

Convegno di studi su:
IMPLICAZIONI ONTOLOGICHE DEI SAPERI SCIENTIFICI
Questioni e prospettive nel dialogo tra scienze e teologia

23–25 Gennaio 2003 - PONTIFICIA UNIVERSITÀ LATERANENSE, P.za S. Giovanni in Laterano, 4
00120 Città del Vaticano

TRACCE DI ONTOLOGIA ARISTOTELICA NELLA FISICA DEGLI ULTIMI DECENNI

*Alberto Strumia – Dipartimento di Matematica – Università di Bari – I**

Introduzione

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

- il rispetto dell'esperienza in tutti i suoi elementi;
- l'impiego di un "linguaggio" *adeguato* a descriverla e a formularne una spiegazione.

Ogni qual volta almeno uno di questi due fattori — per qualunque ragione: errore involontario, scelta ideologica, miope utilitarismo, ecc. — viene trascurato, quando non rifiutato, il pensiero sembra, alla fine del suo impegno elaborativo, aver perso tempo, essersi distorto, aver prodotto risultati fuorvianti.

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

- in precedenza non adeguatamente compreso
- o trascurato in prima approssimazione

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

Per questo anche approcci che, in un primo momento, appaiono tra loro distanti, se non incompatibili, quando riescono ad essere fedeli a questi due principi metodologici, un po' alla volta, si trovano a convergere verso le medesime conquiste conoscitive, che emergono come delle verità, destinate, proprio perché verità, a resistere nel tempo.

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

- tra il *pensiero scientifico* oggi in profondo mutamento quanto ai suoi *fondamenti*, nell'intento di ricomprendere e spiegare, al suo interno, i nuovi "dati" emergenti nelle più diverse discipline, e
- il *pensiero metafisico* antico di origine *aristotelica* e sviluppo *tomista*.

Si tratta, ora

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

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

Ciò che si presenta come

- una *necessità epistemologica* per le *scienze*, dovrebbe poter giungere ad essere anche

* Via Orabona 4 – 70100 Bari (I). E-mail strumia@dm.uniba.it.

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

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

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

— filosofia *metafisica* (da Parmenide fino a Platone e Aristotele) che affrontò per la prima volta il *problema dei fondamenti*.

Uno sguardo d'insieme

Cercherò, in questa necessariamente sintetica riflessione, di toccare alcuni argomenti che riassumo nello schema sotto riportato,

— iniziando con un accenno alle caratteristiche di questo *linguaggio*;

— e proseguendo con l'individuazione di quei *filoni* di "questioni" (le "*quaestiones*" di oggi) di interesse scientifico che, trasversalmente riguardano diverse scienze naturali, a cominciare dalla *fisica*, ma anche dalla *chimica*, alla *biologia*, alle *scienze cognitive* e che si possono vedere anche come punti di vista che comunicano tra loro attorno ad uno stesso oggetto.

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

Ecco lo schema di lavoro.

A. Il problema della *MATERIA* nel duplice aspetto della ricerca

— dei suoi *costituenti* (approccio *locale* o riduzionistico: dalla "parte" al "tutto") ai diversi livelli di scala

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

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

▪ della sua *struttura* d'insieme (approccio *globale* o olistico) secondo le *relazioni* tra le sue parti

• collocate nello spazio-tempo (approccio geometrico -> statico)

• in interazione (approccio fisico -> dinamico)

▪ della sua *dinamica* per quanto riguarda

• il *mutamento* delle sue parti in rapporto all'ambiente (approccio ai processi) con

○ scambio di energia e informazione

○ accrescimento

○ evoluzione

• il *permanere* di alcuni dei suoi caratteri come un "tutto"

○ leggi di conservazione (fisica, chimica)

○ invarianze-simmetrie (fisica, chimica)

○ forma (biologia)

B. IL PROBLEMA DELLO SPAZIO E DEL TEMPO: DELLA LORO

— *autonomia* o *dipendenza*

- dal moto e
- dalla materia che li “riempie-costituisce” e quindi il problema del
 - *vuoto*

— *diversificazione del tempo dallo spazio: la freccia del tempo*

C. IL PROBLEMA DELLA CAUSALITÀ

— in rapporto alla *dinamica* dei processi

- *deterministica*
 - predicibile (stabile)
 - imprevedibile (instabile, caotica)
- *indeterministica*
 - in se stessa
 - indeterminismo come legge di natura (teorico)
 - di fatto
 - indeterminismo dell’osservazione (sperimentale)
 - indeterminismo dovuto alla difficoltà di calcolo (statistico)

— in quanto legato alla *ordinabilità* (“*prius et posterius*”). Problema della

- *origine* (catena causale -> causa prima)
 - in senso *temporale* (locale, riduzionistico)
 - condizioni iniziali del moto
 - origine dell’universo nel tempo
 - in senso *complessivo* (globale, olistico)
 - progetto originario: esseri viventi, uomo, principio antropico. ecc.
- *finalità* (catena causale -> causa ultima)
 - in senso *temporale* (locale, riduzionistico)
 - condizioni finali del moto, attrattori
 - destino dell’universo
 - in senso *complessivo* (globale, olistico)
 - attuazione di un progetto: esseri viventi, uomo, principio antropico, ecc.
- *struttura* (forma)
 - in senso spazio-temporale (locale, riduzionistico)
 - non separabilità delle parti tra loro
 - in senso *complessivo* (globale, olistico)
 - come gerarchia di livelli
 - il tutto possiede un principio ordinatore irriducibile alla parte
- *fondamento*
 - piano logico. problema dei fondamenti logico-matematici
 - piano ontologico: problema dei fondamenti dell’ente fisico

Tutti questi, e altri, problemi con i quali un po' tutte le scienze naturali odierne si trovano a fare i conti, sono problemi riguardanti le proprietà dell'*ente* in quanto *fisico*, materiale, soggetto al moto, ma caratterizzato anche da proprietà *formali*, quindi immateriali (informazione). Ecco che la scienza cerca la sua ontologia, ma la cerca con il suo linguaggio che non è quello comune, ma è quello tecnico della logica e della matematica. Questo linguaggio deve, però, ampliarsi rispetto a quello attualmente in uso in tali discipline, per poter formulare anche i suoi problemi ontologici.

Un linguaggio formalizzato per le scienze e per l'ontologia

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

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

- *formalizzato* e quindi *simbolico* come quello oggi in uso nella matematica;
- *aperto*, cioè utilizzato in modo da costituire un sistema logico *aperto* (e non *assiomatizzato*, *chiuso*) diversamente da quello oggi in uso nella matematica, in modo da essere in grado di *apprendere*, "adattandosi" al suo oggetto e non pretendere di contenere già tutto il sapere implicitamente nei suoi principi (assiomi);
- *analogico*, e non forzatamente univoco come il linguaggio logico-matematico odierno, ma in grado di includere anche quella grande conquista del pensiero aristotelico-tomista che è l'*analogia entis*.

A. Il problema della materia

Il problema della materia è stato visto, fino a qualche decennio fa, anche in ambito scientifico, seguendo un'impostazione tipicamente *riduzionistica* come problema dei *costituenti elementari* della materia. In tempi più recenti, con una conseguente crisi del valore assoluto dell'approccio riduzionistico, sono emersi altri due aspetti che non si possono del tutto separare dal problema dei costituenti:

- quello della *struttura d'insieme* della materia e
- quello della sua *dinamica d'insieme*.

Cercheremo di vedere come questi tre aspetti stiano convergendo verso una visione unitaria più vicina allo schema aristotelico della materia (organico, dinamico) e allontanandosi da quello che, almeno in prima approssimazione chiameremo "platonico" e (geometrico, statico).

A.1. I COSTITUENTI (APPROCCIO LOCALE O RIDUZIONISTICO: DALLA PARTE AL TUTTO)

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

- quello secondo cui la conoscenza del "tutto" è riconducibile alla conoscenza delle "parti" che lo costituiscono;
- quello secondo cui
 - le "parti" e il "tutto" e
 - le "parti" tra lorosono *omogenei*, cioè della stessa *natura*.

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

Il secondo presupposto non sembra essere stato ancora afferrato, ma si sta affacciando nelle scienze, soprattutto al livello del loro linguaggio logico-matematico (a cominciare dalla *teoria dei “tipi”* che avverte la necessità di differenziare i “modi di essere logici” secondo i quali si può attuare un *insieme* o un’*enunciazione*). Va osservato come il linguaggio matematico odierno abbia la possibilità di avvicinarsi a questa prospettiva che ancora le scienze fisiche non hanno raggiunto. Successivamente anche le scienze fisiche che lo utilizzano potranno avvantaggiarsene. A questo proposito 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 delle particelle materiali, in questo caso, compaiono i “punti” che ci riportano ad una descrizione geometrica dello spazio fisico. 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”. C’è da chiedersi se la crisi degli *irrazionali*, che bloccò il pitagorismo, non si possa paragonare all’odierna crisi dei fondamenti della matematica culminata con i teoremi di Gödel e se la soluzione di questa, in alternativa ad un blocco teoretico dell’intero impianto matematico, non sarà necessariamente nella direzione dell’ontologia, e di un’ontologia formalizzata.

Il modo di procedere della fisica, alla ricerca dei “mattoni” elementari di cui è fatto l’universo che si riscontra nell’ambito della scienza moderna era presente già in quella antica degli *Ionici* prima, e nell’atomismo di Democrito poi. Come oggi i fisici ritengono che i *quark* siano i componenti fondamentali, così gli antichi indagatori del mondo fisico pensarono, più semplicemente, alla *terra*, all’*acqua*, all’*aria* e al *fuoco* (i “quattro elementi”), in modo da descrivere, con un dosaggio più o meno rarefatto di questi elementi, ogni gradazione possibile di densità e pesantezza sperimentabili, oltre alle differenti proprietà qualitative. 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. 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 che non è “materia” allo stesso “modo”, ma è un “principio” (“*ens quo*”) e se è l’unico principio necessario per descrivere il comportamento della materia osservabile.

A questo punto era maturo il passaggio dall’approccio fisico e matematico all’approccio metafisico. La domanda con cui il problema della comprensione della realtà fu affrontata non era più: “Quali sono gli elementi costitutivi?”, ma “come è possibile il cambiamento nelle cose?”, il divenire. In termini odierni diremmo: che il problema della *dinamica*, affrontato nella sua *complessità*, conduce a ritrovare all’analogia dell’ente. 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. Eppure vanno ipotizzati per ragioni di ordine logico, per poter spiegare il comportamento osservabile 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 (si pensi a certi paradossi della logica, della matematica e della fisica recente). Emerge, anche solo da queste prime considerazioni, per la logica delle scienze la necessità di dotarsi di una *teoria dell’analogia*, formulata nel loro linguaggio.¹

A.1.1. *Su scala macroscopica*

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

- l’ambiente
- il pianeta Terra

¹ Cfr. *Dizionario Interdisciplinare di Scienza e Fede*, a cura di G. Tanzella-Nitti e A. Strumia, Città Nuova e Urbaniana University Press, Roma-Città del Vaticano 2002 [in seguito richiamato con la sigla *DISF*], voci *Materia*, *Il* e *Analogia*, IV.

- il sistema solare
- la galassia
- l'universo

Questi sono oggetto di molteplici discipline: da quelle fisiche che vedono coinvolte la teoria della relatività, la meccanica quantistica in relazione con la relatività generale, la cosmologia, a quelle chimiche, biologiche, ecc. Oggi, ormai — e anche questo è una traccia di nuovo aristotelismo — non si considera più l'universo come una macchina deterministica (come la concepiva un Laplace), ma come

- un complesso di sistemi *dinamici non lineari* in cui compaiono instabilità, non predicibilità e caoticità (*punto di vista meccanico*)
- un complesso di sistemi *aperti dissipativi* capaci di processi *irreversibili* che scambiando energia e informazione con l'ambiente in cui si trovano sono in grado di organizzarsi (*punto di vista termodinamico*)
- un complesso di sistemi *autoreplicanti* capaci di accrescersi, replicarsi ed evolversi secondo un progetto finalizzato (*punto di vista biologico*)

A.1.2. Su scala microscopica

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

- cellule
- molecole
- atomi
- particelle elementari
- quark

Anche se a mano a mano che si scende lungo la scala i componenti sembrano possedere, un grado sempre minore di *organizzazione e complessità*, tuttavia i componenti più elementari paiono essere condizionati da una loro interdipendenza sempre più stretta che li rende, ultimamente, inseparabili e quindi non osservabili isolatamente (come nel caso dei quark). Tuttavia la fisica non è ancora arrivata a riconoscere dei componenti che non sono osservabili perché sono di altra natura rispetto a quella della materia osservabile, come i *co-principi* aristotelici. Ma sembra sempre meno lontana da questa prospettiva aristotelica.

A.2. LA STRUTTURA D'INSIEME (VERSO UN APPROCCIO GLOBALE O OLISTICO)

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

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

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

- oggi diremmo «per le loro relazioni "topologiche" sia in senso spaziale che temporale»
- anticamente avremmo detto «secondo la "quantità"».

Quantità aristotelica e topologia. Va detto, per inciso, che la nozione di *quantità* aristotelica non si riduce semplicemente al *numero* in senso aritmetico, e/o al *punto* geometrico (pitagorismo), ma in quanto *accidente* il cui effetto è quello di *porre le "parti" al di fuori di altre "parti"*, secondo un certo *situs*, è piuttosto una nozione *topologica*,² che stabilisce delle relazioni mutue di *esterno/interno*, di *aperto/chiuso*.

² Non a caso la topologia fu detta, alle sue origini "analysis situs".

Fisica e geometria. L'approccio puramente geometrico ha origini pitagoriche e platoniche e si ritrova modernamente in Galileo la cui matematica è prevalentemente geometria, nell'impostazione filosofica di Cartesio e di Spinoza, e recentemente nella fisica di Einstein.

La relatività di Einstein. L'idea della rappresentazione del tempo come quarta coordinata dello spazio-tempo delle teorie della relatività, sia ristretta che generale, si colloca in questa prospettiva che tende a *ridurre la fisica a geometria*. Secondo questo approccio le forze (quelle gravitazionali nella relatività generale; e anche quelle elettromagnetiche nella teoria dei campi unificati) si traducono nelle proprietà della metrica, della connessione e della curvatura dello spazio-tempo. Tuttavia si tratta pur sempre di una geometria fisica, e quindi ultimamente inseparabile da una *dinamica* in cui il tempo tende a riemergere con la sua diversità rispetto allo spazio.

Anche in una visione spazio-temporale geometrizzata, esiste un invariante che ha carattere temporale assoluto, quale è il tempo proprio: sia esso quello cosmologico dovuto all'espansione dell'universo nel suo insieme, o sia quello legato al moto di ciascun corpo nell'universo. Ed è rispetto a questo tempo proprio che l'irreversibilità termodinamica e il caos possono essere introdotti ristabilendo il carattere dinamico della teoria. Se Einstein aveva ammirato quella geometrizzazione statica e rigidamente deterministica che lo avvicinava alla visione di Cartesio e di Spinoza, tuttavia sarà proprio la *cosmologia* costruita a partire dalla relatività generale da Lemâitre e Friedmann a convincerlo della presenza di una dinamicità dell'universo stesso, che si manifesta almeno attraverso la sua espansione.³

Geometria e dinamica dei sistemi non lineari. La geometria sembra, ormai, sempre più avere un suo ruolo non tanto per cristallizzare e sostituire la dinamicità della materia, quanto per rappresentarla come un modello "visualizzabile". Ciò è particolarmente evidente nell'impiego che viene fatto della geometria topologica per la descrizione della dinamica dei sistemi dinamici non lineari nello *spazio delle fasi* e per la classificazione delle *singolarità* che caratterizzano i loro punti di equilibrio (*centri, selle, cuspidi, nodi, fuochi*).

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

Negli ultimi decenni l'approccio geometrico si è fortemente *fisicizzato*. La geometria non è più una descrizione dello *spazio*, e una modellizzazione del tempo, come contenitori vuoti (alla Newton) e inerti nei quali la materia si colloca passivamente, ma è divenuta la *geometria del campo di forze*, un veicolo carico di *energia di interazione* tra le "parti" della materia e, più recentemente, di *informazione*.

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. 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.

Sembra affacciarsi accanto al *principio "materia"* anche un secondo principio costitutivo della natura fisica osservabile, quello di "*radiazione*".

Nasce allora il problema di comprendere

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

la *materia* e la *radiazione*.

Questo problema non è stato di semplice soluzione anche per l'insufficienza di strumenti filosofici del meccanicismo.

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".

³ Cfr. *DISF*, voce *Relatività*, IV.5.

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”.

Sostanzializzazione dell’energia. 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.

Sostanzializzazione del concetto di massa. 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.

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.

Il fatto di sostanzializzare l’energia del campo, darà luogo all’*energetismo*: 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.

La relatività ristretta, con l’equivalenza tra massa ed energia ($E = m c^2$), 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). 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” (una frazione o tutta la “materia” di alcune particelle) si è convertita in un “accidente” (una certa quantità di “energia”) si fa un uso filosoficamente scorretto della terminologia, in quanto una proprietà (accidente) come l’energia non può esistere se non come proprietà di qualcosa e la materia (sostanza) può convertirsi in un’altra sostanza (“mutazione sostanziale”), non in un accidente (una proprietà senza soggetto: un’energia di che cosa?). È corretto, invece, affermare che vi è stata una mutazione in cui alcune particelle hanno ceduto una frazione o tutta la loro “massa a riposo” ai prodotti di reazione (altre particelle e/o campi) che si è trasformata in energia cinetica ed energia elettromagnetica.

Gli equivoci sono ingenerati da un duplice errore di concezione: il primo consiste nel concepire il campo elettromagnetico come qualcosa che non è “sostanza materiale”; il secondo consiste nell’attribuire un carattere “sostanziale” all’energia, in luogo della sostanzialità rimossa dal campo.

La 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 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 “impenetrabile” (*Principio di Pauli*) nel senso classico del termine e
- i “bosoni”, di *spin* intero, che costituiscono il campo d’interazione, penetrabile come la radiazione.

Dal punto di vista della fisica è più usuale denotare questo “genere” come “campo”, che si attua nelle due “specie” dei “campi fermionici” e dei “campi bosonici”.⁴

Per renderci ulteriormente conto di come questo modo di concepire la materia si avvicini ad alcuni principi aristotelici, dovremo rapportarla anche al mutamento che hanno subito, nel contempo, i concetti di spazio e di tempo (*infra*, §B).

Le strutture complesse. Sul versante della fisica classica, della chimica e della biologia si incominciano a scoprire delle strutture “complesse” nelle quali emerge un principio ordinatore delle “parti” nel “tutto” secondo una struttura *ordinata* e gerarchizzata con *livelli* differenziati e capace di svolgere delle operazioni finalizzate.

Comincia a comparire in biologia la nozione di un principio unificante di un “tutto” che ripropone, *per aliam viam*, in certo modo la nozione aristotelica di *forma*.

A.3. LA DINAMICA DELLA MATERIA

Il passaggio da una *fisica geometrica* verso una *fisica dinamica* che, viceversa tende a rendere, in qualche modo “dinamica”, almeno come modello della fisica, perfino la stessa geometria, emerge, decisamente con la scoperta dell’instabilità dinamica dei sistemi fortemente sensibili alle condizioni iniziali: una scoperta che fu possibile già nell’ambito della meccanica classica (Poincaré, 1890), il cui sviluppo fu rallentato dalla comparsa quasi concomitante della meccanica quantistica che apriva notevoli prospettive alla fisica atomica prima e alla teoria dei campi poi, combinandosi con la teoria della relatività, tali da mettere temporaneamente in ombra i risultati della meccanica classica non lineare.

A.3.1. *Il mutamento delle parti in rapporto all’ambiente (approccio ai processi)*

A.3.1.1. La meccanica non lineare dei sistemi dinamici

Lo studio della dinamica non lineare dei sistemi meccanici ha costituito il primo passo della *fisica* verso la *complessità*.

Il tutto non è uguale alla somma delle parti. Con essa il principio non riduzionistico secondo cui il “tutto” non è riducibile alla “parte” trovava una sua espressione, o una sua implicazione anche in termini di equazioni e di funzioni matematiche, per il semplice fatto che in un sistema differenziale non lineare “la somma di due soluzioni *non* è una soluzione” (il tutto sono è “somma” delle parti) e viceversa “una soluzione non è esprimibile come somma di altre due soluzioni” (il tutto complesso non è riducibile a parti più semplici). Ogni soluzione possiede una sua irriducibilità, una sua “forma” caratterizzante e non scomponibile.

Sistemi imprevedibili. I sistemi non lineari, a differenza di quelli lineari sono, quasi sempre, imprevedibili per cui non è possibile determinarne l’evoluzione con la precisione voluta se non per “breve” tempo. Questa è la conseguenza, sul versante temporale della non ricostruibilità del “tutto” a partire dalla somma delle parti. Dal punto di vista matematico equivale a dichiarare i limiti intrinseci al calcolo differenziale e integrale che ricostruisce il “tutto” (la *soluzione* del sistema) come limite di una somma di parti infinitesime (ottenuta come *integrale*).

A.3.1.2. La termodinamica dei sistemi aperti interviene sulla loro struttura

Il passaggio dai sistemi puramente *meccanici* ai sistemi *termodinamici* (fisici e chimici) che coinvolgono scambio di *energia* e di *informazione* mediante processi *irreversibili* con l’ambiente che li circonda (sistemi

⁴ Cfr. *DISF*, voce *Materia*, III.2-4.

aperti), ha evidenziato come in questi emergano dei *livelli differenziati di struttura*, gerarchicamente ordinati — che contrastano *localmente* il processo di tendenza verso il disordine dovuto al secondo principio della termodinamica — in grado di compiere delle attività finalizzate.

A.3.1.3. I sistemi biologici: autoreplicazione, accrescimento ed evoluzione

Si apre, in tal modo il passaggio verso i sistemi biologici che si auto-organizzano, si sviluppano, si replicano ed evolvono

- a partire da un codice genetico
- e scambiando con l'ambiente
 - energia e
 - informazione (“apprendimento”)

Lo scambio di energia serve al mantenimento e allo sviluppo del sistema, lo scambio di informazione arricchisce il patrimonio disponibile in partenza rendendo il sistema atto a conservarsi, ampliarsi, riprodursi, adattandosi in certa misura all'ambiente che lo circonda.

A.3.2. Il permanere dei caratteri del “tutto”

Il versante complementare a quello del *mutamento* nella dinamica, è quello dell'*identità* del soggetto del moto, cioè di ciò che *permane* attraverso il processo dinamico.

A.3.2.1. Le leggi di conservazione

La fisica, a cominciare dalla meccanica classica, come anche la chimica, ha individuato fin dal suo inizio delle *leggi di conservazione* (della quantità di moto, dell'energia, ecc.) che esprimono una permanenza di una proprietà intrinseca di un soggetto materiale che muta attraverso un processo.

A.3.2.2. Le invarianze-simmetrie

La relatività ha evidenziato ancora più il ruolo

- delle grandezze che rimangono immutate per tutti gli osservatori di un evento fisico (*invarianti*) e
 - della *forma delle leggi fisiche* che deve essere la stessa per qualunque osservatore (*covarianza*)
- indicandone, in tal modo, il carattere di *oggettività*.

E la meccanica quantistica, ha interpretato il ruolo delle

- *invarianze della funzione d'onda* rispetto a diversi gruppi di trasformazioni come
- *simmetrie* intrinseche alla natura delle entità del mondo fisico (particelle, campi, ecc.)

A.3.2.3. La *forma* in biologia

A livello della biologia l'identità specifica e individuale sembra essere riconducibile verso un principio che si avvicina alla *forma* di Aristotele, non a caso il termine “forma” sta guadagnando uno spazio anche nel linguaggio della biologia recente.

B. Il problema dello spazio e del tempo

Il problema dello spazio e del tempo, ormai, non sono diventati altro che i problemi della materia, visti secondo un'altra prospettiva.

B.1. DALL'AUTONOMIA ALLA DIPENDENZA DELLA "MISURA" DELLO SPAZIO E DEL TEMPO

B.1.1. Dipendenza dello spazio e del tempo dal moto e dalla materia che li "riempie-costituisce"

La concezione newtoniana dello spazio e del tempo *assoluti*, preesistenti come contenitori "vuoti", cioè svincolati dalla *materia* in essi ospitata e dal *moto* di questa materia è stata definitivamente superata e abbandonata con le due teorie della relatività di Einstein.

- La *relatività ristretta* fa dipendere le misure dello spazio e del tempo dal *moto*, e in questo si riavvicina almeno alla concezione aristotelica del tempo come *numero del moto secondo un "prius et posterius"*;
- la *relatività generale* fa dipendere le proprietà metriche dello spazio e del tempo dalla distribuzione della "materia" (dove significativamente con questo termine i fisici intendono la massa-energia sia dei corpi che dei campi, compresa la radiazione elettromagnetica). Questa concezione è certamente molto più vicina a quella aristotelica di quella newtoniana. Sono i "corpi" che "fanno" lo spazio, se così ci si può esprimere, che *creano le distanze* (la *metrica*), fanno sì che i moti celesti seguano come *naturali* le loro traiettorie curve (*geodetiche*) senza bisogno di forze (azioni "violente"), ma seguendo la intrinseca ("naturale") curvatura dello spazio.

B.1.1.1. Il vuoto

Si ha subito un recupero, in forma scientifica, anche alla teoria aristotelica del vuoto come "pieno", "corpo", come ente sostanziale dotato di proprietà.

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, né puro spazio esteso, in quanto è riempito dall'etere.

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 $c \approx 3 \times 10^8$ 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 in qualche modo il campo stesso, che non è mai rigorosamente nullo, a causa della presenza dei corpi, tra i quali il vuoto si estende, e che si scambiano continuamente le loro mutue interazioni.

La relatività generale identifica (sostituisce) il campo gravitazionale con 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. In tal modo le proprietà geometriche dello spazio-tempo sono determinate dai corpi e dai campi esterni e dal loro moto. Il vuoto è "vuoto di materia", dove con "materia" si intendono sia i corpi che i campi non gravitazionali. Il vuoto è allora il campo gravitazionale libero descritto come uno spazio-tempo riemanniano.

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".

Qualcuno ha voluto riconoscere nel "vuoto quantistico" la "materia prima" di Aristotele, ma non sembra questo il caso, se non altro perché la materia prima, oltre a non avere estensione in quanto non ancora "segnata" dalla quantità (*signata quantitate*), a differenza del vuoto che è comunque una regione spazio-

temporale, è pura potenza e richiede una causa adeguata “esterna” ad essa per essere attuata in “materia seconda”, mentre il vuoto quantistico sembrerebbe racchiudere in sé anche la capacità di attuare la materia.⁵

B.1.2. *La diversificazione del tempo dallo spazio*

In che cosa si diversificano lo spazio e il tempo? le leggi fondamentali della fisica sono reversibili rispetto all’orientamento del tempo verso il futuro o verso il passato. La *freccia del tempo* è stata spiegata come una conseguenza dell’irreversibilità termodinamica di alcuni processi (*irreversibili*): una fisica di tipo *geometrico* non sembra proprio possa renderne conto, al contrario di una fisica di tipo *dinamico*, una fisica dei *processi irreversibili*, più vicina alla biologia, in qualche modo, che alla pura meccanica. Anche questo sembra essere un elemento più aristotelico che platonico.

C. Il problema della causalità

Il problema della causalità, in rapporto alla fisica moderna, viene comunemente inteso in relazione alla causa “efficiente” e si colloca al livello dei tentativi di interpretazione “ontologica” della *dinamica* dei fenomeni meccanici e più in generale fisici. Ad esempio, nell’ambito della fisica newtoniana la *forza* viene comunemente interpretata come la *causa efficiente* dell’accelerazione. Questa visione, tuttavia, si dimostra troppo restrittiva, specialmente rispetto al quadro scientifico recente.

Oltre al problema della

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

C.1. LA CAUSALITÀ IN RAPPORTO ALLA DINAMICA DEI PROCESSI (CAUSALITÀ EFFICIENTE)

C.1.1. *La Causalità deterministica*

La causalità deterministica può ricondursi sostanzialmente al seguente principio.

“Ad una stessa causa corrisponde sempre necessariamente uno e un solo identico effetto”.

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

- alle condizioni di validità del *teorema di unicità* della soluzione dei sistemi di equazioni differenziali (lipschitzianità delle forze) e, come si è scoperto solo da poco più di un secolo, alla
- *stabilità* della soluzione (tipica dei sistemi lineari)

La causalità deterministica è tipica della fisica classica, sia nella sua

- formulazione *newtoniana* che
- *relativistica*.

La relatività, con il suo principio in base al quale nessun segnale può viaggiare ad una velocità superiore a quella della luce nel vuoto ha accentuato il fatto che in fisica, normalmente, la causalità è stata interpretata esclusivamente in relazione alla *successione temporale*, per cui

⁵ Cfr. *DISF*, voce *Materia*, VI. Sembra essere eventualmente il concetto di *materia “signata quantitate”* quello più vicino al vuoto quantistico, piuttosto che quello di *materia prima*.

“Si tende a riconoscere come *causa* solo un fenomeno che *precede temporalmente il suo effetto*”.

Questa concezione della causalità, solo secondo l'ordine *temporale*, unitamente al riduzionismo che identifica il “tutto” con una collezione (“somma”) di “parti” ha proposto, in relatività, una concezione di principio di causalità come

Principio di località:

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

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

- mantenendo fermo il principio riduzionista del “tutto” come somma delle “parti”, come
- violazione del principio di causalità.

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

- falsificazione del principio riduzionista (non seprabilità delle “parti” dal “tutto”)
- mantenendo valido il principio di causalità

Incomincia, in questa prospettiva, ad affacciarsi tacitamente anche una visione della causalità *non temporale*, che per agire non necessita di “collegare” tra loro due “parti” separate mediante un segnale che viaggia a velocità *c*, ma produce il suo effetto in quanto è presente nella *struttura* stessa del “tutto”, e quindi in ogni sua “parte”, simultaneamente (*formalmente*).

C.1.1.1. La predicibilità (stabilità)

La predicibilità degli eventi futuri come conseguenza *necessaria* delle leggi della fisica, così come Laplace la intendeva:

«Un'intelligenza che, in un dato istante, conoscesse tutte le forze che animano la natura e la situazione corrispondente degli enti che la compongono e fosse così vasta da poter sottomettere questi dati all'analisi, abbraccerebbe con una sola formula i movimenti dei corpi più grandi dell'universo e quelli dell'atomo più leggero: per essa niente sarebbe incerto e l'avvenire, come il passato, sarebbero presenti ai suoi occhi» (*Theorie analytique des probabilités*, Parigi 1920, introduzione, p. VII),

è una conseguenza della *stabilità* delle soluzioni, tipica dei sistemi *lineari*, per la quale l'evoluzione futura di un sistema non si discosta mai se non di pochissimo dalla previsione teorica.

C.1.1.2. L'impredicibilità (instabilità, caoticità)

Ma, come ebbe a scoprire Poincaré (1890): in un sistema *non lineare* (instabile) anche una piccola perturbazione nelle condizioni iniziali del moto può comportare un errore nella previsione molto grande dopo un certo tempo. In questo caso l'impredicibilità non indica una mancanza di causalità (*casualità*), ma l'impossibilità teorica (matematica) e pratica (sperimentale) di dominarla conoscitivamente, in quanto non è possibile né matematicamente né sperimentalmente conoscere, né effettuare i calcoli, con precisione infinita in atto (con infinite cifre decimali) le condizioni iniziali del moto.

C.1.2. La causalità indeterministica

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

- La negazione può essere *assoluta*. Questa posizione è incompatibile con la possibilità stessa di una scienza e nulla è predicibile

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

C.1.2.1. In se stessa: l'indeterminismo come legge di natura (teorico)

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

C.1.2.2. Di fatto

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

C.1.2.2.1. L'indeterminismo dell'osservazione (sperimentale)

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

C.1.2.2.2. L'indeterminismo dovuto alla difficoltà di calcolo (statistico)

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

C.2. LA CAUSALITÀ GERARCHICA COME *ORDINABILITÀ* (PRIUS ET POSTERIUS)

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

- non solo per il suo aspetto *meccanico* di azione *efficiente*
- ma anche come *relazione d'ordine*

in quanto introduce una *priorità* di un “elemento” (causa) rispetto ad un altro “elemento” (effetto), che può essere non solo di natura temporale.

C.2.1. Il problema dell'“origine” (*catena causale, causa prima*)

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

C.2.1.1. In senso *temporale* (locale, riduzionistico)

L'origine può essere intesa anzitutto in senso *temporale*.

C.2.1.1.1. Condizioni iniziali del moto

In questo caso per un evento particolare essa risiede — oltre che nelle leggi di natura che sono comuni a tutti i fenomeni — in particolare, per un determinato processo evolutivo, nelle sue *condizioni iniziali*.

C.2.1.1.2. Origine dell'universo nel tempo: i "primi istanti" dell'universo

Quando ad essere indagato è l'universo fisico come tale ci troviamo di fronte al problema dei cosiddetti "primi istanti dell'universo".

C.2.1.2. In senso *complessivo* (globale, olistico)

Ma si può parlare di "origine" anche in un senso non temporale. La causalità nei suoi aspetti *non temporali* non è mai stata evidente ai fisici come lo è per i matematici e i logici, per i quali ad essere rilevante non è tanto il tempo, quanto lo è la consequenzialità o causalità logica, quel nesso di implicazione per cui le premesse *causano* (originano) formalmente la conclusione.

L'aspetto non temporale della causalità *formale* fa la sua comparsa nel mondo fisico, chimico e biologico, con l'analisi della considerazione del "tutto" nella sua *struttura* d'insieme, dal punto di vista del "progetto" che sta alla sua origine: qual è il principio *causale* (originante) che fa di un insieme di "parti" un "tutto" e non un altro (ad esempio un universo in cui possa comparire la vita)? In questa direzione si muovono, ad esempio le considerazioni relative al "principio antropico".

C.2.2. Il problema della *finalità* (*catena causale, causa ultima*)

Anche la *finalità* fa ormai la sua comparsa legittima nel mondo fisico, chimico e biologico da diverso tempo. Non la si teme più come un elemento vitalistico o addirittura spiritualistico, in quanto incomincia ad essere presente sia

- nella formulazione matematica delle leggi di natura (ad esempio con i principi variazionali);
- che nella *struttura* e
- nella *dinamica* della *materia* che si presenta capace di organizzarsi in vista (al *fine*) di compiere determinate operazioni (nutrizione, riproduzione, locomozione, apprendimento, ecc.).

C.2.2.1. In senso *temporale* (locale, riduzionistico)

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

C.2.2.1.1. *Condizioni finali del moto e attrattori*

A livello di evento fisico particolare la dinamica consente sempre di assegnare le

- condizioni *finali* del moto in luogo di quelle iniziali, ricostruendo queste ultime in funzione delle prime (basti pensare la problema balistico);
- inoltre la dinamica ci mostra che ci sono situazioni in cui certe *condizioni finali* (*attrattori*) vengono raggiunte a partire da qualunque condizione iniziale si parta entro una certa regione dello spazio ed entro una certa regione di valori delle velocità (*bacino di attrazione*): si tratta del problema della stabilizzazione di un regime di moto.

C.2.2.1.2. *Il destino dell'universo nel tempo (termine o ciclicità)*

Nella considerazione dell'universo fisico il problema delle origini viene "capovolto" nel problema del *destino* dell'universo nel tempo. Un problema che riguarda la cosmologia altrettanto quanto quello dei primi istanti.

C.2.2.2. In senso *complessivo* (globale, olistico)

Quando l'analisi della causalità non si limita all'aspetto temporale il problema della causa della *struttura* d'insieme può essere visto

- dall'*interno* del sistema fisico che si sta considerando come causa *formale*, causa della sua struttura in se stessa (cfr. §C.2.3), o
- dall'*esterno* del sistema, in vista delle operazioni che tale struttura serve a compiere, dell'attuazione di un *progetto*: esseri viventi, esseri intelligenti, uomo, ecc. Qui fa la sua comparsa la *causa formale estrinseca*, cioè la *causa finale*.

C.2.3. Il problema della causa della “struttura” (forma)

Se ci si colloca sotto il versante della *struttura* di un “tutto” complesso ci si concentra sul problema della *causa formale*, piuttosto che su quello dell'origine o della finalità.

C.2.3.1. In senso spazio-temporale (locale, riduzionistico)

Questo può essere esaminato, in prima istanza dal punto di vista *spazio-temporale* esaminando le “parti” e ricostruendo da esse il “tutto” (riduzionisticamente come “somma” di parti) come la matematica tradizionale ci ha insegnato a fare con il calcolo infinitesimale e con la geometria differenziale.

C.2.3.1.1. La non separabilità e la non località delle parti tra loro (paradossi)

Il passo successivo, come si è più volte evidenziato, consiste nell'indagare i caratteri *globali* del tutto, quegli elementi che emergono nel tutto indiviso e irriducibile. La geometria delle proprietà globali e la topologia da tempo si occupano di questi problemi di struttura che coinvolgono la *forma* nel senso geometrico (e non solo geometrico) del termine.⁶

C.2.3.2. Come gerarchia di livelli

- Lo studio delle strutture complesse strutturate secondo livelli di organizzazione ordinati e finalizzati (a cominciare da quelle più semplici che emergono nella termodinamica del non equilibrio) mette poi in evidenza una diversificazione dei *tipi* dei diversi livelli che sembra aprirsi al concetto di *analogia*. Questi *livelli* differenziati e irriducibili secondo i quali si organizza (*attua*) la struttura di un ente fisico, chimico, biologico, si presentano come un primo manifestarsi nelle scienze dei *modi* differenziati con cui si attua l'*ente* aristotelico (*analogia entis*). Il tutto possiede un principio ordinatore irriducibile alla parte.

C.2.4. La causa come fondamento (“causa essendi”)

Il traguardo più avanzato si trova nel cosiddetto problema dei *fondamenti*

- che per ora viene posto, come tale, sul versante della logica matematica
- e non ancora dell'ente reale

ma la considerazione di questo problema va al di là del tema di questa comunicazione.

Conclusione

Come breve considerazione conclusiva vale la pena sottolineare l'aspetto veramente nuovo di fronte al quale ci troviamo oggi: mentre un tempo le considerazioni ontologiche in relazione alle teorie scientifiche erano, in qualche modo, frutto di una speculazione assolutamente *esterna* alle teorie scientifiche e costituivano una sorta di “meditazione” che l'uomo scienziato poteva (ma non doveva necessariamente) compiere, lasciando momentaneamente il camice bianco e rivestendo i panni del filosofo — più o meno

⁶ Si pensi, ad esempio, alle ricerche di R. Thom, raccolte nello studio su *Stabilità strutturale e morfogenesi. Saggio di una teoria generale dei modelli*, Einaudi, Torino 1980.

attrezzato per effettuare questa ulteriore riflessione — oggi esse rappresentano una sorta di domanda *interna* al cammino teoretico delle scienze. Una sorta di condizione indispensabile alla possibilità di proseguire lo stesso cammino scientifico e una sua dilatazione naturale.

Bibliografia

- Per una bibliografia dettagliata e aggiornata rinvio alla bibliografia delle voci indicate del *DISF* alla quale aggiungo qui alcuni testi comparsi successivamente
- A.A.V.V., *Dizionario Interdisciplinare di Scienza e Fede*, a cura di G. Tanzella-Nitti e A. Strumia, Città Nuova e Urbaniana University Press, Roma-Città del Vaticano 2002 [*DISF*]. In particolare le voci *Analogia; Antropico, principio; Complessità; Cosmologia; Determinismo/Indeterminismo; Leggi naturali; Materia; Meccanica; Meccanica quantistica; Relatività; Riduzionismo* (www.disf.org, sito in continuo aggiornamento)
- L. KOSTRO, *Einstein e l'etere - Relatività e teoria del campo unificato*, Dedalo, Bari 2001
- G. BASTI, *Filosofia della natura e della scienza*, vol. I, Lateran University Press, Roma-Città del Vaticano, 2002