressivamente l'approccio geometrico si è fortemente *fisicizzato*.

— La geometria non è più una descrizione

- **dello *spazio***
- **e una modellizzazione del *tempo***

come contenitori vuoti (alla Newton) e inerti nei quali la materia si colloca passivamente

— ma è divenuta la geometria del campo di forze, un "veicolo" carico

- **di *energia* di *interazione* tra le "parti" della materia**
- **e di *informazione***

Si affaccia

— accanto al *principio "materia"* anche un secondo principio costitutivo osservabile

— la "*radiazione*", che è IRRIDUCIBILE alla materia

E' il primo segnale di crisi del *riduzionismo* in quanto

— meccanicista e

— materialista

Materia e radiazione

Nasce allora il problema di comprendere

— che cosa hanno in comune
— e in che cosa si distinguono

la *materia* e la *radiazione*.

ALCUNI MUTAMENTI DI CONCEZIONE

— **L'interpretazione meccanicista** - **Confusioni tra "sostanza" e "accidente"**

— **Sostanzializzazione dell'energia** - **L'energia è *sostanza* o *accidente* ?**

— **Sostanzializzazione della massa** - **La massa è la *materia* (*sostanza materiale*) ?**

— **La relatività ristretta** - **Equivalenza tra *massa* ed *energia*** ($E = m\ c^2$)

— **La meccanica quantistica** - **"Materia" *compenetrabile* e *impenetrabile***

(principio di Pauli)

Le strutture complesse - La "forma"

Sui versanti della

- **fisica**
- **chimica**
- **biologia**
- **ecc.**

si incominciano a scoprire delle strutture "complesse" nelle quali emerge un principio

- **unificante (le "parti" sono inseparabili dal "tutto" senza alterarlo-alterarsi)**
- **ordinatore delle "parti" nel "tutto" secondo**
  - **una struttura gerarchizzata in *livelli* differenziati**
  - **capace di svolgere delle *operazioni* finalizzate**

Comincia a comparire, soprattutto in biologia, l'idea che questo principio unificante riproponga, in certo modo

la nozione *aristotelica* di FORMA

L'interpretazione meccanicista

Nella fisica classica si assiste, da un punto di vista dell'interpretazione filosofica, ad una confusione molto frequente tra

— "sostanza"

— e "accidente"

cioè tra gli "oggetti" fisici e loro "proprietà".

Dal punto di vista filosofico

— la materia è "sostanza" in quanto capace di sussistere per se stessa

— La massa e l'energia, invece

- **non sono delle "*cose*"**
- **ma "*proprietà*" della materia, vale a dire "accidenti".**

Sostanzializzazione del concetto di energia

Con l'apparire del concetto di campo
e la sua interpretazione come qualcosa di reale (*fisico*) e non solo matematico

nella fisica classica, c'è stata la

tendenza ad identificare

— il campo elettromagnetico (la radiazione)

— con la sua energia

trattando quest'ultima come se essa fosse il campo stesso, cioè fosse

- **una sostanza e non**
- **una semplice proprietà (*accidente*) del campo.**

Può essere anche legittimo, se si vuole, chiamare la radiazione con la denominazione di "energia elettromagnetica", ma bisogna fare attenzione a chiarire quando, con il termine "energia", si intende designare l'energia in quanto "proprietà posseduta dal campo", oppure il "campo stesso".

Sostanzializzazione del concetto di massa

Nell'interpretazione filosofica della fisica classica, prima ancora della

— **sostanzializzazione del concetto di energia vi era stata, vi era stata la**

— **sostanzializzazione del concetto di massa**

che spesso veniva intesa come sinonimo di "quantità di materia".

La quantità è ciò che vi è di *misurabile* nella sostanza, è l'osservabile per eccellenza ed è facile identificarla con l'oggetto, con la sostanza stessa.

In questo modo abbiamo

- **la *massa-materia*, da una parte, e**
- **l'*energia-radiazione* dall'altra.**

L'energia viene ad avere un *doppio ruolo*:

— di "accidente" in quanto *energia cinetica* di cui sono dotate le masse materiali

— e di "sostanza" quando si trova sotto forma di *radiazione*.

La massa, viceversa, esiste solo sotto forma di *materia* in quanto la radiazione ne è priva.

La Relatività ristretta

Con l'**equivalenza** tra **massa** ed **energia**

$$E = m\,c^2$$

si ristabilisce la *simmetria*
tra **materia** e **radiazione**:

— non solo la **materia** è dotata di un'**energia**

— ma anche la **radiazione** è dotata di **massa**

e questa si manifesta attraverso proprietà inerziali e gravitazionali
(si pensi alla deflessione dei raggi luminosi in un campo gravitazionale).

E' improprio parlare di

trasformazione di materia in energia e viceversa

nei processi nucleari.

Se si intende, con questo, che

— una "sostanza" (una frazione o tutta la "materia" di alcune particelle) si è convertita in
— un "accidente" (una certa quantità di "energia")

si fa un uso scorretto dei termini.

È corretto, invece, affermare che vi è stata una mutazione in cui alcune particelle hanno ceduto una frazione o tutta la loro "massa a riposo" ai prodotti di reazione (altre particelle e/o campi) che si è trasformata in energia cinetica ed energia elettromagnetica.

Gli equivoci sono ingenerati da un duplice errore di concezione:

— il *primo* consiste nel concepire il campo elettromagnetico come qualcosa che *non è* "sostanza materiale"

— il *secondo* consiste nell'attribuire un carattere "sostanziale" all'energia, in luogo della sostanzialità rimossa dal campo.

Meccanica quantistica (*teoria quantistica dei campi*)

La meccanica quantistica tende a comporre l'*unità* di materia e radiazione, in un complesso di onde-particelle in cui la loro *distinzione si assottiglia drasticamente.*

Materia e radiazione (nel senso lato di campo di interazione) costituiscono

due "modi di attuarsi" (due "specie") di un'unica realtà dotata di massa-energia ("genere")

— Dal punto di vista filosofico sembrerebbe naturale chiamare questo

unico "genere" con il nome di "materia"

che può attuarsi nelle due specie che obbediscono alle due *statistiche quantiche*:

- **i "*fermioni*" che rappresentano la materia "impenetrabile" (*Principio di Pauli*)**
- **i "*bosoni*" che costituiscono il campo d'interazione, "penetrabile" come la radiazione.**

— Dal punto di vista della fisica è più usuale denotare

questo "genere" come "campo"

che si attua nelle due "specie" dei "campi fermionici" e dei "campi bosonici"

A.3. La dinamica d'insieme

Il passaggio da una *fisica geometrica* verso una *fisica dinamica* vera e propria emerge, decisamente con la scoperta della

instabilità dinamica dei sistemi non lineari

***fortemente sensibili alle condizioni iniziali* (Poincaré, 1890)**

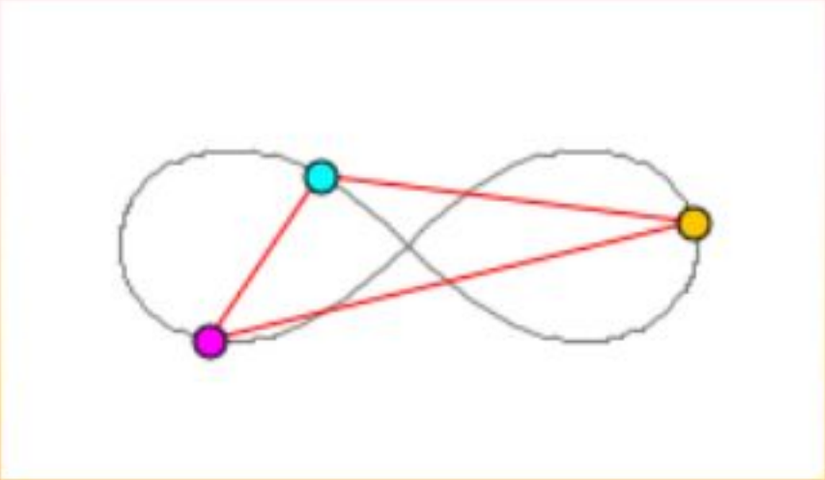
Nelle scienze della *dinamica* di un "sistema" sono presenti due aspetti fondamentali

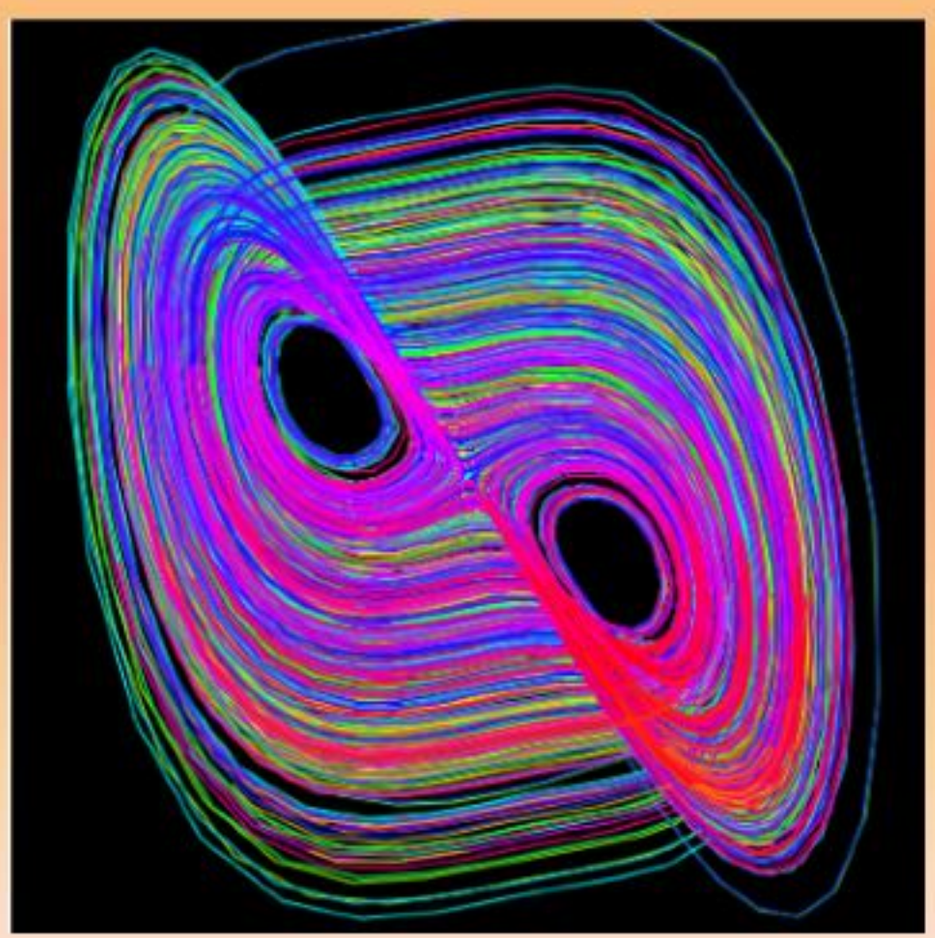
— il mutamento delle sue "parti" in rapporto all'ambiente con

- **scambio di energia e informazione**
- **accrescimento**
- **autoreplicazione**
- **evoluzione**

— il permanere di alcuni dei suoi caratteri come un "tutto"

- **leggi di conservazione**
- **invarianze-simmetrie**
- **forma**





Schema delle problematiche

A - Il problema della *materia*

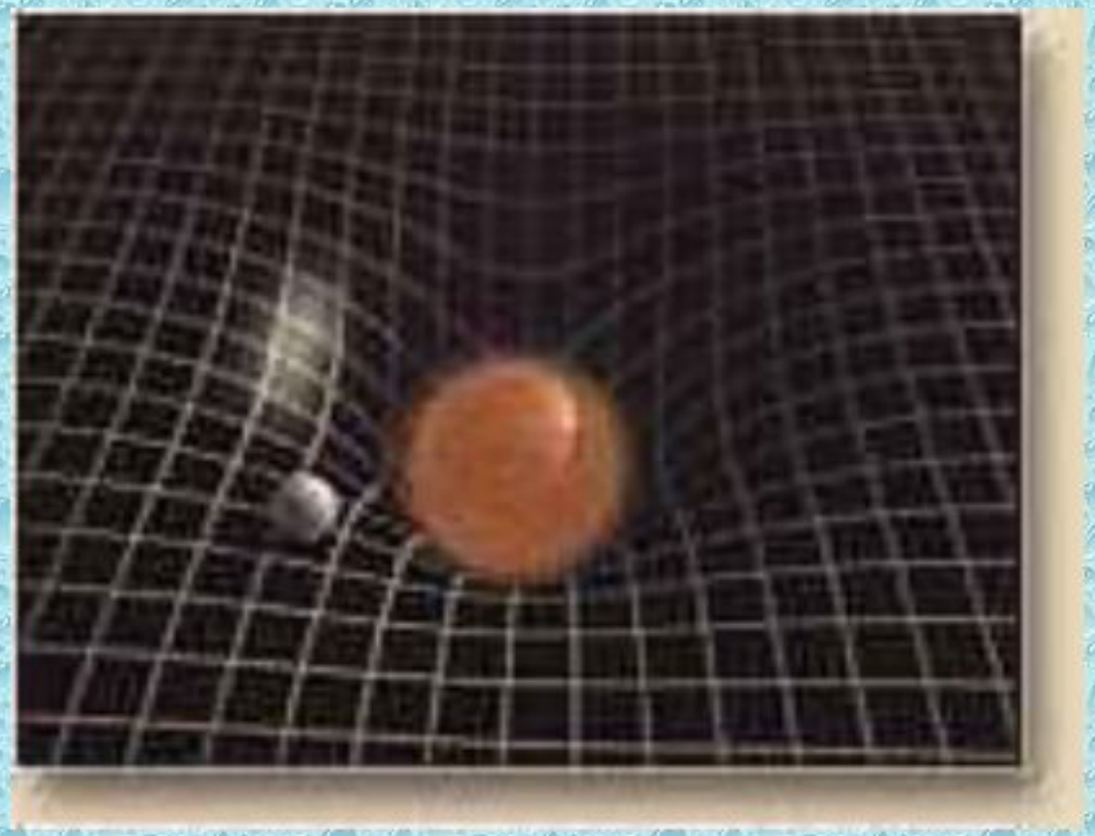
B - Il problema dello *spazio* e del *tempo*

C - Il problema della *causalità*

B - Il problema dello *spazio* e del *tempo*

della loro

- **Autonomia o dipendenza**
  - **dal moto e**
  - **dalla materia che li "riempie-costituisce"**
    - **e quindi il problema del vuoto**
- **Freccia del tempo - diversificazione del tempo dallo spazio**



B.1. Dipendenza dello spazio e del tempo dal moto e dalla materia

La concezione newtoniana

- **dello spazio e del tempo *assoluti*, preesistenti come contenitori "vuoti"**
- **svincolati dalla *materia* in essi "ospitata" e**
- **dal *moto* di questa materia**

è superata dalla concezione einsteiniana

— La *relatività ristretta* fa dipendere le misure dello spazio e del tempo dal moto, e in questo si riavvicina almeno alla concezione aristotelica del tempo come *numero del moto secondo un "prius et posterius"*

— la *relatività generale* fa dipendere le proprietà metriche dello spazio e del tempo dalla distribuzione della "materia" (sia dei corpi che dei campi)

Sono i "corpi" che "*fanno" lo spazio*, che *creano le distanze* (la *metrica*), fanno sì che i moti celesti seguano come "naturali" le loro traiettorie curve (*geodetiche*) senza bisogno di forze (azioni "violente"), ma seguendo la intrinseca ("naturale") curvatura dello spazio-tempo.

Questa concezione è certamente molto più vicina a quella aristotelica di quella newtoniana (A. Koyré).

Il vuoto

Per la meccanica newtonaina

il "**vuoto**" è

— una **regione dello spazio** in cui è **assente la materia** (**vuoto di materia**)

dove non sono presenti atomi e particelle c'è il vuoto.

— lo **spazio, come pura estensione vuota** e non, dunque, il nulla.

Lo spazio acquista una sua identità, diviene una sorta di "sostanza", che può esistere anche senza la presenza di materia, anzi ne è il contenitore, in qualche modo preesistente. È la concezione newtoniana dello **spazio assoluto**.

L'elettromagnetismo

riempie questo spazio vuoto con l'etere

che fa da supporto al campo elettromagnetico e veicola l'energia elettromagnetica della radiazione.

Il vuoto è, allora, un "**vuoto di materia**", ma **non un vuoto assoluto, né puro spazio esteso**, in quanto **è riempito dall'etere**.

La relatività ristretta

— **elimina**

- **sia l'etere**
- **che lo spazio assoluto di Newton**

— **Il vuoto è**

- **un "vuoto di materia"**
- **ma non di "radiazione"**

È in qualche modo il campo stesso, che non è mai rigorosamente nullo, a causa della presenza dei corpi, tra i quali il vuoto si estende, e che si scambiano continuamente le loro mutue interazioni.

La relatività generale

— **identifica** (sostituisce) **il campo gravitazionale** con la **geometria dello spazio-tempo che dipende dalla presenza della materia e dei campi.**

— **Il vuoto è "vuoto di materia" dove con "materia" si intendono**

- **sia i corpi**
- **che i campi non gravitazionali**

— **Il vuoto è allora il campo gravitazionale libero descritto come spazio-tempo riemanniano.**

L'elettrodinamica quantistica

e la teoria quantistica dei campi

— **"riempiono"** ulteriormente il **vuoto**

in quanto lo concepiscono come

- un'**entità** nella quale sono "***virtualmente***" presenti

  ◊ **coppie di particelle e antiparticelle**

  ◊ **che possono essere portate allo stato *osservabile* (reale)**

  a spese di un'opportuna quantità di energia

— Il vuoto così inteso non è certo il nulla, ma "vuoto di materia osservabile".

Qualcuno ha voluto riconoscere nel "vuoto quantistico"

— la "**materia prima**" di Aristotele, o forse

— la **materia "segnata" dalla quantità** (**"*signata quantitate*"**)

B.2. La "freccia del tempo*": la diversificazione del tempo dallo spazio*

In che cosa si diversificano lo spazio e il tempo?

-> Le leggi fondamentali della fisica sono reversibili rispetto all'orientamento del tempo verso il futuro o verso il passato.

-> La *freccia del tempo* è stata spiegata come una conseguenza dell'irreversibilità termodinamica di alcuni processi

— una fisica di tipo *geometrico* non sembra proprio possa renderne conto al contrario di

— una fisica di tipo *dinamico*, una fisica dei *processi irreversibili* più vicina alla biologia, in qualche modo, che alla pura meccanica.

Anche questo rappresenta un elemento più aristotelico che platonico.

Schema delle problematiche

A - Il problema della *materia*

B - Il problema dello *spazio* e del *tempo*

C - Il problema della *causalità*

C - Il problema della *causalità*

Il problema della causalità, in ambito scientifico, viene comunemente inteso

— in relazione alla causa "efficiente"

— e si colloca al livello dei tentativi di interpretazione "ontologica"
della *dinamica* dei fenomeni meccanici e più in generale fisici.s

Ad esempio, nell'ambito della fisica newtoniana

- **la *forza* viene comunemente interpretata come**
- **la *causa efficiente* dell'accelerazione ($F = m\ a$)**

Questa visione si dimostra troppo restrittiva in rapporto al quadro scientifico recente nel quale oltre al problema della

— *causalità efficiente* nell'interpretazione delle teorie fisiche e a quello della
— *causalità materiale* implicito nel problema dei costituenti della materia, sta ormai emergendo anche la
— *causalità finale* nei sistemi organizzati, capaci di compiere delle operazioni finalizzate (soprattutto i sistemi biologici) e anche la
— *causalità formale* in quanto principio *unificante* e *ordinatore* del "tutto"
rispetto alle "parti" di un sistema strutturato in livelli differenziati e gerarchizzati.

La causalità

— in rapporto alla *dinamica*

- deterministica
- indeterministica

— in relazione alla ordinabilità ("*prius et posterius*").

Problemi

- dell' *origine* (catena causale -> causa prima)
  - in senso *temporale* (locale, riduzionistico)
  - in senso *complessivo* (globale, olistico)
- della *finalità* (catena causale -> causa ultima)
  - in senso *temporale* (locale, riduzionistico)
  - in senso *complessivo* (globale, olistico)
- della *struttura* (forma)
  - in senso spazio-temporale (locale, riduzionistico)
  - in senso *complessivo* (globale, olistico)
- del *fondamento*
  - piano logico: problema dei fondamenti logico-matematici
  - piano ontologico: problema dei fondamenti dell'ente fisico

La causalità deterministica

La causalità deterministica può ricondursi sostanzialmente al seguente principio:

"Ad una stessa causa corrisponde sempre necessariamente un solo identico effetto"

La possibilità di descrivere questa bi-univocità della relazione causa-effetto è legata, dal punto di vista della descrizione matematica dei fenomeni:

— alle condizioni di validità del *teorema di unicità* della soluzione dei sistemi di equazioni differenziali (lipschitzianità delle forze)

e, come si è scoperto solo da poco più di un secolo

— alla *stabilità e quindi alla predicibilità* della soluzione (tipica dei sistemi lineari)

La causalità deterministica è tipica della fisica classica

— sia nella sua formulazione *newtoniana*
— che in quella *relativistica*

La causalità secondo la Relatività

La Relatività, con il suo principio in base al quale

" nessun segnale può viaggiare ad una velocità superiore a quella della luce nel vuoto "

ha accentuato il fatto che in fisica, normalmente, la causalità è stata interpretata esclusivamente in relazione alla *successione temporale*, per cui

" si riconosce come *causa* solo un fenomeno che *precede temporalmente il suo effetto* "

— Questa concezione della causalità, solo secondo l'ordine *temporale*

— unitamente al *riduzionismo* che identifica il "tutto" con una collezione di "parti"

ha comportato una concezione della causalità legata al

Principio di località

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

Causalità e non località

La comparsa dei cosiddetti fenomeni *non locali* e di teorie che violano questo principio è stata interpretata, comunemente

— mantenendo fermo il principio riduzionista del "tutto" come somma delle "parti", come

— violazione del principio di causalità

In alternativa, dopo il primo approccio alla *complessità*, si è incominciato a considerarla più come una

— falsificazione del principio riduzionista (non seprabilità delle "parti" dal "tutto")

— mantenendo valido il principio di causalità

Incomincia, in questa prospettiva, ad affacciarsi tacitamente anche una

visione della causalità *non temporale*

che per agire non necessita di "collegare" tra loro due "parti" separate mediante un segnale che viaggia a velocità *c*, ma produce il suo effetto in quanto è presente nella *struttura* stessa del "tutto", e quindi in ogni sua "parte", simultaneamente (*formalmente*).

La predicibilità (stabilità)

La predicibilità degli eventi futuri consiste nel fatto che *l'evoluzione temporale* di un sistema fisico *non si discosta* mai se non di pochissimo dalla *previsione teorica.*

«Un'intelligenza che, in un dato istante, conoscesse tutte le forze che animano la natura e la situazione corrispondente degli enti che la compongono e fosse così vasta da poter sottomettere questi dati all'analisi, abbraccerebbe con una sola formula i movimenti dei corpi più grandi dell'universo e quelli dell'atomo più leggero: per essa niente sarebbe incerto e l'avvenire, come il passato, sarebbero presenti ai suoi occhi»

(Laplace, *Theorie analytique des probabilités,* Parigi 1920, introduzione, p. VII)

L'impredicibilità (instabilità, caoticità)

Ma, come ebbe a scoprire Poincaré: in un sistema *non lineare* (instabile) anche una *piccola perturbazione* nelle *condizioni iniziali* del moto può comportare un *errore* nella *previsione* che diviene *molto grande* dopo un certo tempo.

In questo caso l'impredicibilità *non* indica una *mancanza di causalità* (casualità), ma l'impossibilità teorica (matematica) e pratica (sperimentale) di dominarla conoscitivamente, in quanto non è possibile né matematicamente né sperimentalmente conoscere le condizioni iniziali del moto, né effettuare i calcoli, con una *precisione infinita in atto* (con infinite cifre decimali non correlate da una periodicità).

La causalità indeterministica

L'indeterminsimo tende a *negare*, in qualche modo, la relazione tra *causa ed effetto*.

Questa negazione può assumere diversi aspetti.

— La negazione può essere *assoluta*.

Questa posizione è incompatibile con la possibilità stessa di una scienza e nulla è predicibile

— La negazione può essere *relativa*

- **a qualche aspetto della *relazione causa-effetto***
- **ma non della relazione *in se stessa*.**

È in questo 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.**

L'indeterminismo come *legge di natura* (teorico o "*in se*")

L'indeterminsimo può essere considerato come intrinseco alla realtà fisica: in tal caso si sostiene l'indeterminsimo come *legge di natura*. Se si accetta questa posizione non c'è alcun motivo per cercare una teoria che lo rimuova dalla scienza.

L'indeterminismo *di fatto* (o "*per accidens*")

Diversamente si può ritenere che la *natura* sia deterministica e che siano le nostre conoscenze ad essere difettose e incapaci di coglierlo. E questo per due ragioni pratiche che si collocano al livello dei due fattori propri del metodo scientifico: l'*osservazione* e la *matematizzazione*.

L'indeterminismo dell'osservazione (sperimentale)

Dal versante dell'osservazione si può ritenere che l'indeterminsimo sia dovuto agli apparati sperimentali e alla stessa operazione di misura.

L'indeterminismo dovuto alla difficoltà di calcolo (statistico)

Dal punto di vista matematico si può generare indeterminismo per la difficoltà pratica di compiere numero troppo grande di calcoli. In questo caso si ricorre a metodi statistici che comportano, di conseguenza, la possibilità di previsioni solo probabilistiche.

C.2. La causalità gerarchica come *ordinabilità*

La nozione di causalità si sta manifestando, anche agli occhi degli scienziati

— non solo per il suo aspetto *meccanico* di azione efficiente

— ma anche come principio ordinatore (*relazione d'ordine*)

in quanto introduce, in diversi modi, la

- ***priorità* di un "elemento" (causa)**
- **rispetto ad un altro "elemento" (effetto)**

Priorità che può essere

anche di natura *non* temporale

Il problema dell' "origine" (catena causale, causa prima)

Un primo criterio di ordinamento causale compare nel problema della ricerca dell'*origine* di un evento fisico particolare o dell'intero universo fisico.

— *In senso* **temporale** *(riduzionistico) - Origine del moto:* ***condizioni iniziali***

- *di un* ***qualunque sistema fisico***
- *dell'* ***universo*** *come tale: i "primi istanti" dell'universo*

—*In senso* **non temporale** *(non riduzionisitico) - Origine come progetto sul "tutto"*

L'aspetto non temporale della causalità fa la sua comparsa nelle scienze

- **fisiche**
- **chimiche**
- **biologiche, ecc.**

con l'analisi della considerazione del "tutto" nel suo complesso.

Qual è il principio *causale* (originante) che fa di un insieme di "parti" un "tutto" ?

La causalità nei suoi aspetti *non temporali* non è mai stata evidente ai fisici come lo è per i matematici e i logici, per i quali ad essere rilevante non è tanto il tempo, quanto lo è la consequenzialità o causalità logica.

Il problema della "finalità" (catena causale, causa ultima)

Un secondo criterio di ordinamento causale compare nel problema della ricerca della *finalità* di un evento fisico particolare o dell'intero universo fisico.

— *In senso* **temporale** *(riduzionistico): la finalità intesa come*

Lo stato finale

- *di un qualunque sistema fisico*

  -> Termine del moto: condizioni finali

  -> e stabilizzazione del moto: attrattori

- *dell'universo come tale*

  -> problema del "destino" dell'universo

— *In senso* **non temporale** *(non riduzionisitico)*

Finalità come **attuazione di un** *progetto sul "tutto" (principio antropico)*

Il problema della causa della "struttura" (forma)

Un terzo criterio di ordinamento causale di un "tutto" complesso riguarda l'ordinamento della sua struttura

- **In senso spazio-temporale (locale, riduzionistico)**
  - **ricostruire il "tutto" come somma di "parti" (calcolo integrale)**

- **In senso complessivo (globale, non riduzionistico)**
  - **non separabilità e non località delle parti tra loro (paradossi)**
  - **la forma geometrica e la struttura del complesso (topologia)**

- **Come gerarchia di livelli**

- **La diversificazione dei *tipi* dei diversi livelli sembra aprirsi al concetto 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 scienza dei *modi* differenziati con cui si attua l'*ente* aristotelico (*analogia entis*).

La causa come fondamento

Il traguardo più avanzato si trova nel cosiddetto

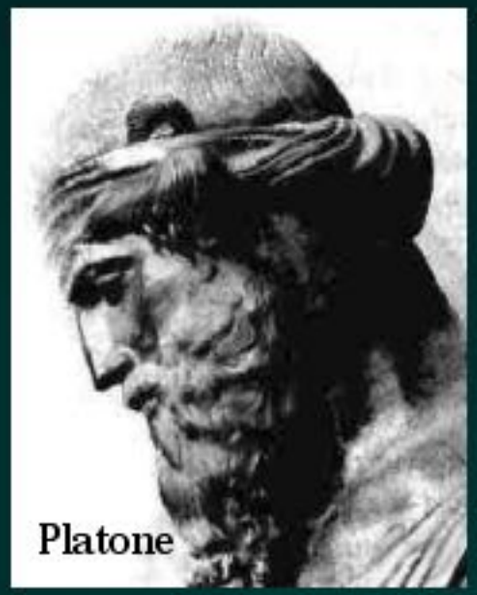
problema dei *fondamenti*

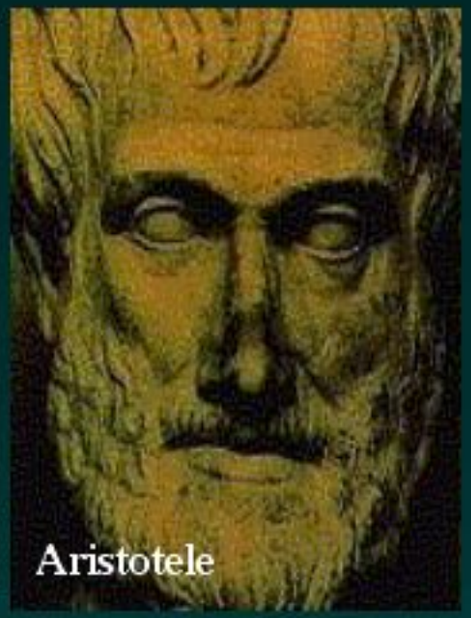
che per ora viene posto nelle scienze

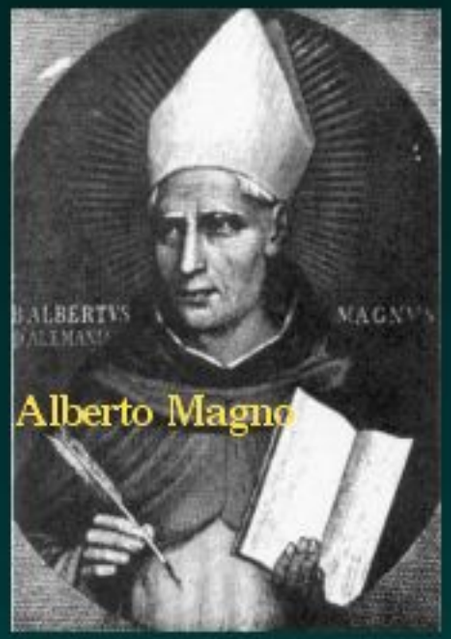
— **più sul versante della logica matematica (*ente di ragione*)**
Dai sistemi assiomatici ai sistemi logici aperti ?

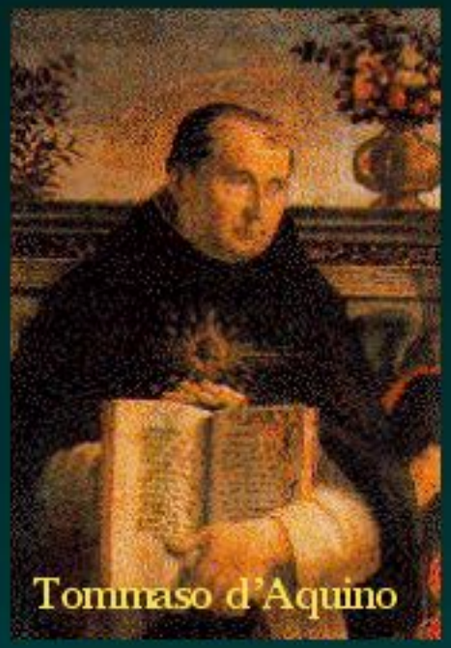
— **che non ancora dell'ente reale** *(verso la "causa essendi")*
dove per ora prevalentemente ci si limita a parlare di
sistemi termodinamici aperti

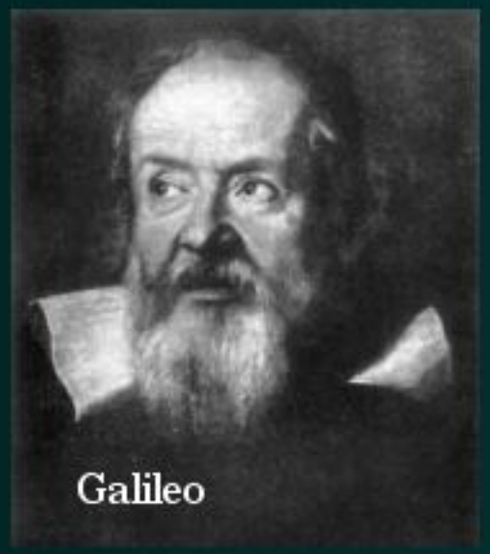
Pitagora

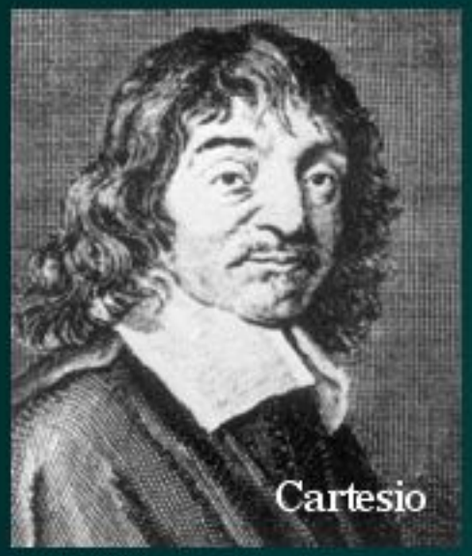

Platone


Aristotele

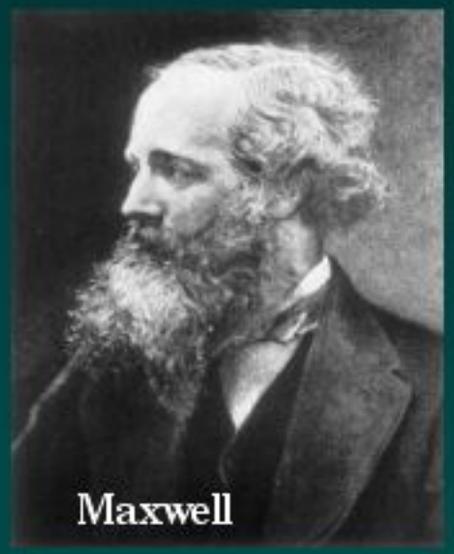

Alberto Magno


Tommaso d'Aquino

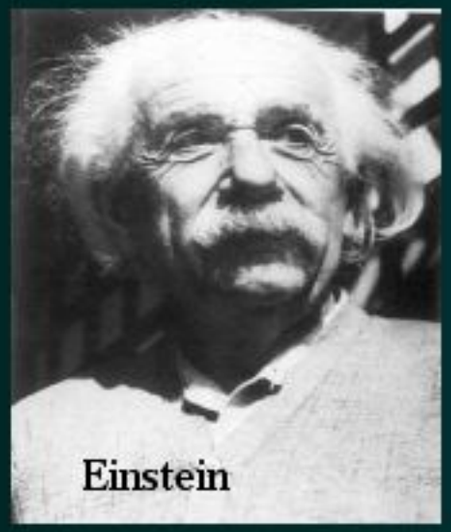

Galileo

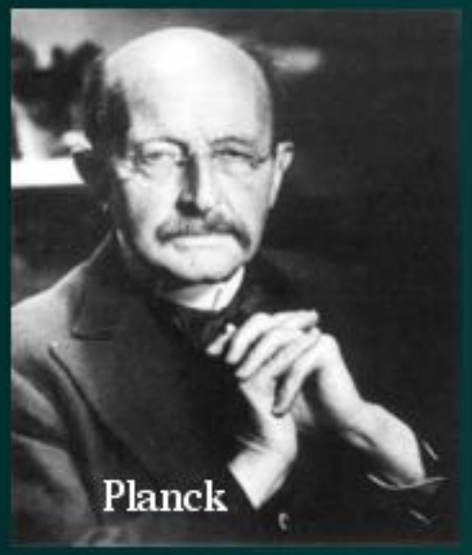

Cartesio

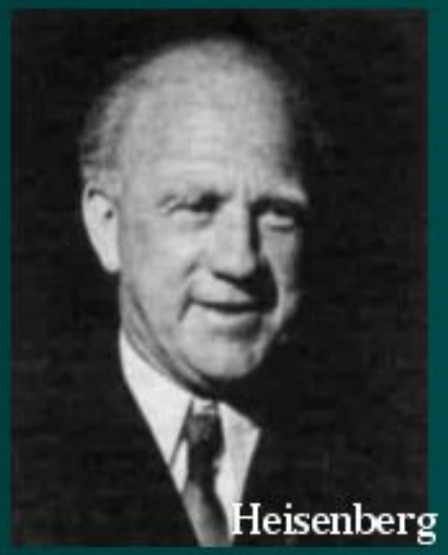
Newton


Maxwell

Poincaré


Einstein


Planck


Heisenberg

Russell

Gödel