

I. [Che cos'è la materia?](#)

II. [La materia come concetto filosofico-teologico](#)

III. [L'indagine scientifica sulla materia](#)

IV. [Tra scienza e filosofia](#)

V. [Materia e massa, campo ed energia](#)

VI. [Vuoto, materia ed energia](#)

VII. [La materia e il problema del tutto e delle parti](#)

VIII. [Materia, intelligenza e astrazione](#)

I. Che cos'è la materia

[Inizio](#)

[>>> I-2](#)

Nel linguaggio comune siamo abituati a designare con l'aggettivo "materiale" tutto ciò che può cadere sotto la percezione diretta dei nostri sensi esterni: diciamo materiale quello che si vede, si tocca, si odora, si gusta e di cui si può udire il suono. Al livello macroscopico, cioè quello della nostra scala umana, questa è una definizione operativa adeguata. Nel linguaggio comune chiamiamo, poi, "corpi" gli oggetti (enti) "materiali", specialmente quelli solidi, ma in senso ampio anche i liquidi e aeriformi, così come quelli che si possono osservare indirettamente mediante degli strumenti. Con il termine «materia» viene indicata indistintamente una sorta di tessuto costitutivo dei corpi, indipendentemente da come esso si differenzia nei diversi tipi di corpo.



La necessità di introdurre una simile terminologia nasce, in prima istanza, dall'esigenza di distinguere ciò che causa un'esperienza sensoriale da ciò che è all'origine di un'esperienza di natura diversa, come quella interiore del pensare, del provare emozioni, del ricordare e del volere, che si presenta come fondamentalmente imponderabile, immateriale.

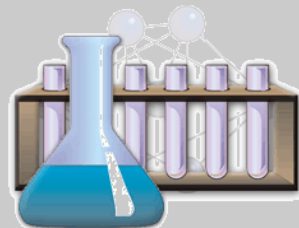
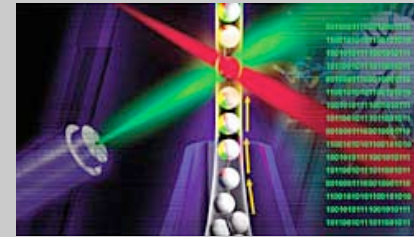
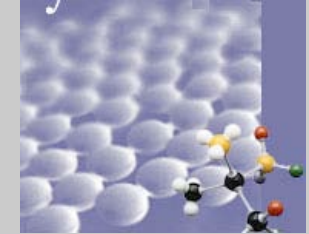
I. Che cos'è la materia - 2

I <<<

Inizio

>>> II

Le cose si complicano quando si passa ad un'analisi più dettagliata che coinvolge fenomeni come la luce, o ambiti di ricerca come il mondo microscopico, quello biologico, o quello della mente umana. Solo un esame più attento permette, come vedremo, di comprendere meglio le caratteristiche di questi "mondi" e di precisare il significato del termine "materia" anche in rapporto ad essi.



Storicamente si sono venuti a costituire due approcci al problema della materia: un approccio che possiamo chiamare "filosofico-metafisico" e un approccio che oggi qualifichiamo come "scientifico". Ciascuno di questi due modi di accostare il problema, se condotto correttamente, ci offre degli elementi molto significativi per rispondere alla domanda "che cos'è la materia?", che sono tra loro complementari in quanto colgono lo stesso oggetto da punti di vista diversi: quello "quantitativo-relazionale" (scientifico) e quello "entitativo" (filosofico). Vediamo di esaminarli entrambi, per quanto ci è possibile.

I. ~~Che cos'è la materia?~~

II. La materia come concetto filosofico-teologico

III. L'indagine scientifica sulla materia

IV. Tra scienza e filosofia

V. Materia e massa, campo ed energia

VI. Vuoto, materia ed energia

VII. La materia e il problema del tutto e delle parti

VIII. Materia, intelligenza e astrazione

II. La materia come concetto filosofico-teologico

I <<<

Inizio

>>> III

In questa sezione cercheremo di prendere in considerazione la diversificazione "qualitativa", diciamo meglio "metafisica", tra diversi modi di accostare l'indagine sulla materia e di indicare anche alcuni aspetti che riguardano più direttamente la teologia.

1. L'approccio fisico

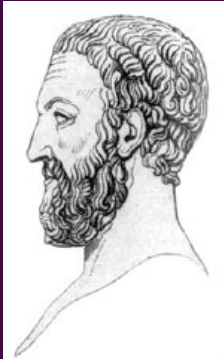
2. L'approccio matematico

3. L'approccio metafisico

4. Materia e spirito

1. L'approccio fisico

Nell'**antichità classica**, quando ancora scienza e filosofia non erano distinte e incominciò a costituirsi il pensiero razionale e dimostrativo (circa attorno al VI secolo a.C.), oltre la cultura del mito, che si proponeva di comunicare delle verità fondamentali più che di analizzare la struttura del cosmo, i filosofi ionici - come

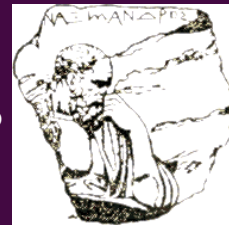


Talete

, Anassimene



, Anassimandro



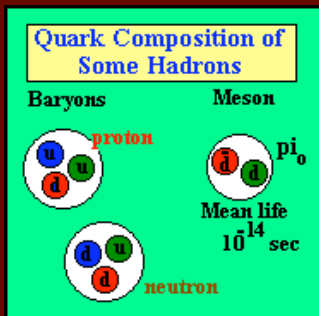
ecc. - che vennero poi chiamati anche "fisici", in quanto studiosi della natura (*gr physis*), si posero il problema di ricercare quali fossero gli "**elementi costitutivi**" del mondo che cade sotto i nostri sensi.

>>> II.1-2

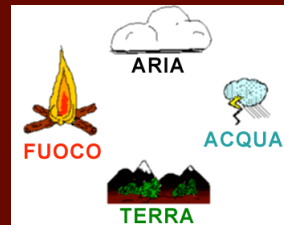
II. La materia come concetto filosofico-teologico - 2

1. L'approccio fisico - 2

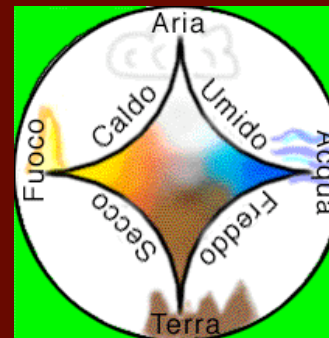
L'esigenza della mente umana era, allora come oggi, quella di ricondurre la descrizione del mondo a pochi **elementi costitutivi** unificanti.



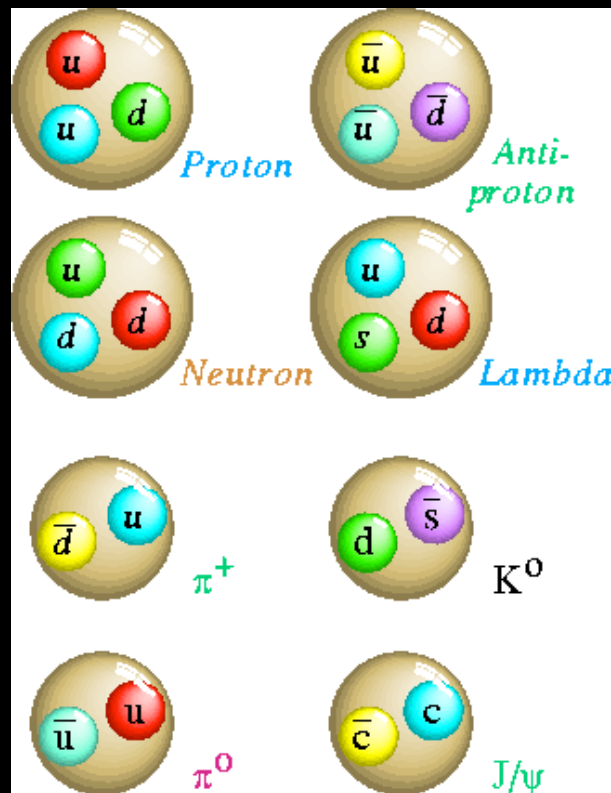
Come **oggi** i fisici ritengono che i **quarks** del "modello standard" siano i componenti fondamentali - anche se sono pronti a cambiare modello se questo si dimostrasse inadeguato e se ne trovasse uno migliore -



questi **antichi** indagatori del mondo fisico pensarono, più semplicemente, alla **terra**, all'**acqua**, all'**aria** e al **fuoco**



(i "**quattro elementi**"), in modo da descrivere, con un dosaggio più o meno rarefatto di uno di questi elementi, ogni gradazione possibile di densità e pesantezza sperimentabili, oltre alle differenti proprietà qualitative.



Il modello a quark della materia

II. La materia come concetto filosofico-teologico - 3

II.1-2 <<<

Inizio

>>> II.1-4

1. L'approccio fisico - 3



Empedocle pensò piuttosto ad una miscela opportunamente dosata di questi stessi elementi. 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.

Noi chiamiamo "**riduzionistico**" questo metodo, che è quello, in fondo, più semplice da adottare.

Per spiegare la natura dei diversi "corpi" li pensiamo come formati a loro volta di "corpi" più piccoli

(microscopici) che si aggregano tra loro e che non sono altro che frazioni minime di elementi che possono essere trovati, in natura, anche in quantità macroscopiche.

II. La materia come concetto filosofico-teologico - 4

II.1-3 <<<

Inizio

>>> II

1. L'approccio fisico - 4

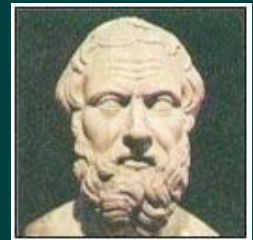
Per questi antichi studiosi del mondo fisico una particella di "terra" era fatta della stessa "terra" che potevano calpestare, così come,

per noi, una particella è "materia" allo stesso modo del tavolo su cui poggiamo un libro da leggere.

Nessuno direbbe che un protone, o un quark non sono materia!

Il problema, piuttosto, sarà quello di capire qual è la natura di questa materia che è comune agli oggetti microscopici e a quelli macroscopici, se essa è un **costituente primario e irriducibile**, o se è, a sua volta, **effetto di qualcos'altro**.

Non a caso i **costituenti elementari** vengono detti, talvolta, anche i **"mattoni"** di cui è fatto l'universo. E i mattoni sono della stessa materia della casa intera. A riprova di questa sostanziale omogeneità di impostazione sta una certa affinità che oggi uno scienziato prova per un pensatore come **Democrito** che ideò la prima teoria atomica della materia.



II. La materia come concetto filosofico-teologico

I <<<

Inizio

>>> III

In questa sezione cercheremo di prendere in considerazione la diversificazione "qualitativa", diciamo meglio "metafisica", tra diversi modi di accostare l'indagine sulla materia e di indicare anche alcuni aspetti che riguardano più direttamente la teologia.

1. L'approccio fisico

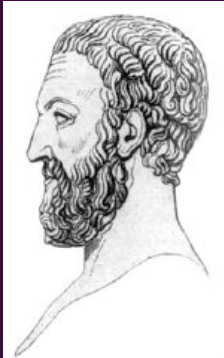
2. L'approccio matematico

3. L'approccio metafisico

4. Materia e spirito

1. L'approccio fisico

Nell'**antichità classica**, quando ancora scienza e filosofia non erano distinte e incominciò a costituirsi il pensiero razionale e dimostrativo (circa attorno al VI secolo a.C.), oltre la cultura del mito, che si proponeva di comunicare delle verità fondamentali più che di analizzare la struttura del cosmo, i filosofi ionici - come

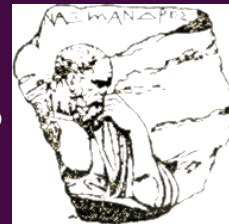


Talete

, Anassimene



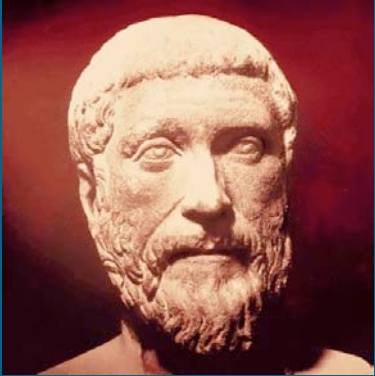
, Anassimandro



ecc. - che vennero poi chiamati anche "fisici", in quanto studiosi della natura (*gr physis*), si posero il problema di ricercare quali fossero gli **"elementi costitutivi"** del mondo che cade sotto i nostri sensi.

>>> II.1-2

2. L'approccio matematico



La posizione di **Pitagora** e dei suoi seguaci è particolarmente interessante, anche dal punto di vista moderno, perché

introduce la matematica alla base della spiegazione della natura.

In luogo degli "**atomi**", in questo caso, compaiono i "**punti**" che ci riportano ad una descrizione geometrica dello spazio fisico. Noi saremmo condotti a pensare ai "punti materiali" della moderna meccanica razionale, ma i pitagorici non avevano la preoccupazione di descrivere l'aspetto ponderabile della natura, quanto quella di coglierne l'ordine e l'armonia, la "**musicalità**",

attraverso i rapporti numerici. In questo senso essi compiono un

passaggio da una descrizione "materialista" ad una descrizione "astratta" o "ideale" del cosmo.

E, dal momento che i pitagorici conoscevano la corrispondenza tra i punti di una retta e i numeri, la descrizione era nel contempo geometrica e aritmetica, o come si suol dire "aritmo-geometrica".

La crisi dei numeri "irrazionali" però non fu pienamente superata che secoli più tardi e questa impostazione matematizzante, che aveva fondato l'intero sistema di vita e di pensiero dei pitagorici, entrò in crisi e si bloccò per molto tempo.

II. La materia come concetto filosofico-teologico

I <<<

Inizio

>>> III

In questa sezione cercheremo di prendere in considerazione la diversificazione "qualitativa", diciamo meglio "metafisica", tra diversi modi di accostare l'indagine sulla materia e di indicare anche alcuni aspetti che riguardano più direttamente la teologia.

1. L'approccio fisico

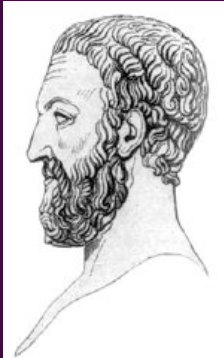
2. L'approccio matematico

3. L'approccio metafisico

4. Materia e spirito

1. L'approccio fisico

Nell'**antichità classica**, quando ancora scienza e filosofia non erano distinte e incominciò a costituirsi il pensiero razionale e dimostrativo (circa attorno al VI secolo a.C.), oltre la cultura del mito, che si proponeva di comunicare delle verità fondamentali più che di analizzare la struttura del cosmo, i filosofi ionici - come

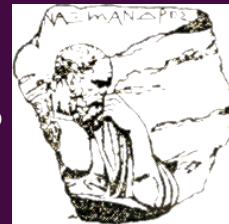


Talete

, Anassimene



, Anassimandro



ecc. - che vennero poi chiamati anche "fisici", in quanto studiosi della natura (*gr physis*), si posero il problema di ricercare quali fossero gli **"elementi costitutivi"** del mondo che cade sotto i nostri sensi.

>>> II.1-2

II. La materia come concetto filosofico-teologico - 6

3. L'approccio metafisico

A questo punto era maturo il

passaggio dall'approccio fisico e/o matematico all'approccio metafisico.

La domanda con cui il problema della comprensione della realtà fu affrontata, adesso,

non era più: "Quali sono gli elementi costitutivi?",

ma "Come è possibile il cambiamento nelle cose?", il divenire.



Noi facciamo esperienza della variabilità delle cose e nel contempo della loro identità. La ricerca sposta il suo obiettivo dall'indagine sui costituenti ("mattoni") dell'universo, ai "principi" che ne spiegano l'esistenza e il mutamento.

Questi principi non sono riconducibili a dei componenti corporei, e quindi osservabili, ma sono di natura diversa da quella dei corpi.



I principi irriducibili ai corpi

Questi principi non ossevabili e irriducibili ai corpi vanno ipotizzati per ragioni di ordine logico, per poter spiegare il comportamento delle cose e dei corpi in particolare. Anzi alcuni di essi si presentano come irrinunciabili ai fini della comprensione della realtà, in quanto, provando a prescindere si giunge a delle contraddizioni, o almeno, a non essere in grado di procedere oltre un certo grado di conoscenza.

Ogni corpo - e ciò è particolarmente evidente nei viventi - durante la sua esistenza, in parte si trasforma e in parte si mantiene inalterato, e conserva la propria identità.

Se vi fosse un solo principio alla base dell'essere, se vi fossero solo i "mattoni" (materia), sostituendo questi con altri mattoni, il corpo non sarebbe più lo stesso.

Così non si potrebbe più dire che un uomo, o un vivente, è sempre lo stesso vivente durante la sua vita, dal momento che le particelle che lo costituiscono si ricambiano più volte nel corso della sua esistenza.

Allora occorre un altro principio, oltre alla materia, che garantisca l'identità, il permanere al di là del cambiamento dei costituenti materiali.

I principi irriducibili ai corpi - 2



Aristotele chiamò "**forma sostanziale**" questo principio, di tipo diverso dalla materia, che fa sì che un ente sia quello che è e rimanga tale per tutta la sua esistenza.

Probabilmente il nostro concetto di "**informazione**" è ciò che più si avvicina a quello aristotelico di forma.

Ci troviamo, così di fronte ad una descrizione dei corpi che li vede come la sintesi ("**sinolo**"), la risultanza di due principi costitutivi ("**co-principi**", in quanto operanti insieme) che **non sono essi stessi corpi**, ma sono di altra natura, non sono degli "osservabili", non sono omogenei con i corpi, ma ne rendono possibile l'esistenza e il mutamento:

la "**materia**" che è come la base comune della corporeità e

la "**forma**" che immette nella materia le informazioni necessarie a far sì che essa divenga quel dato corpo, con quelle date proprietà.

Ecco la base della teoria "ilemorfica".

II. La materia come concetto filosofico-teologico

I <<<

Inizio

>>> III

In questa sezione cercheremo di prendere in considerazione la diversificazione "qualitativa", diciamo meglio "metafisica", tra diversi modi di accostare l'indagine sulla materia e di indicare anche alcuni aspetti che riguardano più direttamente la teologia.

1. L'approccio fisico

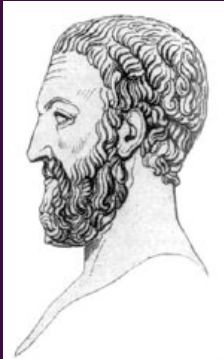
2. L'approccio matematico

3. L'approccio metafisico

4. Materia e spirito

1. L'approccio fisico

Nell'**antichità classica**, quando ancora scienza e filosofia non erano distinte e incominciò a costituirsi il pensiero razionale e dimostrativo (circa attorno al VI secolo a.C.), oltre la cultura del mito, che si proponeva di comunicare delle verità fondamentali più che di analizzare la struttura del cosmo, i filosofi ionici - come

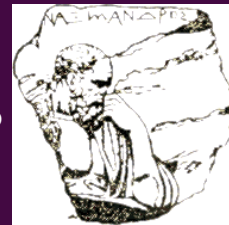


Talete

, Anassimene



, Anassimandro



ecc. - che vennero poi chiamati anche "fisici", in quanto studiosi della natura (*gr physis*), si posero il problema di ricercare quali fossero gli **"elementi costitutivi"** del mondo che cade sotto i nostri sensi.

>>> II.1-2

II. La materia come concetto filosofico-teologico - 7

4. Materia e spirito - Aspetti filosofico-teologici

La **filosofia**, a differenza della **fisica** e delle scienze naturali, ha visto comparire nel suo panorama storico, al fianco dello studio dei corpi sensibili, anche l'analisi dell'esperienza interiore dell'uomo, caratterizzata fundamentalmente dalla sua **intelligenza** e **volontà**.



Quest'analisi ha condotto ad introdurre, oltre al concetto di **"materia"**, prima o seconda, anche un principio totalmente immateriale, denominato solitamente **"spirito"**, così come il termine **"anima"**.

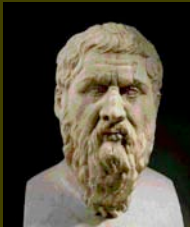
***Aristotele** aveva già impiegato il termine "anima" per indicare la forma sostanziale dei viventi distinguendo in essa una facoltà vegetativa, una sensitiva che l'uomo ha in comune con gli altri esseri viventi e una razionale propria dell'uomo.*

Il termine "spirito", poi, verrà utilizzato prevalentemente in senso generico, mentre il termine "anima", sempre più frequentemente utilizzato per designare l' **anima umana**, denota il principio spirituale di cui è dotato un individuo di natura razionale, come una persona umana.

Ancora, il termine Spirito è impiegato in filosofia e teologia per indicare la natura di esseri superiori all'uomo e totalmente immateriali quali gli angeli e Dio.

4. Materia e spirito - Aspetti filosofico-teologici - 2

Nella storia della cultura umana, nei suoi rapporti col pensiero religioso, la **materia** è stata sovente considerata un elemento legato alla **corruzione**, al **degrado**, al **male**, vista in opposizione allo spirito e alle realtà immateriali in genere.

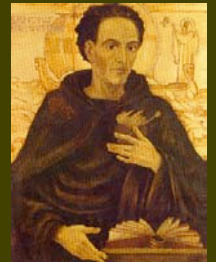


La filosofia di **Platone** non era estranea a questa visione: il corpo, ad esempio, è visto come "prigione" dell'anima.

Uno degli apporti originali del cristianesimo, che riprende in questo l'ebraismo, è considerare la **bontà intrinseca della materia**. La dialettica fra il bene e il male viene trasferita dal paradigma spirito/materia, in qualche modo estrinseco alla dimensione morale, al cuore dell'uomo, cioè alla sua interiorità. È nota in

proposito la riflessione dei Padri della Chiesa (Ireneo, Tertulliano, Agostino) contro il manicheismo e le dottrine dualiste in genere.

La materia e la corporeità sono buone, perché **create**, come le realtà spirituali, da un unico **Dio**.



In prospettiva filosofico-teologica, la materia può venire a volte riduttivamente associata all'idea di **materialismo**, dalla quale va però opportunamente distinta. L'assorbimento degli attributi dello spirito nella materia o la spiritualizzazione della materia possono poi condurre a varie forme di panteismo. Negli insegnamenti del magistero ecclesiastico si incontrerà l'esortazione a non ritenere che tutto nel mondo sia materia, disponendosi a riconoscere anche le opere dello Spirito. Queste ultime, pur realizzandosi attraverso la visibilità e la sensibilità della materia, nella loro origine la trascendono.

II. La materia come concetto filosofico-teologico

I <<<

Inizio

>>> III

In questa sezione cercheremo di prendere in considerazione la diversificazione "qualitativa", diciamo meglio "metafisica", tra diversi modi di accostare l'indagine sulla materia e di indicare anche alcuni aspetti che riguardano più direttamente la teologia.

1. L'approccio fisico

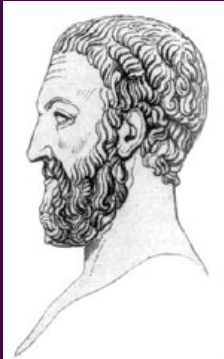
2. L'approccio matematico

3. L'approccio metafisico

4. Materia e spirito

1. L'approccio fisico

Nell'**antichità classica**, quando ancora scienza e filosofia non erano distinte e incominciò a costituirsi il pensiero razionale e dimostrativo (circa attorno al VI secolo a.C.), oltre la cultura del mito, che si proponeva di comunicare delle verità fondamentali più che di analizzare la struttura del cosmo, i filosofi ionici - come

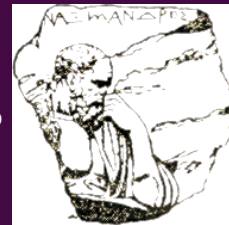


Talete

, Anassimene



, Anassimandro



ecc. - che vennero poi chiamati anche "fisici", in quanto studiosi della natura (*gr physis*), si posero il problema di ricercare quali fossero gli "**elementi costitutivi**" del mondo che cade sotto i nostri sensi.

>>> II.1-2

I. ~~Che cos'è la materia?~~

II. ~~La materia come concetto filosofico-teologico~~

III. L'indagine scientifica sulla materia

IV. Tra scienza e filosofia

V. Materia e massa, campo ed energia

VI. Vuoto, materia ed energia

VII. La materia e il problema del tutto e delle parti

VIII. Materia, intelligenza e astrazione

III. L'indagine scientifica sulla materia

II <<<

Inizio

>>> IV

La **scienza moderna**, che si fonda sul **metodo galileiano**,



abbandona l'**approccio metafisico**

per riprendere, unificandoli, sulla via intuita da **Archimede**



sia l'approccio **fisico** dei filosofi ionici

che quello **matematico** dei pitagorici.

Lo scopo di questa sezione non è tanto quello di riproporre una descrizione completa delle diverse teorie scientifiche della materia, quanto quello di mettere in rilievo i mutamenti di concezione della materia che i passaggi da un "paradigma" all'altro hanno comportato.

1. La teoria atomica della materia

2. Materia e radiazione

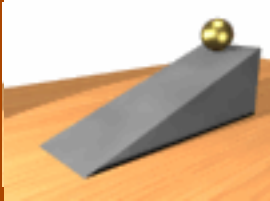
3. Le teorie della relatività di Einstein

4. La meccanica quantistica

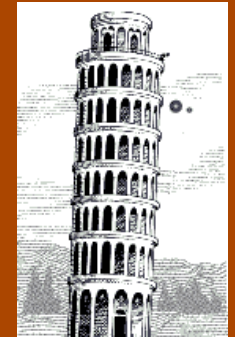
5. Organizzazione della materia: informazione e complessità

6. La materia e la mente

1. La teoria atomica della materia



Il successo della **meccanica galileiana e newtoniana** sembra suggerire, in maniera naturale, una descrizione di tipo meccanico ("**meccanicismo**") di tutta la natura corporea.



In quest'ottica lo schema unificante più semplice, in grado di rendere conto delle diverse densità dei corpi, dai solidi ai liquidi ai gas, era offerto dall'**atomismo** di Democrito (460-360 a.C.).

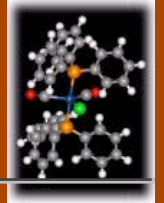


Dopo che **Dalton** (1766-1844) fornì la prima prova sperimentale probante della **teoria atomica**, essa ebbe la dignità scientifica per affiancarsi alla meccanica di Newton già ben affermata.



1. La teoria atomica della materia - 2

Così, mentre la **teoria atomica** forniva una descrizione della **struttura della materia**,



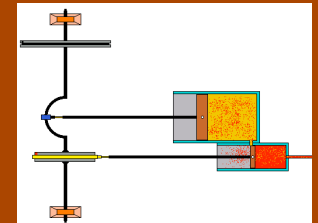
sulla base della quale si sviluppò tutta la **chimica**,

la **meccanica newtoniana** rappresentava lo strumento per descriverne la **dinamica**, l'evoluzione nel tempo;

sulla base di quest'ultima si svilupparono

la **teoria cinetica dei gas** e, più in generale,
la **meccanica statistica**,

che forniscono il modello meccanico microscopico di quella teoria macroscopica che è la **termodinamica**.



Lo sviluppo della fisica classica può essere osservato, allora, da **due punti di vista**: quello che riguarda la "**struttura**" della materia, di cui ci stiamo occupando qui, e quello che riguarda la sua "**dinamica**".

III. L'indagine scientifica sulla materia

II <<<

Inizio

>>> IV

La **scienza moderna**, che si fonda sul **metodo galileiano**,



abbandona l'**approccio metafisico**

per riprendere, unificandoli, sulla via intuita da **Archimede**



sia l'approccio **fisico** dei filosofi ionici

che quello **matematico** dei pitagorici.

Lo scopo di questa sezione non è tanto quello di riproporre una descrizione completa delle diverse teorie scientifiche della materia, quanto quello di mettere in rilievo i mutamenti di concezione della materia che i passaggi da un "paradigma" all'altro hanno comportato.

1. La teoria atomica della materia

2. Materia e radiazione

3. Le teorie della relatività di Einstein

4. La meccanica quantistica

5. Organizzazione della materia: informazione e complessità

6. La materia e la mente

2. Materia e radiazione

La fisica classica si è trovata, successivamente (a partire dal XIX secolo), di fronte anche ad altri fenomeni da indagare, come

la luce, l'elettricità e il magnetismo.



Qual è la natura fisica della luce?

È essa stessa costituita da **corpuscoli di materia**,
in questo caso di **massa estremamente piccola**, tanto da apparire
pressoché immateriale all'osservatore?

2. Materia e radiazione - 2

La teoria corpuscolare della luce di Newton

proponeva questo modello materiale della luce,

ma **non si accordava del tutto con l'esperienza**

(le esperienze di misura della velocità della luce, ad esempio evidenziavano che essa si propaga in un mezzo rifrattivo con velocità c/n , dove $c = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$, è la sua velocità nel vuoto e n l'indice di rifrazione del mezzo, anziché $c \times n$ come avrebbe richiesto la teoria newtoniana).



La teoria ondulatoria della luce di Huygens

proponeva, invece di spiegare il fenomeno luminoso come una vibrazione meccanica, periodica, che si propaga attraverso un "etere" pressoché imponderabile



e prevedeva (oltre alla corretta velocità di propagazione nei mezzi rifrattivi) i fenomeni di interferenza poi effettivamente osservati (esperimento di Young, 1810).

2. Materia e radiazione - 3

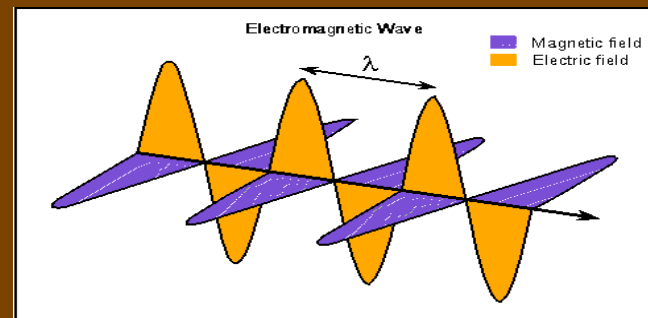
Le equazioni di Maxwell (1864)

che governano i fenomeni elettrici e magnetici, consentirono di interpretare la

si come un fenomeno ondulatorio, ma anziché di tipo meccanico, di tipo elettromagnetico.

Ora se la natura della luce era ricondotta a quella di un'onda elettromagnetica, il problema si spostava dalla meccanica all'indagine sulla natura dell'elettricità e del magnetismo, unificati da Maxwell.

Incomincia a farsi strada, con l'elettromagnetismo, il concetto di «campo», come veicolo che trasporta energia in una forma non riducibile, concettualmente, all'energia cinetica della meccanica delle particelle, anche se convertibile con questa.



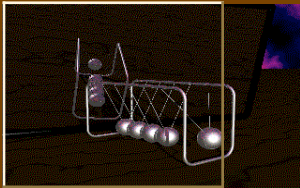
2. Materia e radiazione - 4

Il concetto di **radiazione** viene
prima ad **affiancarsi**
e poi a **contrapporsi**

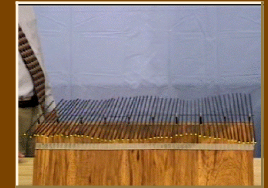
a quello di **materia**

e così pure il concetto di **energia**, associata alla radiazione,
si contrappone a quello di **materia**.

Si incomincia a parlare di **energia**



non più come **proprietà** "di qualcosa",
come un attributo del campo che la trasporta
ma come di "**qualcosa**",



come fosse un'**entità autonoma** quanto lo è la materia e di natura in certo modo
diversa da quest'ultima.

2. Materia e radiazione - 5

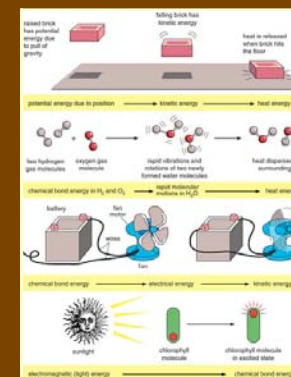
Questo modo di concepire l'**energia** è favorito anche dal fatto che essa è soggetta ad una legge di conservazione come la massa.

se

«nulla si crea e nulla si distrugge»

come aveva stabilito **Lavoisier** (1774) per la massa-materia,

ciò era vero anche per l'energia che si conserva pur trasformandosi da una forma all'altra.



2. Materia e radiazione - 6

In che cosa differiscono **materia** ed **energia** nella **fisica classica** dell'ottocento?

Certamente per due caratteristiche facilmente individuabili.

- La prima di esse è che **la materia è dotata di una "massa"**, mentre **l'energia no**; anzi è questa proprietà che consente di definire la materia stessa, interpretando la massa come "quantità di materia". La materia è ciò che è dotato di massa, mentre l'energia può sussistere anche autonomamente dalla materia sotto forma di campo elettromagnetico, che non ha una massa, oltre che essere trasportata dalle masse sotto forma di energia cinetica.
- In secondo luogo, la **materia** si presenta sotto forma **"discreta"**, come atomi e particelle (ioni, elettroni), mentre **l'energia** si presenta come un **"continuo"**, sia quando è associata al moto di una particella (energia cinetica) che quando assume la forma della radiazione.

III. L'indagine scientifica sulla materia

II <<<

Inizio

>>> IV

La **scienza moderna**, che si fonda sul **metodo galileiano**,



abbandona l'**approccio metafisico**

per riprendere, unificandoli, sulla via intuita da **Archimede**



sia l'approccio **fisico** dei filosofi ionici

che quello **matematico** dei pitagorici.

Lo scopo di questa sezione non è tanto quello di riproporre una descrizione completa delle diverse teorie scientifiche della materia, quanto quello di mettere in rilievo i mutamenti di concezione della materia che i passaggi da un "paradigma" all'altro hanno comportato.

1. La teoria atomica della materia

2. Materia e radiazione

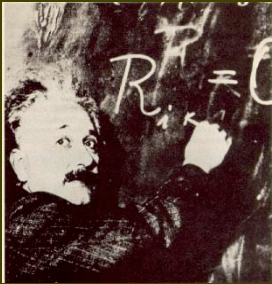
3. Le teorie della relatività di Einstein

4. La meccanica quantistica

5. Organizzazione della materia: informazione e complessità

6. La materia e la mente

3. Le teorie della relatività di Einstein



Con la teoria della **relatività ristretta** (1905) di **Einstein** viene stabilita la famosa

equivalenza tra massa ed energia, quantificata dalla formula

$$E=mc^2$$

e, così, la prima, delle due proprietà sopra enunciate, che distingueva la materia dall'energia, come veniva intesa allora, viene a cadere.

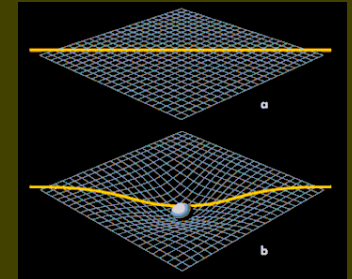
— Da un lato la "**massa**" di una particella in quiete ("massa a riposo") viene a presentarsi essa stessa come una **forma "concentrata" di energia** ("energia a riposo"),

— dall'altro lato la stessa **energia** raggiante dimostra **un carattere materiale**, dal momento che possiede proprietà inerziali e gravitazionali attraverso la **massa E/c^2** ad essa associata.

Contemporaneamente, **l'abolizione dell'etere di Lorentz** da parte di Einstein, in quanto non osservabile e la sua sostituzione con il "**vuoto**", fa acquisire all'**energia** un carattere di autosufficienza ancora più marcato. **L'energia della radiazione non ha più bisogno di un supporto, di un veicolo che la trasporta** (sostanzializzazione dell'energia).

3. Le teorie della relatività di Einstein - 2

La teoria della **relatività generale** (1916) compie un altro passo molto interessante ai fini di un discorso sulla materia.



Essa associa

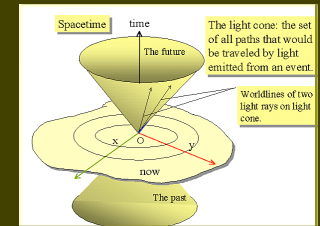
- le proprietà "metriche" (**curvatura**) dello **spazio-tempo**
- alla **distribuzione di massa-energia** presente nello spazio-tempo stesso, sotto forma di **materia** e di **campi** non gravitazionali.

Lo **spazio** e il **tempo assoluti** di **Newton**

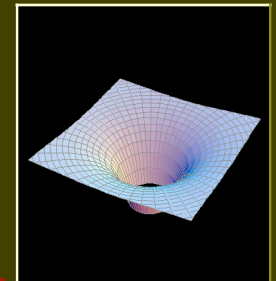
sono **sostituiti** con uno **spazio-tempo** le cui proprietà metriche sono definite dalla presenza della **materia** stessa.

3. Le teorie della relatività di Einstein - 3

Già con la **relatività ristretta** lo spazio e il tempo non venivano più descritti come due entità indipendenti, ma come un'unica struttura geometrica a quattro dimensioni (di cui tre spaziali e una temporale);



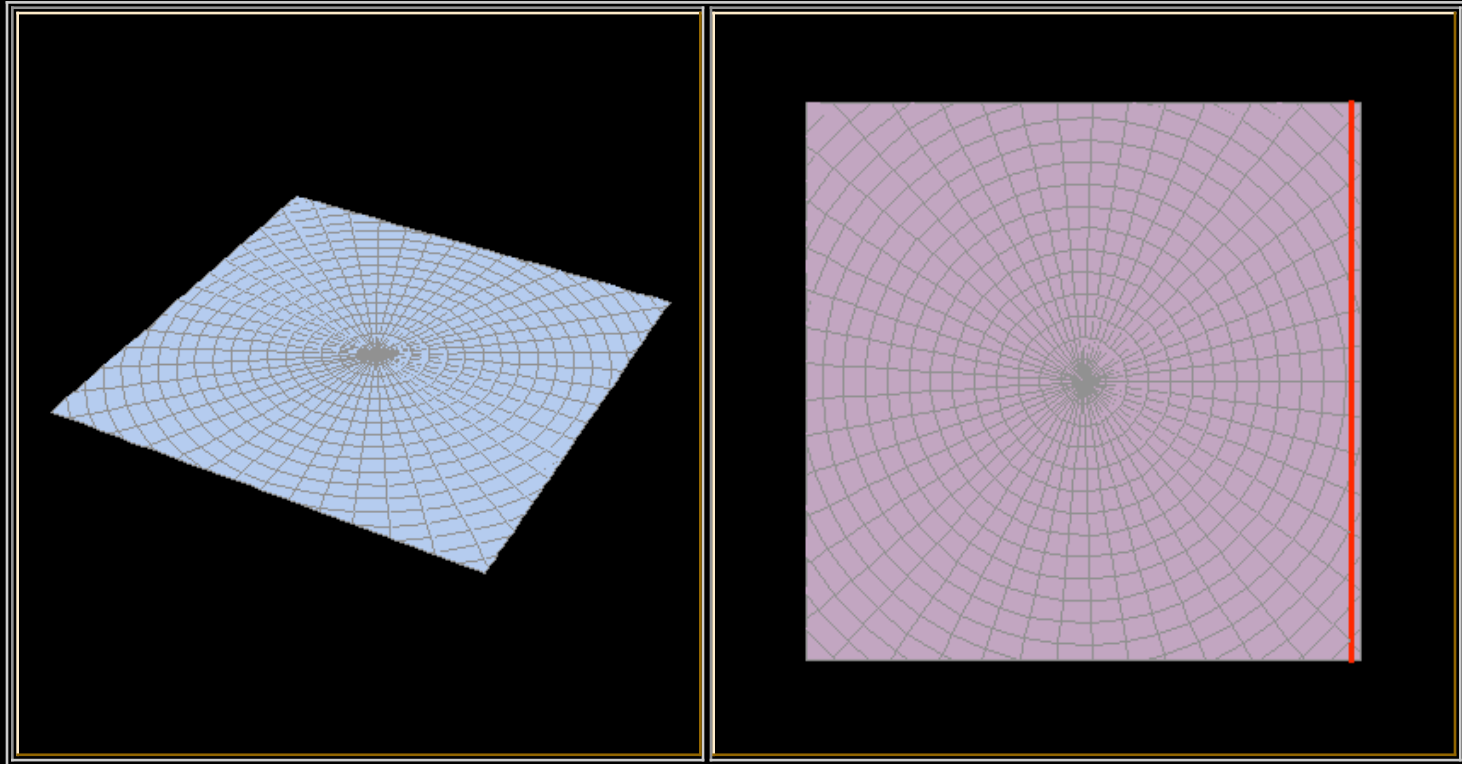
con la **relatività generale** lo spazio-tempo viene "incurvato", in prossimità delle masse, e descritto mediante una geometria non più euclidea ma riemanniana in,



in maniera tale che le **traiettorie inerziali (geodetiche)** dei corpi celesti, che in esso si collocano, siano le stesse che si avrebbero in uno spazio-tempo privo di curvatura, in cui è presente però la gravità.

In tal modo la curvatura viene a sostituire e quindi a descrivere gli stessi effetti della gravità.

Modello bidimensionale dell'incurvamento dello spazio-tempo

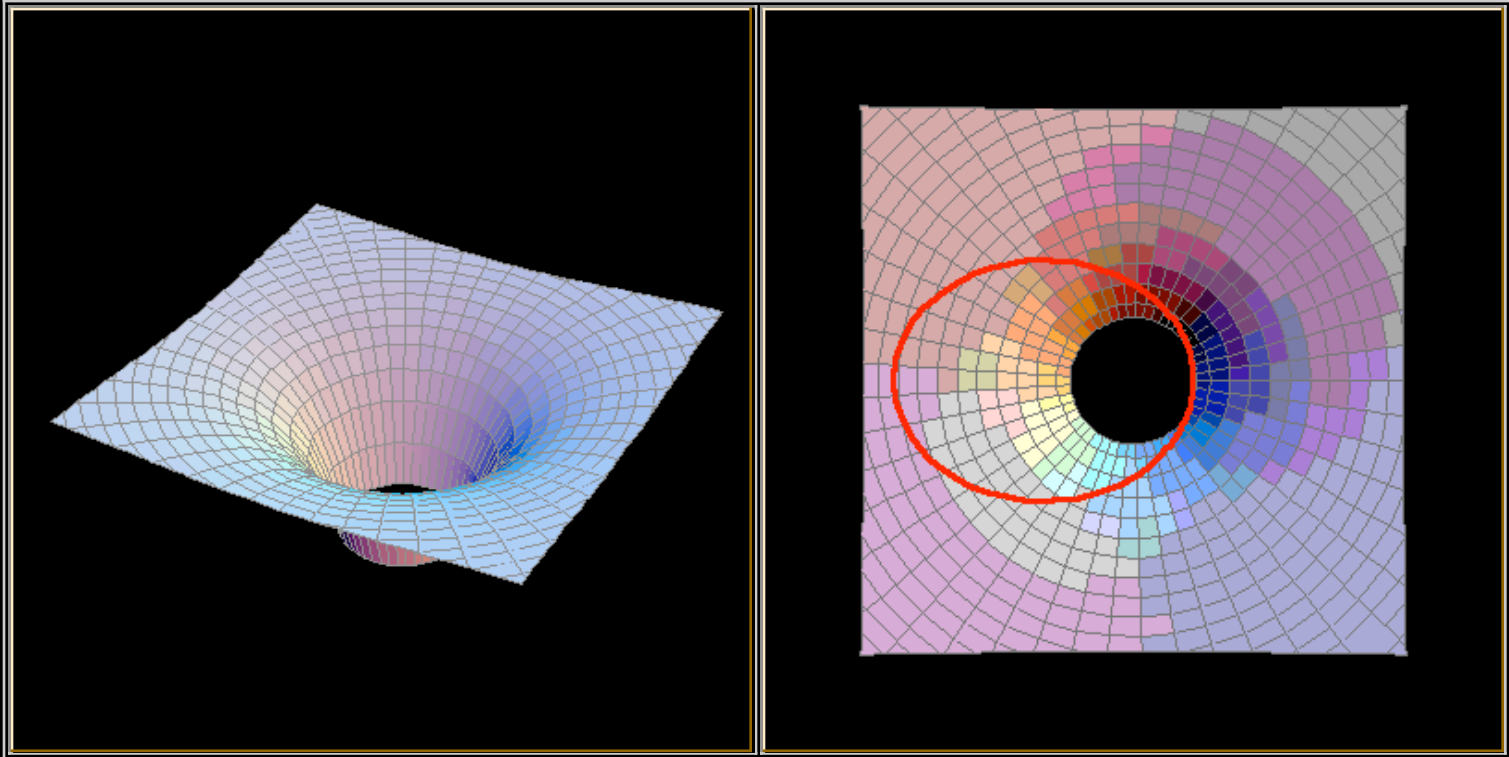


In uno spazio piatto una particella si muove, in assenza di forze,

- lungo una retta
- e con velocità costante

(principio di inerzia di Newton).

Modello bidimensionale dell'incurvamento dello spazio-tempo



In uno spazio-tempo curvo una particella si muove, in assenza di forze,
. lungo una geodetica.

(Principio d'inerzia generalizzato di Einstein)

III. L'indagine scientifica sulla materia

II <<<

Inizio

>>> IV

La **scienza moderna**, che si fonda sul **metodo galileiano**,



abbandona l'**approccio metafisico**

per riprendere, unificandoli, sulla via intuita da **Archimede**



sia l'approccio **fisico** dei filosofi ionici

che quello **matematico** dei pitagorici.

Lo scopo di questa sezione non è tanto quello di riproporre una descrizione completa delle diverse teorie scientifiche della materia, quanto quello di mettere in rilievo i mutamenti di concezione della materia che i passaggi da un "paradigma" all'altro hanno comportato.

1. La teoria atomica della materia

2. Materia e radiazione

3. Le teorie della relatività di Einstein

4. La meccanica quantistica

5. Organizzazione della materia: informazione e complessità

6. La materia e la mente

4. La meccanica quantistica

La **meccanica quantistica** - pur portando con sé ancora molti problemi da chiarire, legati ai paradossi che suscita - compie ulteriori passi di **unificazione**.

— Da un lato, già la **formulazione non relativistica** della meccanica quantistica, con

l'equazione di Schrödinger (1926)

attribuisce proprietà ondulatorie anche alla materia

seguendo la via aperta da **De Broglie (1922)**;

— dall'altro, la **formulazione relativistica** della meccanica quantistica, introduce,

con il concetto difotone

la discretizzazione dello spettro dell'energia del campo e.m. (elettrodinamica quantistica)

già ipotizzata da Einstein nella sua celebre interpretazione dell'effetto fotoelettrico (1905) che gli valse il premio Nobel, e dei campi in genere (teoria quantistica dei campi).



III. L'indagine scientifica sulla materia - 14

III.4 <<<

Inizio

>>> III.4 - 3

4. La meccanica quantistica - 2

In questo quadro

la **materia** delle *onde-particelle* e

l'**energia** delle *onde-fotoni*

appaiono concettualmente indistinguibili.

Ma la meccanica quantistica presenta ora un **criterio di distinzione**, nuovo, per la sua formulazione matematica, e antico per il suo contenuto filosofico.

Alcune di esse ("**fermioni**", particelle di **spin semintero**), che seguono la statistica di Fermi-Dirac

a differenza delle altre ("**bosoni**", particelle di spin intero) che seguono invece la statistica di Bose-Einstein



sono soggette al "**principio di esclusione**" di **Pauli** che **non permette a due particelle uguali**, in uno stesso istante e nella stessa posizione, **di avere gli stessi numeri quantici**.

III. L'indagine scientifica sulla materia - 15

III.4 - 2 <<<

Inizio

>>> III.4 - 4

4. La meccanica quantistica - 3

Questo fatto viene interpretato come

l'impossibilità per i **fermioni** di compenetrarsi

ed è riconosciuto, filosoficamente parlando, come una

proprietà caratteristica della materia

mentre i **bosoni** che non sono soggetti a questo vincolo si comportano come **la radiazione.**

- Tra i **fermioni**, infatti, troviamo le tipiche **particelle costitutive della materia** (protoni, neutroni, elettroni, ecc.),
- mentre tra i **bosoni** troviamo le **particelle di campo**, che trasportano l'energia di interazione (fotoni, gluoni, particelle W e Z, e gravitoni dei quali ancora non si conosce sperimentalmente l'esistenza)

III. L'indagine scientifica sulla materia - 16

III.4 - 3 <<<

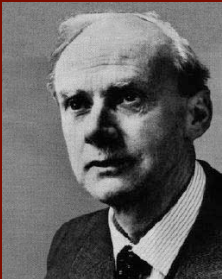
Inizio

>>> III

4. La meccanica quantistica - 4

Vale la pena notare che, tra le altre importanti conseguenze della meccanica quantistica relativistica, vi fu la previsione dell'esistenza delle «**antiparticelle**» - la cosiddetta **antimateria** - sulla quale a volte si è molto fantasticato.

La previsione fu opera di **Dirac**, che trovò, oltre



alla soluzione della sua famosa equazione, corrispondente all'elettrone, sperimentalmente ben nota, anche una soluzione che risultava identica a quella dell'**elettrone** purché si cambiasse il segno del tempo (stesse proprietà: massa, carica elettrica, spin, ecc.).

Questo elettrone positivo, o **positrone**, fu effettivamente scoperto sperimentalmente. Più tardi si trovarono delle antiparticelle corrispondenti a tutte le particelle conosciute, ed erano capaci di "**annichilarsi**" con le rispettive particelle, trasformandosi in energia raggiante.

Rimase comunque il problema di comprendere perché il nostro universo fosse costituito quasi esclusivamente di materia piuttosto che di antimateria. Questo problema della "rottura della simmetria" è forse uno dei problemi più indagati dalla teoria delle particelle e della cosmologia di questi ultimi decenni.

III. L'indagine scientifica sulla materia

II <<<

Inizio

>>> IV

La **scienza moderna**, che si fonda sul **metodo galileiano**,



abbandona l'**approccio metafisico**

per riprendere, unificandoli, sulla via intuita da **Archimede**



sia l'approccio **fisico** dei filosofi ionici

che quello **matematico** dei pitagorici.

Lo scopo di questa sezione non è tanto quello di riproporre una descrizione completa delle diverse teorie scientifiche della materia, quanto quello di mettere in rilievo i mutamenti di concezione della materia che i passaggi da un "paradigma" all'altro hanno comportato.

1. La teoria atomica della materia

2. Materia e radiazione

3. Le teorie della relatività di Einstein

4. La meccanica quantistica

5. Organizzazione della materia: informazione e complessità

6. La materia e la mente

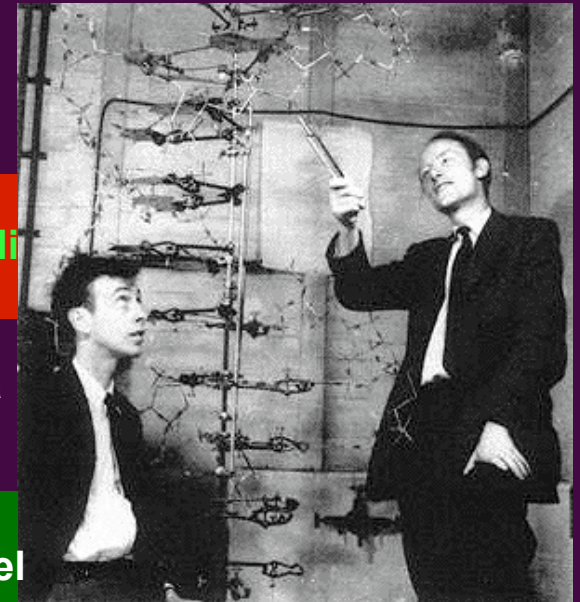
5. Organizzazione della materia: informazione e complessità

Lo studio della materia nei **viventi** è l'oggetto proprio della **biologia**. Tuttavia i raccordi con la **chimica** e la **fisica** sono sempre stati notevoli, per diversi motivi.

— **Anzitutto** perché una certa **metodologia riduzionista** imponeva di **riconduurre** il più possibile tutte le **scienze naturali** alla **fisica**, scienza galileiana per antonomasia.

E a questo scopo l'anello di congiunzione tra biologia e fisica non poteva essere rappresentato che dalla chimica organica.

— **In secondo luogo** perché le grandi **scoperte sperimentali** e teoriche della **biologia** molecolare, come il codice genetico del **DNA** ed il modello a doppia elica di **Watson** e **Crick** (1953) costituivano una **conferma** di grande rilievo in tal senso.



5. Organizzazione della materia: informazione e complessità - 2

Recentemente, cioè da quando **ifisici** e **imatematici** hanno ripreso sistematicamente lo studio dei **sistemi non lineari**,



iniziato da **Poincaré** e poi abbandonato per decenni dopo la sua morte,

ed è nata la scienza della **complessità**,

che gradualmente ha coinvolto tutte le scienze con le sue problematiche, **il processo riduzionista ha conosciuto una battuta di arresto** e il rapporto tra fisica e biologia è cambiato radicalmente.

In certo senso oggi è la **biologia** che incomincia a proporre un **modello epistemologico** alla **fisica** e non più viceversa.

5. Organizzazione della materia: informazione e complessità - 3

Il fatto che in un'equazione differenziale

non lineare

la somma di due o più soluzioni non sia una soluzione

costituisce la

base matematica della crisi del riduzionismo

in quanto **proibisce di decomporre** una soluzione che descrive una struttura complessa, o il **"tutto"** in soluzioni più semplici che ne descrivono le **"parti"** come **isolate**.

Questo primo ed elementare carattere non riduzionistico dei sistemi non lineari della fisica, trova un corrispettivo praticamente in tutte le scienze.

5. Organizzazione della materia: informazione e complessità - 4

Altri aspetti della complessità riguardano invece la

"dinamica" dei sistemi

che, a causa della **non linearità**, presentano il carattere della

"impredicibilità" e,

se sono **dissipativi**, possono dimostrarsi capaci di

"auto-organizzazione", grazie al fatto di essere

sistemi **aperti** interagenti con il mondo esterno

con il quale **scambiano materia, energia ed entropia** (**Prigogine**).

Un ruolo decisivo sembra essere giocato dalla **informazione** che, inserendosi ai diversi livelli di organizzazione della materia determina, in ciascuno di essi, dei caratteri che si diversificano anche qualitativamente e non solo per aggiunte quantitative, divenendo in questo modo irriducibili l'uno all'altro.



III. L'indagine scientifica sulla materia

II <<<

Inizio

>>> IV

La **scienza moderna**, che si fonda sul **metodo galileiano**,



abbandona l'**approccio metafisico**

per riprendere, unificandoli, sulla via intuita da **Archimede**



sia l'approccio **fisico** dei filosofi ionici

che quello **matematico** dei pitagorici.

Lo scopo di questa sezione non è tanto quello di riproporre una descrizione completa delle diverse teorie scientifiche della materia, quanto quello di mettere in rilievo i mutamenti di concezione della materia che i passaggi da un "paradigma" all'altro hanno comportato.

1. La teoria atomica della materia

2. Materia e radiazione

3. Le teorie della relatività di Einstein

4. La meccanica quantistica

5. Organizzazione della materia: informazione e complessità

6. La materia e la mente

6. La materia e la mente

Un altro problema scientifico che coinvolge la materia vivente e che ha conosciuto un grande sviluppo in tempi recenti è quello del

rapporto mente-corpo:

si tratta di un'indagine che riguarda direttamente le **scienze** come la **biologia**, la **fisiologia**, la **psicologia** insieme alla **filosofia** e la **teologia**, in un quadro interdisciplinare che va sotto il nome, ormai divenuto d'uso abituale, di "**Scienze cognitive**".

Parallelamente al rapporto mente-corpo troviamo anche la problematica della cosiddetta **intelligenza artificiale** che coinvolge, in luogo delle scienze della materia vivente **l'informatica** e la **teoria dell'informazione**.

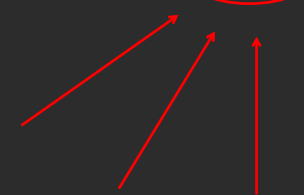
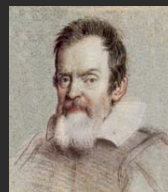
Le **scienze cognitive** si occupano di come si forma la **conoscenza intelligente** nella nostra **mente**, nel suo rapporto con il **cervello** e più in generale con il **corpo**, in vista di una sua almeno parziale riproduzione mediante il **computer**.

III. L'indagine scientifica sulla materia

II <<<

Inizio

>>> IV



La **scienza moderna**, che si fonda sul **metodo galileiano**,

abbandona l'**approccio metafisico**

per riprendere, unificandoli, sulla via intuita da **Archimede**



sia l'approccio **fisico** dei filosofi ionici

che quello **matematico** dei pitagorici.

Lo scopo di questa sezione non è tanto quello di riproporre una descrizione completa delle diverse teorie scientifiche della materia, quanto quello di mettere in rilievo i mutamenti di concezione della materia che i passaggi da un "paradigma" all'altro hanno comportato.

1. La teoria atomica della materia

2. Materia e radiazione

3. Le teorie della relatività di Einstein

4. La meccanica quantistica

5. Organizzazione della materia: informazione e complessità

6. La materia e la mente

I. ~~Che cos'è la materia?~~

II. ~~La materia come concetto filosofico-teologico~~

III. ~~L'indagine scientifica sulla materia~~

IV. Tra scienza e filosofia

V. Materia e massa, campo ed energia

VI. Vuoto, materia ed energia

VII. La materia e il problema del tutto e delle parti

VIII. Materia, intelligenza e astrazione

Cerchiamo ora di approfondire

—alcuni **aspetti filosofici**, legati alle teorie scientifiche,

come sono emersi nella sezione precedente,

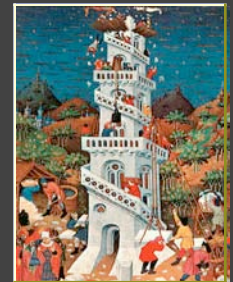
—precisando anche il **significato dei termini** e

—mettendo in guardia da frequenti **equivoci**



legati ad un uso improprio delle terminologie che insorgono facilmente quando

si passa **dall'ambito scientifico** a quello **filosofico** e viceversa.



Una prima osservazione riguarda il
metodo delle scienze

Il **XX secolo** ha visto un passaggio particolarmente significativo per quanto riguarda il metodo scientifico che ha avuto ripercussioni notevoli anche al riguardo del modo di concepire la materia.

Si tratta del passaggio da un atteggiamento fondamentalmente positivista ad un atteggiamento di

revisione dei fondamenti delle teorie scientifiche

Questo mutamento di posizione,

—in alcuni casi, è stato una **libera scelta**,

—altre volte è stato **imposto** in qualche modo, dallo stesso **evolversi della ricerca scientifica**.

Un esempio del primo tipo, in cui il cambiamento di atteggiamento metodologico è stato frutto di una **attenta riflessione** e di una **libera scelta**, ci è offerto da **Einstein**.

L'Einstein della «relatività ristretta» è un "operazionista", nel senso in cui Bridgman ha teorizzato l'operazionismo.

La «relatività generale» nasce, invece non da problemi sperimentali impellenti, in quanto la teoria della gravitazione di Newton si accordava bene con l'esperienza (non a caso le verifiche sperimentali della relatività generale richiedono misurazioni estremamente fini), ma da un'esigenza di revisione dei fondamenti della meccanica newtoniana, revisione che non era stata compiuta neppure dalla relatività ristretta.

Un esempio del secondo tipo è offerto da **Heisenberg**.

Heisenberg, all'origine della sua "meccanica delle matrici", adottò il metodo operazionista, ma non poté sostenere questo metodo fino in fondo.

Il padre della teoria della relatività introduce le grandezze di cui fa uso **definendole mediante le operazioni che consentono di darne la misura sperimentale (operazionismo).**

Le ipotesi da cui parte per costruire la **relatività ristretta** non sono altro che codificazioni, in termini di leggi, di ciò che risulta dall'**esperienza**.



L'esperimento di Michelson-Morley (1887) non ha evidenziato alcuna modifica delle leggi dell'elettromagnetismo dovute al moto di traslazione della terra rispetto all'etere, dunque:

a) Il principio di relatività galileiano non vale solo per i fenomeni meccanici ma anche per quelli elettromagnetici;

b) la velocità della luce è invariante per traslazione uniforme del sistema di riferimento dell'osservatore.

Il motivo per cui **Lorentz**, che pure aveva dedotto le trasformazioni corrette, non era riuscito ad arrivare alla teoria completa della relatività risiede nel fatto che egli aggiunge, inconsapevolmente, ai due principi precedenti, anche altri elementi non derivati dall'esperimento, come la **spiegazione meccanica della contrazione dei regoli** durante il moto.

Un esempio del primo tipo, in cui il cambiamento di atteggiamento metodologico è stato frutto di una **attenta riflessione** e di una **libera scelta**, ci è offerto da **Einstein**.

L'Einstein della «relatività ristretta» è un "operazionista", nel senso in cui Bridgman ha teorizzato l'operazionismo.

La «relatività generale» nasce, invece non da problemi sperimentali impellenti, in quanto la teoria della gravitazione di Newton si accordava bene con l'esperienza (non a caso le verifiche sperimentali della relatività generale richiedono misurazioni estremamente fini), ma da un'esigenza di revisione dei fondamenti della meccanica newtoniana, revisione che non era stata compiuta neppure dalla relatività ristretta.

Un esempio del secondo tipo è offerto da **Heisenberg**.

Heisenberg, all'origine della sua "meccanica delle matrici", adottò il metodo operazionista, ma non poté sostenere questo metodo fino in fondo.

La **relatività generale** nasce, invece,
non da problemi sperimentali impellenti

in quanto la teoria della gravitazione di **Newton**

si accordava bene con l'esperienza

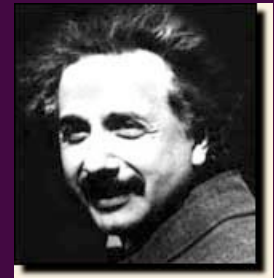
ma da un'esigenza di

revisione dei fondamenti della meccanica newtoniana

Ciò che appariva **insoddisfacente** era il fatto che **le leggi della meccanica newtoniana non fossero del tutto indipendenti dalla scelta dell'osservatore**, come invece accadeva per le leggi dell'elettromagnetismo, ma fossero legate all'inerzialità del sistema di riferimento.

In che modo si potevano rendere equivalenti tutti i sistemi di riferimento?

La soluzione matematica fu trovata nell'idea dell'**incurvamento dello spazio-tempo**, facendo ricorso alla geometria riemanniana che rendeva possibile un moto per inerzia lungo traiettorie geodetiche che non sono più rette in senso euclideo.



Un esempio del primo tipo, in cui il cambiamento di atteggiamento metodologico è stato frutto di una **attenta riflessione** e di una **libera scelta**, ci è offerto da **Einstein**.

L'Einstein della «relatività ristretta» è un "operazionista", nel senso in cui Bridgman ha teorizzato l'operazionismo.

La «relatività generale» nasce, invece non da problemi sperimentali impellenti, in quanto la teoria della gravitazione di Newton si accordava bene con l'esperienza (non a caso le verifiche sperimentali della relatività generale richiedono misurazioni estremamente fini), ma da un'esigenza di revisione dei fondamenti della meccanica newtoniana, revisione che non era stata compiuta neppure dalla relatività ristretta.

Un esempio del secondo tipo è offerto da **Heisenberg**.

Heisenberg, all'origine della sua "meccanica delle matrici", adottò il metodo operazionista, ma non poté sostenere questo metodo fino in fondo.

Anche **Heisenberg**, all'origine della sua "**meccanica delle matrici**", adottò il metodo **operazionista**:

nella teoria dovevano comparire solo grandezze osservabili.

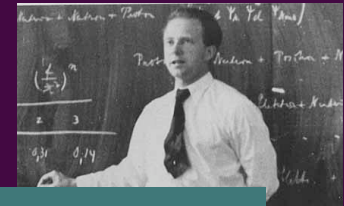
Un criterio senz'altro sicuro, tuttavia non assolutizzabile, in quanto

alcune variabili che non possono essere osservate,

a volte sono richieste per la

consistenza logica della teoria

E questi, nella meccanica di Heisenberg, sono i vettori della base ortonormale dello spazio funzionale \mathcal{H} che corrispondono alle condizioni iniziali delle autofunzioni di Schrödinger.



In questo caso, a rinunciare al criterio assoluto dell'esclusione di quantità non osservabili, Heisenberg fu condotto **dalla struttura stessa della teoria** piuttosto che da una riflessione epistemologica.

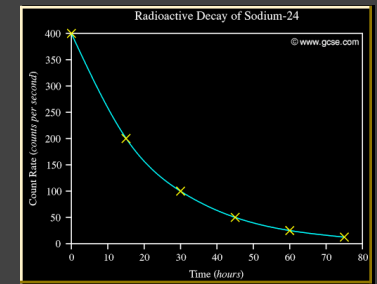
Le precedenti considerazioni rimandano in definitiva la tema dei fondamenti metafisici delle teorie scientifiche

Ogni teoria scientifica, con il suo formalismo matematico,

- stabilisce delle "relazioni" (equazioni, leggi)
- che legano tra loro delle "quantità" (grandezze):

relazioni e quantità non sono altro che "proprietà" degli "oggetti" fisici che si vogliono descrivere.

Il fatto che un oggetto fisico abbia certe proprietà piuttosto che altre è sufficiente ad escludere un determinato modo di concepire l'oggetto stesso nel suo complesso.



E questo perché "quantità" e "relazioni"

non sono oggetto solo delle scienze, ma anche della metafisica,

che le considera in quanto enti e, in particolare in quanto "proprietà" (accidenti) di altri enti (sostanze).

Così possiamo dire che una teoria scientifica può accordarsi, più o meno bene, con una certa "metafisica" ed escluderne altre.

Gli elementi della **metafisica** (metascienza) con cui una teoria scientifica meglio si accorda costituiscono contemporaneamente:

a) il quadro dei **fondamenti** filosofici (logici e ontologici) che essa implicitamente presuppone,

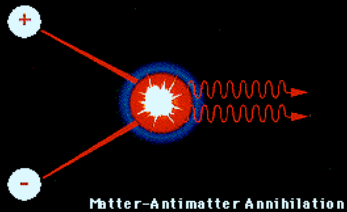
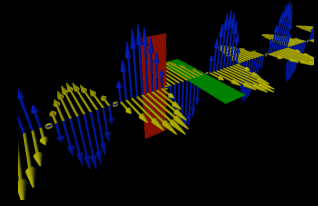
b) il quadro filosofico entro il quale si concepisce quella che solitamente viene chiamata l'"**interpretazione**" della teoria stessa.



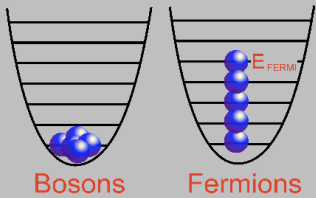
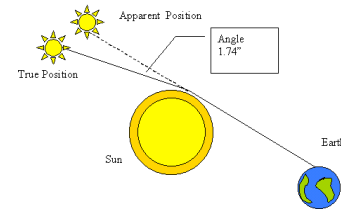
Esaminiamo ora l'interpretazione dei concetti di materia e massa, campo ed energia nelle tre grandi sintesi della fisica moderna.



1. Nella fisica classica



2. Nella relatività ristretta



3. Nella meccanica quantistica



1. La tendenza alla sostanzializzazione di massa ed energia nella fisica classica

L'interpretazione **meccanicista**

della **fisica classica** vede, da un punto di vista filosofico,

una confusione molto frequente fra "sostanza" e "accidente",
cioè tra gli "oggetti" fisici e loro "proprietà".

Dal punto di vista filosofico, ad esempio,

—la **materia** è "**sostanza**"

in quanto capace di sussistere per se stessa.

—La **massa** e l'**energia**,

invece non sono delle "cose", non sono esse stesse sostanze, ma proprietà della materia, vale a dire "**accidenti**".

1. La tendenza alla sostanzializzazione di massa ed energia nella fisica classica - 2

Con l'apparire del concetto di campo e la sua interpretazione come qualcosa di reale e non solo matematico, nella fisica classica, c'è stata la tendenza

ad **identificare**

—il **campo elettromagnetico** stesso che si propaga - 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 del campo.

Ciò 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**". Una terminologia equivoca è sempre rischiosa, soprattutto se si vuole fare scienza.

1. La tendenza alla sostanzializzazione di massa ed energia nella fisica classica - 3

Del resto prima ancora della sostanzializzazione del concetto di energia vi era stata, nell'interpretazione della fisica classica, già 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** si viene a trovare con una **doppia faccia**:

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

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

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

1. La tendenza alla sostanzializzazione di massa ed energia nella fisica classica - 4

L'estremizzazione di questi processi di **interpretazione ontologizzante**,

della massa-materia da un lato,

e dell'energia-radiazione
dall'altro,

ha indotto un duplice riduzionismo:

verso il **materialismo** prima,

e verso l'**energetismo** poi.

Tutto ciò ha una **motivazione storica**.

Cominceremo da alcune considerazioni sul materialismo

«Il concetto di forma che è alla base della dottrina ilemorfica e di tutta la fisica aristotelica era stato franteso dalla scolastica della decadenza: la forma che nel pensiero genuino di Aristotele e di Tommaso d'Aquino è una realtà incompleta e parziale, un " *ens quo* ", veniva, invece descritta come una sostanza completa, un " *ens quod* ", implicando così una sequela di contraddizioni» (Masi, 1957, cap. 3, p. 85).

Il pensiero nominalista dell'antica scuola di Oxford (sec. XIII) aveva, ormai scalzato completamente la nozione di **analogia**, rendendo **univoca** la **ricerca dei principi** su cui fondare la comprensione dell'universo. Da questo punto di vista il metodo dell'indagine era stato, di fatto, ricondotto al punto dal quale partirono i **filosofi ionici**, anche se gli strumenti di osservazione e quelli matematici erano evidentemente ad uno stadio molto più avanzato.

Per cui, **respinta** la nozione univocizzata e non più genuinamente aristotelica di " **forma** ", i nuovi "filosofi della natura", come allora si chiamavano, non ebbero altra alternativa che adottare come principio interpretativo dell'universo fisico la " **materia** ", intesa altrettanto univocamente.

Di conseguenza la **fisica newtoniana** non poteva che nascere

- "**materialista**" per quanto riguarda l'aspetto della descrizione strutturale del cosmo,
- "**meccanicista**" per quanto riguarda la spiegazione dinamica e causale del suo divenire e, infine,
- "**riduzionista**" per il modo di affronto del rapporto tra il tutto e le parti.

La successiva riduzione della termodinamica a meccanica, operata dalla teoria cinetica riaffermava il primato della materia e del suo movimento. >>>

La vera alternativa al materialismo della meccanica newtoniana

è legata all'**elettromagnetismo di Maxwell**:

«Il concetto di campo viene costruito senza adoperare il concetto di particella; [...] il campo di Maxwell non è fatto di particelle, pur essendo reale» (Masi, p. 91).

Il fatto di **sostanzializzare** l'energia del campo, che darà luogo all'energetismo, comporta gli equivoci e gli errori di concezione di cui abbiamo parlato sopra,

ma non solo:

da un certo momento in poi ci sarà la tendenza, nell'ambito della fisica classica,

a **ribaltare** la direzione del **riduzionismo** che mira a spiegare tutto in termini di materia e moto di particelle,

verso un **nuovo riduzionismo** che tende ad assumere, invece, l'energia come principio fondante al quale ricondurre anche la nozione di materia, concepita come una forma condensata di energia.

Nasce l'**energetismo** il cui primo sostenitore fu il chimico **W. Ostwald** (1895):

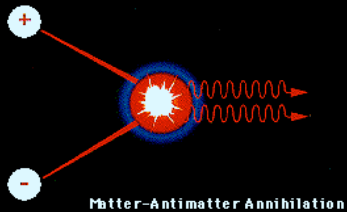
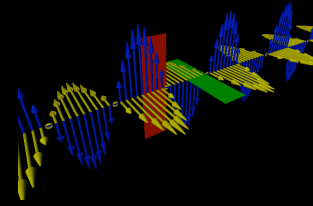


«Il carattere distintivo dell'energetismo è l'abbandono del dualismo che ha regnato sino ad ora tra materia ed energia. L'energia prende il posto del concetto più generale. Non soltanto la materia deve sopportare il prevalere dell'energia, come si vede nei trattati moderni di scienze naturali, ma le deve cedere il posto senza condizioni» (in Masi, p. 92).

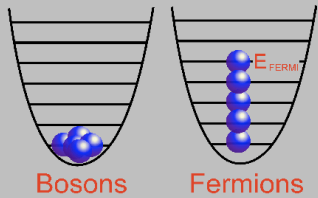
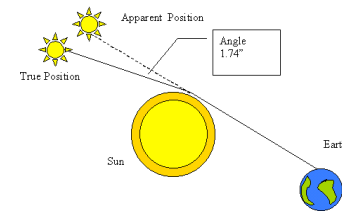
Esaminiamo ora l'interpretazione dei concetti di materia e massa, campo ed energia nelle tre grandi sintesi della fisica moderna.



1. Nella fisica classica



2. Nella relatività ristretta



3. Nella meccanica quantistica

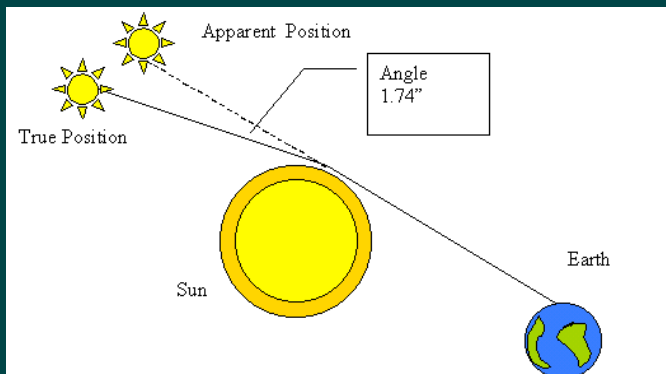


2. La tendenza alla sostanzializzazione di massa ed energia nella relatività ristretta

La **relatività ristretta**, con l'**equivalenza tra massa ed energia**, ristabilisce la simmetria:

non solo la materia, ma anche la radiazione (campo elettromagnetico) è dotata di "massa"

e questa si manifesta attraverso



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

2. La tendenza alla sostanzializzazione di massa ed energia nella relatività ristretta - 2

Si è sentito parlare più volte di **trasformazione di materia in energia**, e viceversa, nei processi nucleari.

Se si intende, con questo, che

una "sostanza" (materia di alcune particelle)

si è convertita in un "accidente" (energia)

si fa un uso filosoficamente scorretto della terminologia,

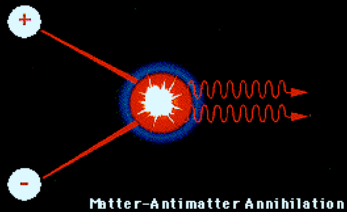
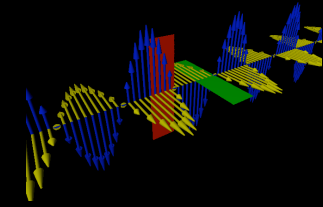
È corretto, invece, affermare che vi è stata una mutazione in cui alcune particelle hanno ceduto una frazione o tutta la loro "massa a riposo" ai prodotti di reazione (altre particelle e/o radiazione) che si è trasformata in energia cinetica ed energia elettromagnetica.

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.

Esaminiamo ora l'interpretazione dei concetti di materia e massa, campo ed energia nelle tre grandi sintesi della fisica moderna.

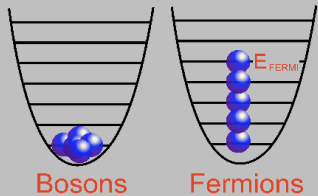
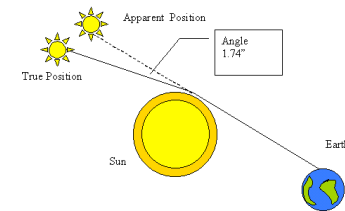


1. Nella fisica classica



Matter-Antimatter Annihilation

2. Nella relatività ristretta



Bosons

Fermions

3. Nella meccanica quantistica



3. La materia nella meccanica quantistica

Se la **relatività ristretta** ha unificato le due "proprietà" (**accidenti**) della massa e dell'energia,

la **meccanica quantistica**, nella sua versione relativistica di "teoria quantistica dei campi", tende a comporre l'**unità sostanziale** di materia e radiazione,

in quanto ci presenta un complesso di onde-particelle in cui la distinzione tra ciò che classicamente si denotava come "materia" e ciò che si denotava come "radiazione", si assottiglia drasticamente.

Materia e **radiazione** (nel senso lato di campo di interazione: gravitazionale, elettromagnetico, forte e debole, di cui si cerca l'unificazione)

costituiscono più che due entità contrapposte,

due modi di attuarsi, se vogliamo due "specie", di un'unica realtà, dotata di massa-energia, che ne è in certo modo il "genere".

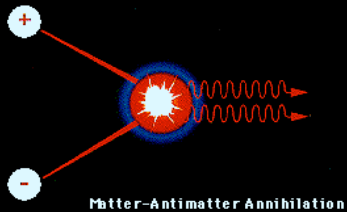
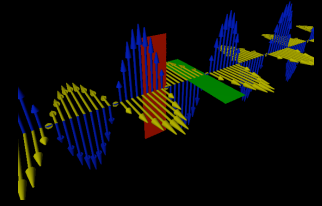
Dal punto di vista della tradizione filosofica, sembrerebbe naturale chiamare questo unico "genere" con il nome di "**materia**",

intendendo che esso può attuarsi nelle due specie che obbediscono alle due statistiche quantiche: i "**fermioni**", dotati di spin semintero, che rappresentano la materia nel senso classico del termine e i "**bosoni**", di spin intero, che costituiscono il campo d'interazione. 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".

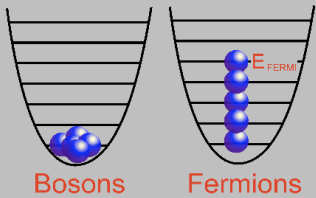
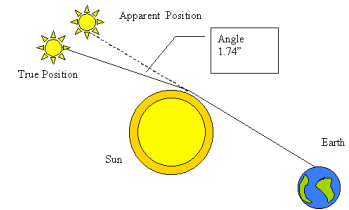
~~Esaminiamo ora l'interpretazione dei concetti di materia e massa, campo ed energia nelle tre grandi sintesi della fisica moderna.~~



1. Nella fisica classica



2. Nella relatività ristretta



3. Nella meccanica quantistica



I. ~~Che cos'è la materia?~~

II. ~~La materia come concetto filosofico-teologico~~

III. ~~L'indagine scientifica sulla materia~~

IV. ~~Tra scienza e filosofia~~

V. ~~Materia e massa, campo ed energia~~

VI. Vuoto, materia ed energia

VII. La materia e il problema del tutto e delle parti

VIII. Materia, intelligenza e astrazione

Compare, inevitabilmente, a questo punto della discussione, anche un altro antico problema: quello del "**vuoto**".

Che cos'è il vuoto? Può esistere?

Dal **punto di vista metafisico** il vuoto,

— **in senso assoluto**, è "vuoto **di ente**" e come tale si identifica con il "**nulla**" ("non ente", "ni-ente"), un concetto coniato per identificare ciò che non esiste.

Metafisicamente il vuoto **non esiste per definizione**, perché ciò che esiste, per il fatto che esiste è un "ente". Il vuoto, inteso in senso assoluto, è dunque una "negazione" assoluta, totale dell'ente.

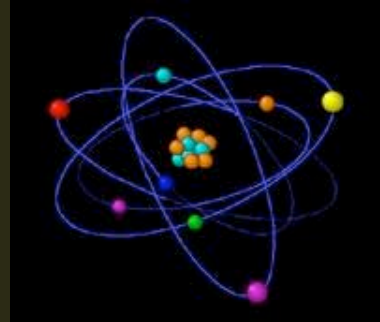
— **In un senso relativo**, non come negazione assoluta, ma solo relativa, è la "**privazione**" di qualcosa in un certo soggetto e non la negazione totale del soggetto.

In questo caso il **vuoto** è, ad esempio, "**assenza di materia**", ma non di qualcos'altro.

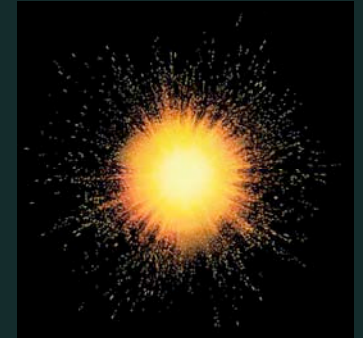
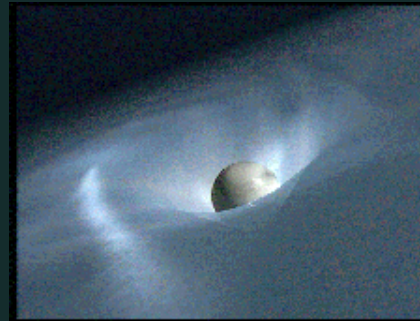
Spesso **nelle scienze si fa uso del termine "vuoto" in questo senso "privativo"** in questo caso, però, non è legittimo il passaggio da questo significato relativo a quello assoluto, per trarre conclusioni di carattere filosofico e teologico che risultano logicamente non conseguenti.

VI. Vuoto, materia ed energia - 2

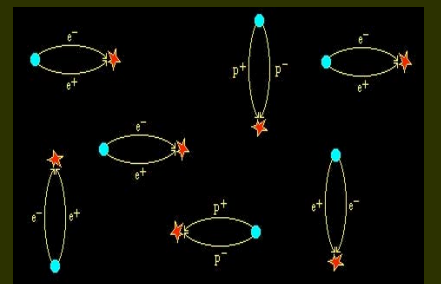
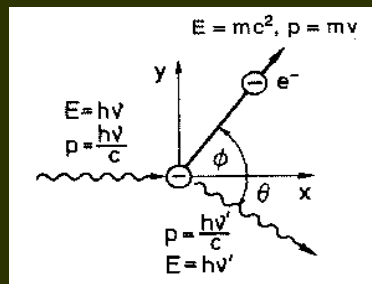
Per la Fisica classica



Per la Relatività



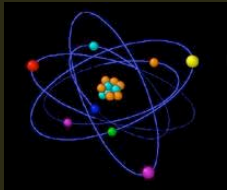
Per l'elettrodinamica quantistica



Per la fisica classica il "vuoto" è,

— nell'ambito della pura **meccanica**,

una regione dello spazio in cui è assente la materia (vuoto di materia): dove non sono presenti atomi e particelle c'è il vuoto.



Il modello planetario dell'atomo di **Rutherford** conferma il fatto che lo spazio vuoto è prevalente nel mondo fisico. Dove non c'è materia, la fisica classica ammette, comunque, che possa esservi 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**.

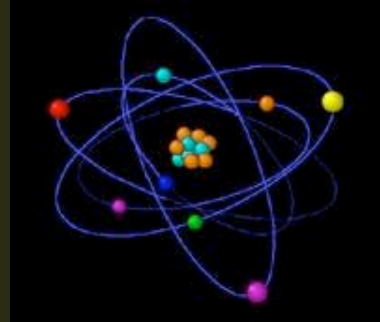
— L'**elettromagnetismo** riempie questo spazio vuoto con l'**etere** che supporta il campo, responsabile delle interazioni elettromagnetiche tra la particelle materiali cariche

e **veicola l'energia elettromagnetica** della radiazione. Il **vuoto** è, allora, un "**vuoto di materia**", ma non un vuoto assoluto, in quanto è **riempito dall'etere**.

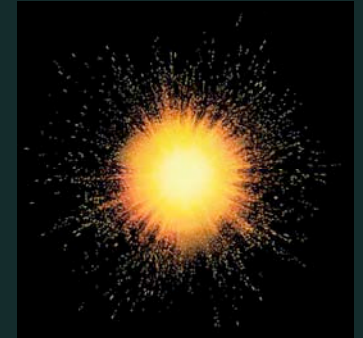
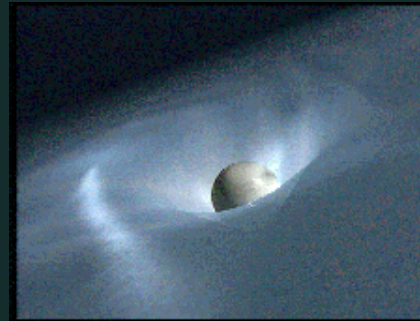


VI. Vuoto, materia ed energia - 2

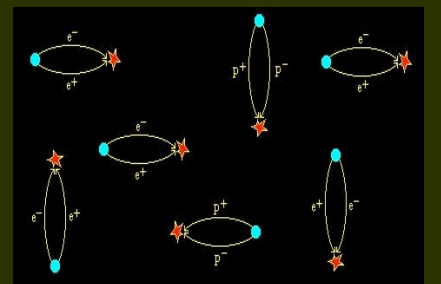
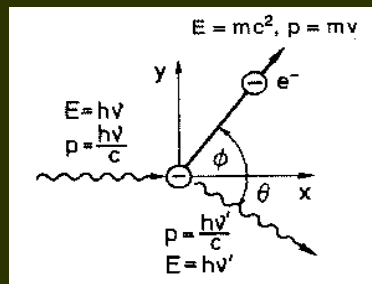
Per la Fisica classica



Per la Relatività



Per l'elettrodinamica quantistica



— La **relatività ristretta**

elimina sia l'**etere** che lo **spazio assoluto** di Newton, ristabilendo il **vuoto** come "**qualcosa**" che, comunque ha la **proprietà di trasmettere la radiazione**.

Anzi, il vuoto è, in certo senso il miglior "mezzo" in quanto, attraverso di esso, tutti i segnali viaggiano alla massima velocità consentita $c = 3 \times 10^8$ m/sec , che è appunto la velocità della luce nel vuoto.



Il **vuoto** della relatività ristretta è, dunque, un "**vuoto di materia**", ma **non di "radiazione"**.

È un vuoto che ha almeno una **proprietà**: quella di **trasmettere la radiazione**, e come tale, non è il nulla, perché ciò che ha delle proprietà è **un ente** sostanziale. Esso tuttavia non è l'etere, né lo spazio assoluto, in quanto le misure di spazio e di tempo non sono più assolute come nella fisica non relativistica.

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 le proprietà del **campo gravitazionale** con le proprietà metriche dello **spazio-tempo** (tensore metrico)
- e fa dipendere queste ultime dalla distribuzione della **massa-energia**, cioè dalla presenza della **materia** e dei **campi** non gravitazionali.

Una concezione dello spazio e del tempo molto lontana da quella newtoniana e, come è stato sottolineato da diversi autori, molto più vicina a quella aristotelica.



Nella **visione aristotelica**, infatti, lo spazio è definito mediante la nozione di contatto (oggi parliamo di interazione) tra corpi, che permette di introdurre il concetto di distanza e il tempo è definito come numero che misura il moto. Evidentemente le due concezioni non sono raffrontabili sul piano matematico, ma qualitativo e metafisico.

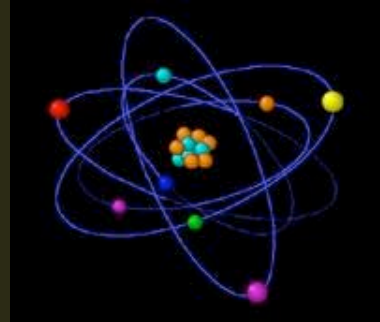
Che cos'è allora il "**vuoto**" per la relatività generale?

Il vuoto è "vuoto di materia", dove con "**materia**" si intendono sia i **corpi** che i **campi** non gravitazionali.

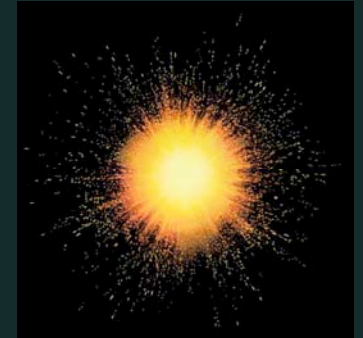
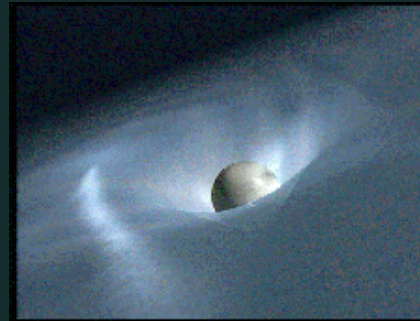
Il vuoto è il campo gravitazionale libero descritto come uno spazio-tempo riemanniano.

VI. Vuoto, materia ed energia - 2

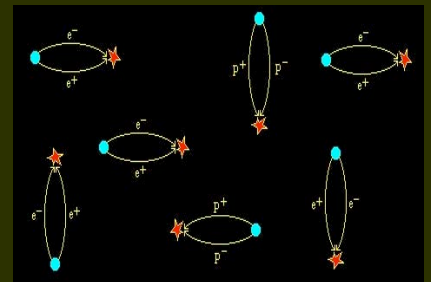
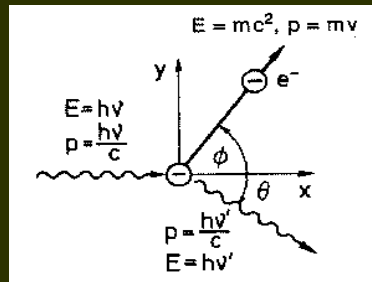
Per la Fisica classica



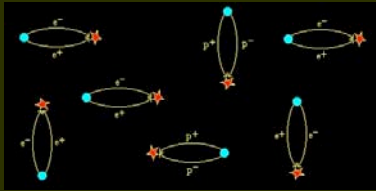
Per la Relatività



Per l'elettrodinamica quantistica



L'**elettrodinamica quantistica** e la **teoria quantistica dei campi** sostanzializzano 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.



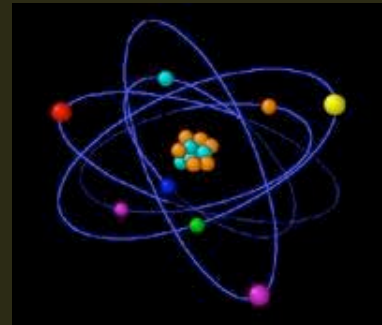
Il **vuoto** così inteso non è certo il nulla, ma semplicemente "**vuoto di materia osservabile**".

Grazie al **principio di indeterminazione di Heisenberg**, tale materia può divenire **osservabile** a patto che l'**energia ΔE** richiesta allo scopo, venga estratta dal vuoto stesso in un tempo non superiore a **$h/\Delta E$** , dove **h** è la costante di **Planck**.

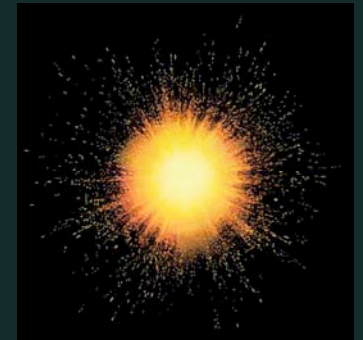
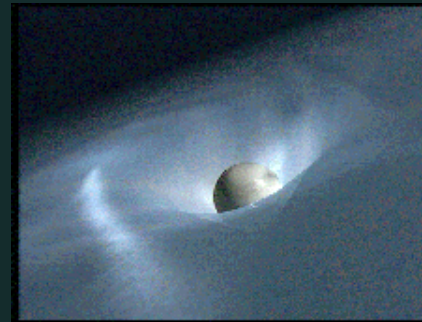
Una simile **fluttuazione quantistica del vuoto**, secondo alcuni autori, sarebbe responsabile della **generazione dell'intero universo dal "vuoto quantistico"**, che ben inteso non è il "nulla", ma è un ente preesistente, in cui sono virtualmente presenti sia le coppie di particelle-antiparticelle (materia) che l'atto necessario ad estrarle.

VI. Vuoto, materia ed energia - 2

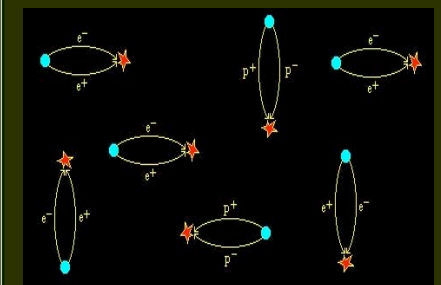
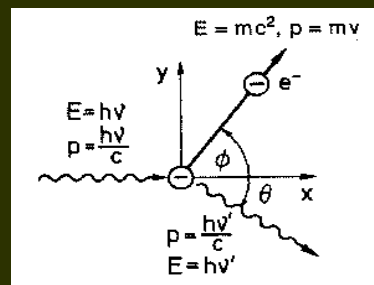
Per la Fisica classica



Per la Relatività



Per l'elettrodinamica quantistica



I. [Che cos'è la materia?](#)

II. [La materia come concetto filosofico-teologico](#)

III. [L'indagine scientifica sulla materia](#)

IV. [Tra scienza e filosofia](#)

V. [Materia e massa, campo ed energia](#)

VI. [Vuoto, materia ed energia](#)

VII. [La materia e il problema del tutto e delle parti](#)

VIII. [Materia, intelligenza e astrazione](#)

VII. La materia e il problema del tutto e delle parti

Dal punto di vista dell'analisi **metafisica**

— della **struttura** della **materia**

le problematiche che sorgono

- dalla **fisica** dei **sistemi non lineari**, e più in generale
- dalle **scienze** della **complessità**,

ci riportano direttamente al classico

problema del "tutto" e delle "parti"

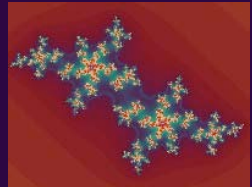
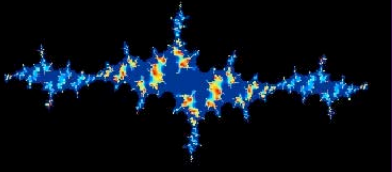
1. Diversi approcci

2. Alcuni esempi

Gli altri aspetti legati alla complessità, come

- l' "impredicibilità",
- il "caos deterministico" e
- l' "auto-organizzazione" riguardano prevalentemente

— la **dinamica** evolutiva della materia.



1. Diversi approcci

Il problema del "**tutto**" e delle "**parti**", così come oggi emerge dalle scienze (nelle quali non di rado compare come problema dell'«olismo») si può formulare in prima istanza nel modo seguente.

Consideriamo un dato oggetto (**tutto**) che chiameremo "**complesso**" in quanto si presenta a noi molto articolato e **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.

1. Diversi approcci - 2

— Il **primo caso** costituisce l'assunzione tipica dell' **approccio riduzionistico**:

il **"tutto"** viene **spiegato completamente** attraverso le sue **"parti"** componenti.

Potremmo anche dire con una formula che una sua forza espressiva, che
"il tutto è la somma delle parti"

— Il **secondo caso** evidenzia l'**insufficienza**, o l'**impossibilità**, dell'approccio riduzionistico rinviando ad un **approccio complessivo** o globale (olistico).

Distinguiamo

••• **"insufficienza"** e

••• **"impossibilità"**

perché possono presentarsi entrambe queste due situazioni.

Insufficienza dell'approccio riduzionistico



L'"insufficienza" compare quando si prende atto 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"** che lo rende **"uno"**, con delle proprietà nuove che nelle parti giustapposte non sono presenti: non a caso il termine **"forma"** sta ricomparendo nel linguaggio dei e dei matematici insieme ad un interesse rinascente per gli scritti di Aristotele.

1. Diversi approcci - 2

— Il **primo caso** costituisce l'assunzione tipica dell' **approccio riduzionistico**:

il **"tutto"** viene spiegato completamente attraverso le sue **"parti"** componenti.

Potremmo anche dire con una formula che una sua forza espressiva, che
"il tutto è la somma delle parti"

— Il **secondo caso** evidenzia l'**insufficienza**, o l'**impossibilità**, dell'approccio riduzionistico rinviando ad un **approccio complessivo** o globale (olistico).

Distinguiamo

••• **insufficienza** e

••• **impossibilità**

perché possono presentarsi entrambe queste due situazioni.

Impossibilità dell'approccio 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.

Con una formula schematica possiamo dire che, in questo caso,



"il tutto è contenuto nelle sue parti" o "replicato nelle parti"

È interessante notare come queste parti non sono necessariamente identiche, ma possiedono delle somiglianze che consentono di applicare al tutto e alle parti la stessa definizione. In linguaggio filosofico diremmo che le parti hanno la stessa "natura" del tutto.

Chiaramente queste dichiarazioni di insufficienza dell'approccio riduzionistico non vanno spinte all'exasperazione:

c'è sempre una certa legittimità nel riduzionismo, altrimenti sarebbe impossibile all'uomo la conoscenza, perché l'intelligenza umana ha bisogno di dividere e comporre per conoscere.

1. Diversi approcci - 2

— Il **primo caso** costituisce l'assunzione tipica dell' **approccio riduzionistico**:

il **"tutto"** viene **spiegato completamente** attraverso le sue **"parti"** componenti.

Potremmo anche dire con una formula che una sua forza espressiva, che
"il tutto è la somma delle parti"

— Il **secondo caso** evidenzia l'**insufficienza**, o l'**impossibilità**, dell'approccio riduzionistico rinviando ad un **approccio complessivo** o globale (olistico).

Distinguiamo

••• **"insufficienza"** e

••• **"impossibilità"**

perché possono presentarsi entrambe queste due situazioni.

VII. La materia e il problema del tutto e delle parti

Dal punto di vista dell'analisi **metafisica**

— della **struttura** della **materia**

le problematiche che sorgono

- dalla **fisica** dei **sistemi non lineari**, e più in generale
- dalle **scienze** della **complessità**,

ci riportano direttamente al classico

problema del "tutto" e delle "parti"

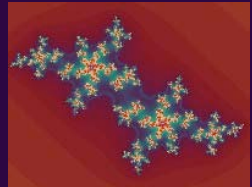
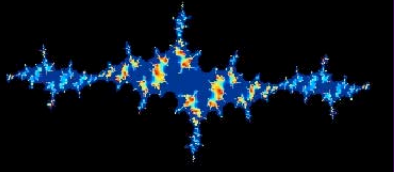
1. Diversi approcci

2. Alcuni esempi

Gli altri aspetti legati alla complessità, come

- l' "impredicibilità",
- il "caos deterministico" e
- l' "auto-organizzazione" riguardano prevalentemente

— la **dinamica** evolutiva della materia.



2. Alcuni esempi

Data la sua importanza sia per l'analisi interna alle scienze stesse, sia per le loro potenzialità di dialogo con altre forme di sapere, delineiamo brevemente come la **tematica del tutto e delle parti** viene riconosciuta ed affrontata in alcune delle **principali discipline scientifiche**.

<u>Biologia</u>	<u>Chimica</u>	<u>Fisica</u>
<u>Matematica</u>	<u>Logica</u>	<u>Informatica</u>

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, come si è già detto, il principio unitario di un ente è la **forma**, nel senso che è stato precisato.

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**.

Biologia



La biologia si trova da sempre di fronte al fatto che

il **vivente** mostra delle **proprietà** che, anche dal punto di vista chimico-fisico, sono **nuove** rispetto a quelle del non vivente.

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 **sesa,**

- **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**, del nuovo "tutto".

2. Alcuni esempi

Data la sua importanza sia per l'analisi interna alle scienze stesse, sia per le loro potenzialità di dialogo con altre forme di sapere, delineiamo brevemente come la **tematica del tutto e delle parti** viene riconosciuta ed affrontata in alcune delle **principali discipline scientifiche**.

<u>Biologia</u>	<u>Chimica</u>	<u>Fisica</u>
<u>Matematica</u>	<u>Logica</u>	<u>Informatica</u>

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, come si è già detto, il principio unitario di un ente è la **forma**, nel senso che è stato precisato.

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**.

Chimica

Lo studio approfondito della

molecola, più o meno **complessa**,



così come quello dei reticoli cristallini nei solidi e dei conduttori elettrici (per citare solo pochi esempi),

hanno messo in evidenza come

anche nella chimica del non vivente

le proprietà d'insieme — come la stessa nozione di **legame chimico** — 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 delle proprietà d'insieme che il progredire delle ricerche rivela essere sempre più significative.

2. Alcuni esempi

Data la sua importanza sia per l'analisi interna alle scienze stesse, sia per le loro potenzialità di dialogo con altre forme di sapere, delineiamo brevemente come la **tematica del tutto e delle parti** viene riconosciuta ed affrontata in alcune delle **principali discipline scientifiche**.

<u>Biologia</u>	<u>Chimica</u>	<u>Fisica</u>
<u>Matematica</u>	<u>Logica</u>	<u>Informatica</u>

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.

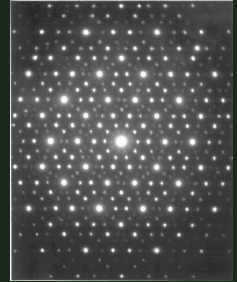
Nell'ambito della filosofia aristotelico-tomista, come si è già detto, il principio unitario di un ente è la **forma**, nel senso che è stato precisato.

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**.

Fisica

Nell'ambito della fisica dobbiamo tenere presenti i **due aspetti** che le sono propri:



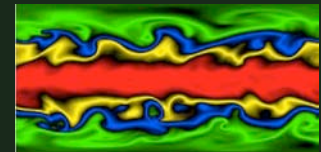
— quello inerente lo "**strumento matematico**" in se stesso

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.

— quello relativo alla "**spiegazione dell'osservazione**"

Dal punto di vista dell'accordo tra **ipotesi** ed **osservazione** ci troviamo di fronte contemporaneamente ad una vasta gamma di problemi:

••• Nella **meccanica classica** basti pensare, ad esempio, alla complessità dei moti turbolenti nei fluidi.



••• 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.

2. Alcuni esempi

Data la sua importanza sia per l'analisi interna alle scienze stesse, sia per le loro potenzialità di dialogo con altre forme di sapere, delineiamo brevemente come la **tematica del tutto e delle parti** viene riconosciuta ed affrontata in alcune delle **principali discipline scientifiche**.

<u>Biologia</u>	<u>Chimica</u>	<u>Fisica</u>
<u>Matematica</u>	<u>Logica</u>	<u>Informatica</u>

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.

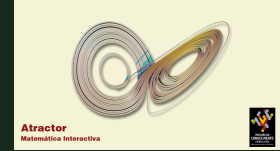
Nell'ambito della filosofia aristotelico-tomista, come si è già detto, il principio unitario di un ente è la **forma**, nel senso che è stato precisato.

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**.

Matematica

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 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 quanto riguarda l' **impossibilità**

di operare una riduzione adeguata delle parti dal tutto questa dipende dal fatto che



il tutto si ritrova "replicato" in ogni sua parte.

Un esempio tipico di questo secondo aspetto ci è offerto dalla **geometria dei frattali**.

Matematica - La non linearità

$$F(x + y) = F(x) + F(y)$$

linearità

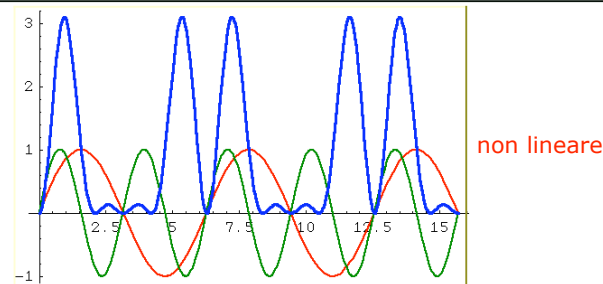
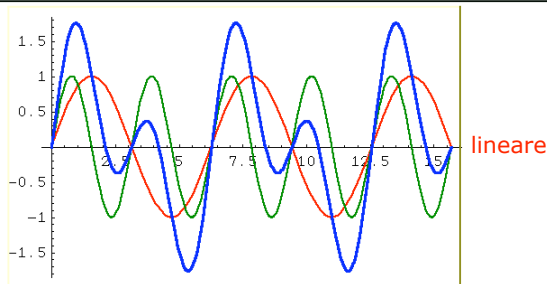
$$F(x + y) \neq F(x) + F(y)$$

non linearità

— Ora, per le equazioni "**lineari**" la **somma di due o più soluzioni** (chiamiamole "parti") è ancora **una soluzione** (chiamiamola "tutto") del sistema, e viceversa;

in **fisica** questa legge è conosciuta anche come "**principio di sovrapposizione**",

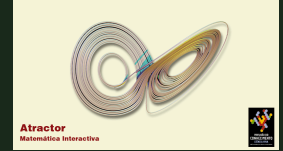
ben noto ad esempio nel caso delle onde che interferiscono sommando le loro oscillazioni.



— 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.

Matematica

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 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 quanto riguarda l' **impossibilità**

di operare una riduzione adeguata delle parti dal tutto questa dipende dal fatto che

il tutto si ritrova "replicato" in ogni sua parte.

Un esempio tipico di questo secondo aspetto ci è offerto dalla

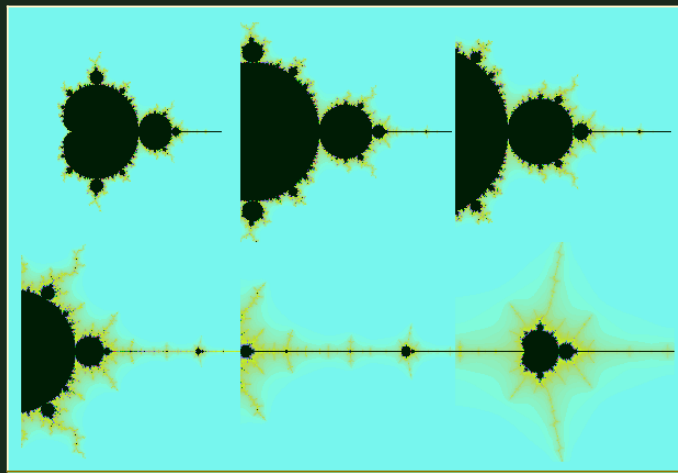
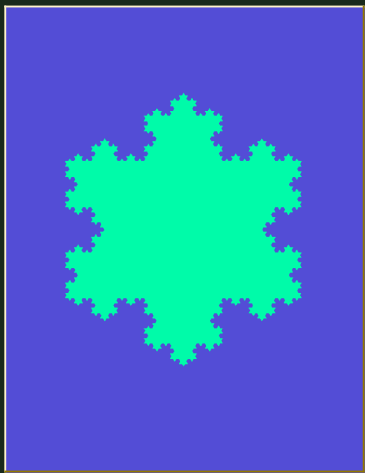
→ **geometria dei frattali.** ←



Matematica - La geometria dei frattali

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.



È interessante notare come, in certi, casi come ad esempio nell'insieme di Mandelbrot, la forma delle parti non è esattamente identica, ma è simile a quella del tutto e ne conserva il grado di complessità, che in questo caso, può essere quantificato mediante la cosiddetta "dimensione frattale".

VII. La materia e il problema del tutto e delle parti - 4

2. Alcuni esempi

Data la sua importanza sia per l'analisi interna alle scienze stesse, sia per le loro potenzialità di dialogo con altre forme di sapere, delineiamo brevemente come la **tematica del tutto e delle parti** viene riconosciuta ed affrontata in alcune delle **principali discipline scientifiche**.

<u>Biologia</u>	<u>Chimica</u>	<u>Fisica</u>
<u>Matematica</u>	<u>Logica</u>	<u>Informatica</u>

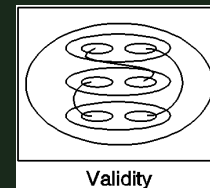
In tutte le scienze, dunque, sembra comparire una **struttura gerarchizzata** di informazioni legate al **grado di complessità** e quindi di unitarietà della struttura chiamata in causa.

Nell'ambito della filosofia aristotelico-tomista, come si è già detto, il principio unitario di un ente è la **forma**, nel senso che è stato precisato.

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**.

Logica



Nella logica il problema del rapporto tra il tutto e le parti si presenta principalmente

nel **secondo dei due aspetti** già menzionati, quello per cui **il tutto è rinvenibile**, in qualche modo, **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 che contiene se stessa come elemento:

in questo caso **una parte della collezione coincide con il tutto**.

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

2. Alcuni esempi

Data la sua importanza sia per l'analisi interna alle scienze stesse, sia per le loro potenzialità di dialogo con altre forme di sapere, delineiamo brevemente come la **tematica del tutto e delle parti** viene riconosciuta ed affrontata in alcune delle **principali discipline scientifiche**.

<u>Biologia</u>	<u>Chimica</u>	<u>Fisica</u>
<u>Matematica</u>	<u>Logica</u>	<u>Informatica</u>

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, come si è già detto, il principio unitario di un ente è la **forma**, nel senso che è stato precisato.

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**.

Informatica

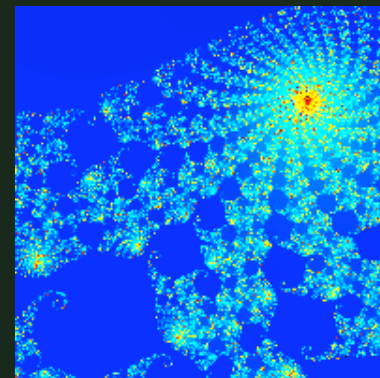
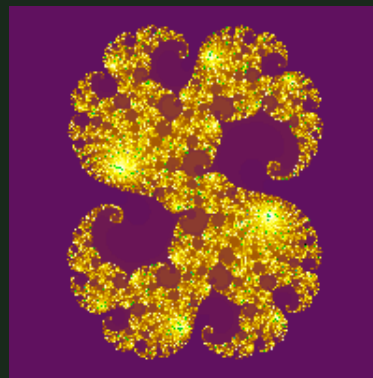
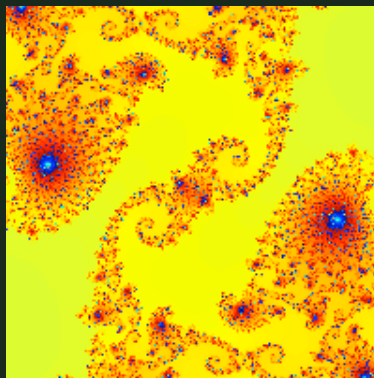
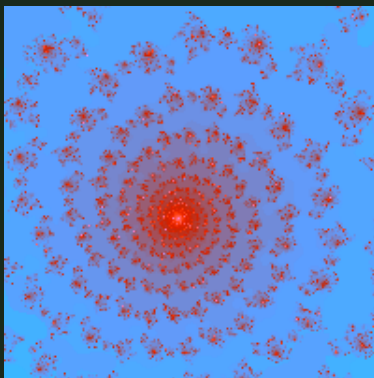


Spetta tuttavia forse all'informatica

il merito di aver reso attuali le ormai classiche problematiche di logica matematica, come quelle legate al teorema di Gödel sulla coerenza e la completezza dei sistemi assiomatici,

così come a rendere rappresentabili sullo schermo di un computer degli insiemi - che fino a quel momento erano sembrati dei veri e propri "mostri" matematici, a causa del loro contorno, infinitamente tortuoso

come gli insiemi di Julia prima che se ne vedesse la bellezza e l'eleganza su un video a colori.



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, compreso il livello dell'intelligenza umana che si sta rivelando anche scientificamente come non riducibile a calcolo (Penrose).

2. Alcuni esempi

Data la sua importanza sia per l'analisi interna alle scienze stesse, sia per le loro potenzialità di dialogo con altre forme di sapere, delineiamo brevemente come la **tematica del tutto e delle parti** viene riconosciuta ed affrontata in alcune delle **principali discipline scientifiche**.

<u>Biologia</u>	<u>Chimica</u>	<u>Fisica</u>
<u>Matematica</u>	<u>Logica</u>	<u>Informatica</u>

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, come si è già detto, il principio unitario di un ente è la **forma**, nel senso che è stato precisato.

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**.

VII. La materia e il problema del tutto e delle parti

Dal punto di vista dell'analisi **metafisica**

— della **struttura** della **materia**

le problematiche che sorgono

- dalla **fisica** dei **sistemi non lineari**, e più in generale
- dalle **scienze** della **complessità**,

ci riportano direttamente al classico

problema del "tutto" e delle "parti"

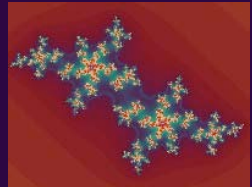
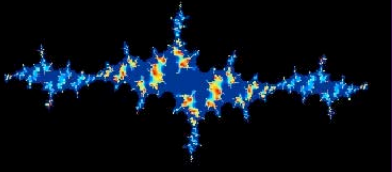
1. Diversi approcci

2. Alcuni esempi

Gli altri aspetti legati alla complessità, come

- l' "impredicibilità",
- il "caos deterministico" e
- l' "auto-organizzazione" riguardano prevalentemente

— la **dinamica** evolutiva della materia.



I. ~~Che cos'è la materia?~~

II. ~~La materia come concetto filosofico-teologico~~

III. ~~L'indagine scientifica sulla materia~~

IV. ~~Tra scienza e filosofia~~

V. ~~Materia e massa, campo ed energia~~

VI. ~~Vuoto, materia ed energia~~

VII. ~~La materia e il problema del tutto e delle parti~~

VIII. ~~Materia, intelligenza e astrazione~~

VIII. Materia, intelligenza e astrazione

VII <<<

Inizio

Le **scienze cognitive** si occupano di
come si forma la **conoscenza intelligente**

- nella **nostra mente**, nel suo **rapporto con**
 - il **cervello** e più in generale con
 - il **corpo**,
- anche in vista di una sua almeno parziale **riproduzione** mediante il **computer**

Osservando la **metodologia delle ricerche scientifiche attuali** sull'intelligenza artificiale, dal punto di vista filosofico, ci troviamo subito di fronte ad un duplice approccio:

schematicamente possiamo parlare di una

- via "**platonica**" e
- una "**aristotelica**"



facendoci perdonare un uso un po' schematico, ma molto significativo di questa terminologia di lavoro.

a) L'affronto che chiamiamo, in qualche modo, "**platonico**" è anche **riduzionistico**:

si fonda su una **teoria della conoscenza come "anamnesi"**, ricordo di idee innate che vengono risvegliate dall'impatto con l'esperienza sensibile.

In quest'ottica l'intelligenza è ricondotta a quell'operazione che porta in primo piano la "**memoria**" fino ad una sovrapposizione, almeno approssimata, dell'idea con il dato sensibile dell'esperienza.

Dal **punto di vista informatico** questa concezione suggerisce la tecnica dell'immissione, da parte dell'operatore, di quante più **informazioni** sia possibile, nell'**hardware** della macchina: queste giocano un ruolo simile a quello di idee innate, o come si preferisce chiamarle, in questo caso, di concetti.

Con questa strategia il sistema funziona bene fino a che non ci si allontana dall'insieme dei dati immagazzinati, ma non sa riconoscere certe somiglianze e non riesce a stabilire analogie. Si ottiene uno scarso livello di universalità dei cosiddetti concetti.

VIII. Materia, intelligenza e astrazione

VII <<<

Inizio

Le **scienze cognitive** si occupano di

come si forma la **conoscenza intelligente**

— nella **nostra mente**, nel suo **rapporto con**

•• il **cervello** e più in generale con

•• il **corpo**,

— anche in vista di una sua almeno parziale **riproduzione** mediante il **computer**

Osservando la **metodologia delle ricerche scientifiche attuali** sull'intelligenza artificiale, dal punto di vista filosofico, ci troviamo subito di fronte ad un duplice approccio:

schematicamente possiamo parlare di una

— via "**platonica**" e

— una "**aristotelica**" 

facendoci perdonare un uso un po' schematico, ma molto significativo di questa terminologia di lavoro.

b) Una seconda modalità di approccio si basa su una **metodologia capovolta** rispetto alla precedente e più simile alla concezione "**aristotelica**",

o almeno a quella **empirista**, in quanto si fonda sull'ipotesi che la **conoscenza non è innata**,

ma viene appresa dall'**esperienza** mediante un processo che va

dai **sensi** esterni

al **cervello** e

alla **mente**.

Si tratta di una metodologia che tenta di mettere a punto delle

tecniche di "apprendimento" di concetti da parte della macchina.

VIII. Materia, intelligenza e astrazione - 4

Ma che cos'è un **concetto**?

In entrambi i precedenti approcci c'è la tendenza a far ricorso a **due tecniche**,

- quella dell'**approssimazione** da un lato, e
- quella della **modellizzazione** dall'altro.

La "**tecnica dell'approssimazione**" si ricollega, in qualche modo, alla nozione empiristica del concetto che si ritrova nella filosofia di **David Hume** (1711-1776):

il concetto sarebbe come una sorta di dato "**singolare sfumato**"

e si cerca di realizzare questa sfumatura del singolare in vista di una sua generalizzazione introducendo un **marginale di errore permesso**, che consente di fare rientrare dentro lo schema rappresentativo più oggetti, anziché uno solo.

La "**tecnica della modellizzazione**" è certamente meno rudimentale di quella dell'approssimazione e si fonda su un processo di vera e propria "**astrazione**" (**compiuta però in precedenza dall'uomo**) volto ad identificare gli elementi comuni a più dati singolari.

VIII. Materia, intelligenza e astrazione - 5

Sembra utile, oltre che interessante, un

confronto con la scienza cognitiva di Tommaso d'Aquino,
fondata su quella di Aristotele.

Questa identificava, basandosi sull'esperienza comune,

tre operazioni proprie dell'**intelligenza umana**:

— la prima operazione veniva detta ***simplex apprehensio*** e potremmo convenire di traslitterare questa dizione in italiano come "**semplice apprensione**";

— la seconda operazione è il "**giudizio**" (***iudicium***);

— la terza è il "**ragionamento**" (***ratiocinium***).

VIII. Materia, intelligenza e astrazione - 6

La teoria dell'**astrazione** si colloca al livello della **prima operazione**, in quanto per "**astrazione**" si intende quel processo

che la **mente** compie sul **dato elaborato dal corpo**,

partendo da un elemento **sensibile singolare**

estraendone un prodotto informativo **universale immateriale**,

quale è, secondo questa teoria, il **concetto** (cfr. Summa theologiae, I, q. 85, a. 1).

Questa **operazione** di carattere cognitivo,

che **svincola**, in qualche modo, l'**informazione** dal **segnale fisico che la trasporta**, dalla rappresentazione fisiologica che si trova nel corpo e nel cervello, dal punto di vista logico

ha l'effetto di fornire il dato nella forma di un "**universale**" (concetto), rimuovendolo dal contesto materiale che lo delimitava e lo rendeva un "singolare" concreto.

VIII. Materia, intelligenza e astrazione - 7

Il concetto si presenta con una natura diversa, non riducibile a dato sensibile materiale: esso è un contenuto informativo caratterizzato dalla sua universalità e non materialità, non riducibile ad uno stato cerebrale, anche se legato a questo.

In quest'ottica l'universalità non è ottenibile come genericità, nel senso di indeterminatezza, alla Hume: l'universale non è un singolare approssimato, con un margine di errore nei suoi contorni, ma è qualcosa di qualitativamente diverso, essendo un'informazione non materiale.

Il contenuto dell'informazione non coincide propriamente con il segnale che la trasporta, anche se non può prescindere da un veicolo fisico (di natura elettrica, chimica, o altro)

Si pone allora il problema di come debba essere fatta la mente per compiere questa operazione di astrazione di un'informazione non materiale, universale, dal dato sensibile elaborato fino al suo stato cerebrale.

La risposta che viene data, nell'ambito di questa teoria, è che per compiere un'operazione di astrazione di un principio non materiale, come l'informazione, occorre una mente non materiale, per ragioni di causalità adeguata.

Se questo modo di accostare il problema è corretto non sembra che un computer da solo, in quanto è materiale - o un cervello da solo, in quanto è materiale - possa elaborare un concetto universale e astratto, anche se può gestire delle informazioni ad esso legate, in tanto in quanto viene fatto lavorare da un operatore che è dotato di una mente immateriale.

Ciò che la macchina, il corpo-cervello possono al più produrre è una rappresentazione elettromagnetica, o elettrochimica o altro che non contiene certamente la materia dell'oggetto osservato, ma che è comunque ancora legata alla materia-energia di un segnale fisico e come tale non è ancora universale.

VIII. Materia, intelligenza e astrazione

Le **scienze cognitive** si occupano di

come si forma la **conoscenza intelligente**

— nella **nostra mente**, nel suo **rapporto con**

•• il **cervello** e più in generale con

•• il **corpo**,

— anche in vista di una sua almeno parziale **riproduzione** mediante il **computer**

Osservando la **metodologia delle ricerche scientifiche attuali** sull'intelligenza artificiale, dal punto di vista filosofico, ci troviamo subito di fronte ad un duplice approccio:

schematicamente possiamo parlare di una

— via "**platonica**" e

— una "**aristotelica**"

facendoci perdonare un uso un po' schematico, ma molto significativo di questa terminologia di lavoro.

I. ~~Che cos'è la materia?~~

II. ~~La materia come concetto filosofico-teologico~~

III. ~~L'indagine scientifica sulla materia~~

IV. ~~Tra scienza e filosofia~~

V. ~~Materia e massa, campo ed energia~~

VI. ~~Vuoto, materia ed energia~~

VII. ~~La materia e il problema del tutto e delle parti~~

VIII. ~~Materia, intelligenza e astrazione~~

Bibliografia

- **A. EINSTEIN e L. INFELD, L'evoluzione della fisica, Einaudi, Torino 1953 (riedizione 1999)**
- **R. MASI, Struttura della materia. Essenza metafisica e costituzione fisica, Morcelliana, Brescia 1957**
- **P.A.M. DIRAC, Principles of quantum physics, Clarendon Press, Oxford 1958**
- **P.A. SCHILPP (a cura di), Albert Einstein scienziato e filosofo, Boringhieri, Torino 1958**
- **L. LANDAU E S. LIFSCHITZ, Fluid Mechanics, Addison-Wesley, Reading (MA) 1959**
- **A. EINSTEIN, Relatività: esposizione divulgativa, Boringhieri, Torino 1960**
- **W. PAULI, Collected Scientific Papers, Interscience, New York 1964**
- **P.W. BRIDGMAN, La logica della fisica moderna, Boringhieri, Torino 1965**
- **M. JAMMER, Storia del concetto di spazio, Feltrinelli, Milano 1966**
- **M. DAUMAS (a cura di), Storia della Scienza, Laterza, Bari 1969**
- **T.S. KUHN, La struttura delle rivoluzioni scientifiche, Einaudi, Torino 1969**
- **A. KOYRÉ, Introduzione a Platone, Vallecchi, Firenze 1973**

- **N.I. LOBACEVSKIJ, Nuovi principi della geometria (1835-1838), Boringhieri, Torino 1974**
- **J. MARITAIN, La filosofia della natura, Morcelliana, Brescia 1974**
- **M. JAMMER, Storia del concetto di massa, Feltrinelli, Milano 1982**
- **R. THOM, Stabilità strutturale e morfogenesi. Saggio di una teoria generale dei modelli, Einaudi, Torino 1980**
- **E. NAGEL e J. R. NEWMAN, la prova di Gödel, Boringhieri, Torino 1982**
- **H. FIRETZSCH, Quark. I mattoni del mondo, Boringhieri, Torino 1983**
- **D.R. HOFSTADTER, Gödel, Escher e Bach: un'eterna ghirlanda brillante, Adelphi, Milano 1984**
- **A. PAIS, "Sottile è il Signore..." La vita della scienza di Albert Einstein, Boringhieri, Torino 1986**
- **J.J. SANGUINETI, La filosofia del cosmo in Tommaso d'Aquino, Ares, Milano 1986**
- **H.O. PEITGEN E P.H. RICHTER, La bellezza dei frattali, Bollati Boringhieri, Torino 1987**
- **F. SELLERI, La casualità impossibile. L'interpretazione realistica della fisica dei quanti, Jaca Book, Milano 1987**
- **G. COHEN-TANNOUDJI e M. SPIRO, La materia-spazio-tempo. La logica delle particelle elementari, Jaca Book, Milano 1988**

- **S.G. SHANKER, Il teorema di Gödel. Una messa a fuoco, Muzzio, Padova 1988**
- **M. ARTIGAS e J.J. SANGUINETI, Filosofia della natura, Le Monnier, Firenze 1989**
- **B.B. MANDELBROT, La geometria della natura. Sulla teoria dei frattali, Theoria, Roma-Napoli, 1989**
- **T. e I. ARECCHI, I simboli e la realtà, Jaca Book, Milano 1990**
- **A. SALAM, L'unificazione delle forze fondamentali. Lo sviluppo e gli obiettivi della fisica moderna, Rizzoli, Milano 1990**
- **G. BASTI, Il rapporto mente-corpo nella filosofia e nella scienza, ESD, Bologna 1991**
- **L. MAIANI (a cura di), Campi, forze e particelle, Le Scienze Editore, Milano 1991**
- **L. DE BROGLIE, E. SCHRÖDINGER, W. HEISENBERG, Onde e particelle in armonia. Alle sorgenti della meccanica quantistica, a cura di Sigfrido Boffi, Jaca Book, Milano 1991**
- **G. NICOLIS e I. PRIGOGINE, La complessità. Esplorazioni nei nuovi campi della scienza, Einaudi, Torino 1991**
- **A. STRUMIA, Introduzione alle filosofia delle scienze, ESD, Bologna 1992;**
- **" " , Il problema della creazione e le cosmologie scientifiche, "Divus Thomas" 1 (1992), pp. 82-94**
- **R.P. FEYNMAN, QED. La strana teoria della luce e della materia, Adelphi, Milano 1989**

- M. CINI, **Un paradiso perduto. Dall'universo delle leggi naturali al mondo dei processi evolutivi**, Feltrinelli, Milano 1994
 - R. RUSSELL, N. MURPHY, A. PEACOCKE (a cura di), **Caos and Complexity. Scientific Perspectives on Divine Action**, LEV and Center for Theology and The Natural Sciences, Città del Vaticano - Berkeley 1995
 - H. POINCARÉ, **Geometria e caso. Scritti di matematica e fisica**, a cura di C. Bartocci, Boringhieri, Torino 1995
 - G. BASTI e A.L. PERRONE, **Le radici forti del pensiero debole**, Il Poligrafo - Pontificia Università Lateranense, Padova 1996
 - R. PENROSE, **Ombre della mente. Alla ricerca della coscienza**, Rizzoli, Milano 1996
 - R. COGGI, **La filosofia della natura? Ciò che la scienza non dice**, ESD, Bologna 1997
 - M. RIGHETTI e A. STRUMIA, **L'arte del pensare. Appunti di logica**, ESD, Bologna 1998
 - J. VON NEUMANN, **I fondamenti matematici della meccanica quantistica**, Il Poligrafo, Padova 1999
 - F. BERTELÈ, A. OLMI, A. SALUCCI e A. STRUMIA, **Scienza, analogia, astrazione. Tommaso d'Aquino e le scienze della complessità**, Il Poligrafo, Padova 1999
 - A. STRUMIA, voce ***Materia*** , in **"Dizionario Interdisciplinare di Scienza e Fede"**, a cura di G. Tanzella-Nitti e A. Strumia, Città Nuova e Urbaniana University Press, Roma 2002
-