

# LA CAUSALITÀ IN NATURA E NELLA CONOSCENZA SCIENTIFICA

di Alberto Strumia\*

«Si chiamano “cause” quelle cose dalle quali ne dipendono altre,  
quanto al loro *essere* o al loro *divenire*»

(san Tommaso d’Aquino, *Commento alla Fisica di Aristotele*, Libro I, lettura I, n. 5).

## SOMMARIO

### 1. Premessa

### 2. Scienza e metafisica

2.1. LA CRISI DEGLI IRRAZIONALI

2.2. IL MOTO E LA STRUTTURA DELLA MATERIA

2.3. I FONDAMENTI COME PRINCIPI NON OSSERVABILI

2.4. UN AMPLIAMENTO IN SENSO QUALITATIVO E NON SOLO ESTENSIVO DELLA SCIENZA  
VERSO LA METAFISICA

2.5. DAI NUMERI (ARITMETICA) ALLE COLLEZIONI DI OGGETTI (INSIEMISTICA)  
E DAGLI INSIEMI AGLI ENTI (ONTOLOGIA)

### 3. Mutamenti nell’approccio alla causalità nel contesto scientifico

3.1. CAUSALITÀ EFFICIENTE, MATERIALE, FINALE E FORMALE NELLE SCIENZE ODIERNE

3.1.1. *La causalità in rapporto alla dinamica dei sistemi (causalità efficiente)*

3.1.1.1. La causalità deterministica

La predicibilità (stabilità)

L’impredicibilità (instabilità, caoticità)

3.1.1.2. La causalità indeterministica

3.2. LA CAUSALITÀ GERARCHICA COME ORDINABILITÀ

3.2.1. *Il problema dell’ “origine”*

3.2.2. *Il problema della finalit *

3.2.3. *Il problema della causa della “struttura” (forma)*

3.2.4. *La causa come fondamento (“causa essendi”)*

---

\* Universit  di Bari - Facolt  Teologica dell’Emilia-Romagna (Bologna). Una versione pi  ampia di quanto qui esposto si trova nel mio contributo “Dalla scienza matematizzata all’ontologia formale. Annotazioni su analogia e causalit ”, in A. Strumia (curatore), *I fondamenti logici e ontologici delle scienze. Analogia e causalit *, Cantagalli, Siena 2006, pp. 10-48.

## 1. Premessa

Nel mio intervento al *workshop* dello scorso anno notavo come ad un certo momento della propria riflessione sulla scienza ci si accorge

«che la scienza è essa stessa una metafisica, un'ontologia, una teoria dell'essere, che ha cercato, fino a poco tempo fa, di limitarsi a considerare solo gli aspetti materiali delle realtà che, essendo estesi e misurabili coinvolgono direttamente solo le antiche categorie di

- “quantità” (il misurabile della fisica),
- “relazione” (le relazioni e le funzioni della matematica),
- “sito” (nel senso topologico di collocazione reciproca di insiemi), ecc.,

ontologia che oggi ha bisogno di ampliarsi includendo l'analogia dell'ente, a causa della comparsa della “complessità” e della necessità di una “teoria dei fondamenti” non contraddittoria».

Questo percorso di ampliamento della “metafisica” implicita nella scienza verso una “metafisica” più ricca e comprensiva dell'essere, maggiormente confrontabile con quella aristotelico-tomista si tocca con mano in particolare modo quando si considera la grande questione della “causalità”.

## 2. Scienza e metafisica

È un luogo comune spesso ancora evocato quello che sostiene che

– la scienza si occupa di indagare il “come” (in questo senso sarebbe una “fenomenologia”) e

– la filosofia e la teologia riguardano il “perché” della realtà (in questo senso sarebbero una “metafisica”).<sup>1</sup>

In effetti questa separazione non è mai stata così netta e così accettata dagli uomini di scienza e forse neppure dagli stessi filosofi e teologi; e questo perché dietro ogni scienza c'è, comunque, una base ontologica che le permette nel contempo di “fondarsi” e di “interpretarsi”.

Un tentativo di conoscere e di comprendere la realtà osservabile, come quello scientifico, punta e ha sempre puntato ad essere in qualche misura anche un'ontologia, una “teoria dell'essere”. Tanto è vero che la metafisica<sup>2</sup> antica, quella greca, è nata dalla necessità di “ampliare” l'approccio scientifico – quello dei “fisici” (i filosofi Ionici) e quello matematico (dei Pitagorici) – in seguito ad una crisi interna al sistema vigente del sapere scientifico che si cercava di superare.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Si tratta, in sostanza di una sorta di “scappatoia” la cui origine è, in certo modo addirittura risalente al tempo di Galileo (cfr. G. GALILEI, *Lettera a Cristina di Lorena, Granduchessa di Toscana*, 1615: «Io qui direi quello che intesi da persona ecclesiastica costituita in eminentissimo grado, cioè è l'intenzione dello Spirito Santo essere d'insegnarci come si vadia al cielo, e non come vadia il cielo») e che sembra mascherare con un dualismo non risolto il problema epistemologico di un modello di unità del sapere in cui le discipline siano in grado di comunicare nel rispetto dei diversi e complementari punti di vista (o oggetti formali *quo*).

<sup>2</sup> Impiegherò qui con una certa “disinvoltura” indifferentemente i termini “ontologia” e “metafisica” senza preoccuparmi di fare troppe distinzioni.

<sup>3</sup> In tempi vicini a noi l'idea di mettere a punto delle “teorie ampie” nell'ambito della matematica è stata proposta pionieristicamente da Ennio De Giorgi: si veda per esempio, E. DE GIORGI, M. FORTI e G. LENZI, “Una proposta di teorie di base dei Fondamenti della Matematica”, *Rend. Mat. Acc. Lincei*, ser. 9, 5 (1994) 11-22; 5 (1994) 117-128; 6 (1995) 79-92; E. DE GIORGI e G. LENZI, “La Teoria '95, una proposta di teoria aperta e non riduzionista dei Fondamenti della Matematica”, memoria presentata da E. De Giorgi il 13 novembre 1995; E. DE GIORGI, “Dal superamento del riduzionismo insiemistico alla ricerca di una più ampia e profonda comprensione tra matematici e studiosi di altre discipline scientifiche ed umanistiche”, memoria presentata da E. De Giorgi, Pisa, 25-3-1996.

## 2.1. LA CRISI DEGLI IRRAZIONALI

Così successe, ad esempio, in occasione della “crisi degli irrazionali” che rivelò l’insufficienza della matematica dei numeri (che oggi chiamiamo “razionali”) a fornire una descrizione della geometria pienamente “universale” e quindi adatta a spiegare interamente anche la natura. Sul momento si pensò ad un fallimento del metodo pitagorico e si aprì la strada ad un approccio più ampio ed universale come quello diretto all’ente in quanto tale.

## 2.2. IL MOTO E LA STRUTTURA DELLA MATERIA

Un ampliamento ancora più evidente si rese necessario per cercare di spiegare la compresenza del moto/mutamento (“divenire”) e del permanere (“identità”) di alcuni caratteri costitutivi del soggetto nella “dinamica” di un corpo che muta, problema che fu risolto con la teoria aristotelica della “potenza” e dell’“atto” e con il corrispettivo modello “ilemorfico” della “struttura” dei corpi con il ricorso ai co-principi<sup>4</sup> della “materia” e della “forma” che oggi riaffiora, in certo qual modo, attraverso la “teoria dell’informazione”.<sup>5</sup>

## 2.3. I FONDAMENTI COME PRINCIPI NON OSSERVABILI

A partire da una crisi<sup>6</sup> “interna” al sistema scientifico, ci si orientava allo studio dei “fondamenti” dell’essere: ci si allontanava, in certo modo, dall’osservabile accettando di introdurre degli “elementi non osservabili” (dei “principi”) di una natura diversa da quella dei corpi sensibili (principi non osservabili per definizione, in quanto irriducibili all’osservabile), al fine di spiegare proprio l’osservabile, perché quest’ultimo, da solo, non sembrava essere in grado di dare ragione di se stesso. Pare essere nato così l’interesse per l’“ente in quanto ente” (oggetto della metafisica), perché il “numero”, la “quantità”, la “materia”, i “corpi” non erano sufficienti a spiegare neppure la natura fisica, sperimentabile con i sensi esterni. Questa operazione nulla toglieva alla necessità di un rigore dimostrativo sul piano logico, necessario per costruire una scienza, né rappresentava una via di fuga dalla realtà sperimentabile: semplicemente aggiungeva dei principi ipotetici che si presentavano, in certa misura, come irrinunciabili in vista del superamento di una contraddizione.

## 2.4. UN AMPLIAMENTO IN SENSO QUALITATIVO E NON SOLO ESTENSIVO DELLA SCIENZA VERSO LA METAFISICA

Ciò che è notevole rilevare è il fatto che non si trattava di un semplice “ampliamento di estensione” della scienza della realtà osservabile, ma di una revisione epistemologica, di un ampliamento in senso anche “qualitativo” (meglio sarebbe dire di un mutamento “essenziale” o di “natura” della stessa scienza). Non si trattava semplicemente di aggiungere, o di cercare dei costituenti più elementari della materia che fossero della stessa natura dei corpi, costituenti che si sarebbero potuti osservare in futuro con microscopi sempre più potenti, ma

---

<sup>4</sup> Principi, cioè, intesi non come mattoni elementari della stessa natura dei corpi, ma come principi non osservabili perché caratterizzati da un “modo di essere” eterogeneo rispetto a quello dei corpi.

<sup>5</sup> Per un’introduzione interdisciplinare alle tematiche dell’informazione si può vedere utilmente E. SARTI, voce “Informazione”, in G. TANZELLA-NITTI e A. STRUMIA (a cura di), *Dizionario interdisciplinare di scienza e fede*, Città Nuova e Urbaniana University Press, Roma 2002 (in seguito richiamato con la sigla *DISF*), vol. 1, pp. 740-754 (*on line* all’indirizzo: [www.disf.org/Voci/74.asp](http://www.disf.org/Voci/74.asp)).

<sup>6</sup> La crisi degli irrazionali, come è noto, fu affrontata anche in ambito matematico, molto più tardi, senza giungere ad una metafisica nel senso di una teoria dell’ente in quanto ente, come quella di Parmenide prima, poi quelle più elaborate e complete di Platone e di Aristotele. Tuttavia per risolverla si dovette operare una sorta di “ampliamento” della matematica, una modifica della nozione stessa di numero; una teoria dei fondamenti della matematica in senso vero e proprio poi fu tentata solo molto più tardi con la teoria degli insiemi, che avvicinò notevolmente l’oggetto di questa scienza all’ente della metafisica.

di ipotizzare dei principi costitutivi irriducibili ai corpi stessi (superamento di un riduzionismo).

## 2.5. DAI NUMERI (ARITMETICA) ALLE COLLEZIONI DI OGGETTI (INSIEMISTICA) E DAGLI INSIEMI AGLI ENTI (ONTOLOGIA)

E ciò che valeva per le scienze empiriche, si è dimostrato valere, in maniera simile e molti secoli dopo, anche sul piano della matematica e della logica: per fondare la teoria dei numeri sembrava necessario fare ricorso a “oggetti” di altra natura (non numerica) come gli “insiemi”, più prossimi per le loro caratteristiche agli “enti” della metafisica. È difficile, oggi, resistere alla tentazione di istituire qualche paragone “coraggioso”, ma probabilmente necessario e ormai inevitabile, tra ciò che è accaduto con il passaggio dalla matematica tradizionale alla teoria degli insiemi di Georg Cantor (1845-1918), con quanto sembra stia per succedere (o almeno in linea di principio sia maturo per accadere) ai nostri giorni dopo i risultati di Kurt Gödel (1906-1978).<sup>7</sup> Non si sta forse preparando un passaggio da una “teoria degli insiemi” ad una “teoria degli enti”, da una logica dell’univocità ad una logica dell’analogia, da una teoria degli enti di ragione a una teoria degli enti reali? Ma non corriamo troppo... e limitiamoci a seguire i passaggi che effettivamente possiamo constatare.

Con l’introduzione del “concetto primitivo” (come usano dire i matematici) di “insieme”,<sup>8</sup> la matematica amplia il suo oggetto.<sup>9</sup> Non sono più solo i “numeri” (naturali, razionali, reali o complessi che siano) e le loro relazioni (incluse le funzioni con il calcolo differenziale e integrale più avanzato), non sono più gli oggetti estesi della geometria (che vengono ricondotti comunque a numeri e funzioni e relazioni tra essi, con la geometria analitica cartesiana e con la successiva geometria differenziale) a far parte della matematica, ma ora sono le “collezioni” di oggetti qualsiasi e le loro relazioni.

Si tratta di un cambiamento nella “natura dell’oggetto” della disciplina scientifica matematica che viene ad avvicinarsi all’oggetto stesso di una metafisica che incomincia ad essere abilitata ad occuparsi non più solo – per esprimerci in termini di categorie aristoteliche – di “quantità” e di “relazioni” tra quantità, ma anche di collocazione reciproca tra le “parti” di un ente corporeo: l’aristotelica categoria del “sito”. Non a caso la nuova “topologia”, sviluppatasi notevolmente nell’ambito della teoria degli insiemi, veniva inizialmente chiamata con la dizione latina di *analysis situs*.<sup>10</sup>

---

<sup>7</sup> Non mi riferisco, evidentemente, qui all’atteggiamento degli uomini di scienza, spesso condizionati da fattori estranei allo scopo primario della scienza che è la conoscenza, la ricerca della verità (secondo la concezione aristotelica), e che in qualche misura possono strumentalizzare il proprio prestigio per fini ben diversi (fama, denaro, potere, ideologia politica, senso di onnipotenza, ecc.) come di fatto succede ai nostri giorni, quanto alle possibilità che, almeno da un punto di vista teorico, oggi il sapere scientifico ha messo a punto dimostrativamente, ponendo al proprio interno dei problemi di natura fondativa che non sono altro che questioni di metalogica e di metafisica.

<sup>8</sup> In realtà la nozione primitiva alla base della teoria degli insiemi è la nozione di “appartenenza” (denotata con il simbolo “ $\in$ ”), a partire dalla quale si definiscono gli insiemi.

<sup>9</sup> «La rivoluzione cantoriana non trasforma soltanto alcuni settori della matematica, ma cambia il suo stesso oggetto. Per Cantor, che riprende un’idea di Bolzano, il vero concetto-base della matematica non è il numero, ma l’“insieme”, l’unico ente capace di tradurre integralmente, in forma scientificamente utilizzabile, la nozione di “molteplicità”. La matematica perde così quei connotati “numericici”, che aveva appena acquisito, senza tornare per questo alla “geometria”: l’insieme non è più neppure un aggregato di punti ma i suoi elementi possono essere “cose” qualsiasi, anche altri insiemi» (G. BINOTTI, voce “Cantor, Georg Ferdinand”, in *DISF*, vol. 2, p. 1637). Un passaggio ulteriore dall’“insieme” come “collezione” di “oggetti” qualsiasi (non necessariamente di numeri), alla considerazione di “qualcosa” che non sia per forza una “collezione”, ma sia una “res” di natura qualunque, segnerebbe il passaggio da una “teoria degli insiemi” ad una “teoria degli enti”, ad una “ontologia formale”.

<sup>10</sup> Cfr. R. COURANT e H. ROBBINS, *Che cos’è la matematica Introduzione elementare ai suoi concetti e metodi*, Brighieri, Torino 1971, p. 353.

Si tratta forse solo di un primo indizio di una tendenza della matematica a maturare nella direzione della “ontologia”: naturalmente, però, per parlare di una vera e propria metafisica occorrerebbe almeno ancora elaborare una nozione di “esistenza” che non si limiti alla pura e semplice “non contraddittorietà logica” propria del “formalismo” della logica-matematica, ma possa prevedere dei modi di esistenza “reale” (extramentale) che fondano quello “intenzionale” (mentale).<sup>11</sup>

Si tratta di un’operazione che inverte la direzione della vecchia “riduzione” cartesiana che voleva ricondurre il metodo della filosofia a quello delle scienze, riducendo la sostanza materiale a *res extensa*, e lasciava sopravvivere la sostanza spirituale in virtù di un dualismo che le rendeva comunicabili, preparando la scomparsa, o almeno l’assimilazione della seconda da parte della prima. La recente “crisi del riduzionismo”<sup>12</sup> — esplosa proprio nel cuore delle scienze “dure”, con la “non linearità” e la “complessità”<sup>13</sup> in matematica, in fisica, in chimica, in biologia, nelle scienze cognitive, ecc. — ha mostrato come il riduzionismo, nelle sue diverse forme (cartesiana, meccanicista, fisicalista, formalista, e così via) sia arrivato al capolinea e abbia già dato sostanzialmente tutto quello che di nuovo poteva dare alla scienza come forma di conoscenza (sia di positivo che di negativo).

### 3. Mutamenti nell’approccio alla causalità nel contesto scientifico

Ma veniamo al nostro tema che consiste nel vedere come anche a proposito del problema specifico della “causalità” sia stato compiuto un percorso di maturazione della metafisica richiesta alla base delle scienze.

In questa sezione ci occuperemo, molto schematicamente e quasi solo per titoli, di alcuni aspetti rilevanti nel mutamento della nozione di causalità in rapporto all’interpretazione delle teorie scientifiche che denotano un primo significativo orientamento di carattere ontologico, anche se bisognoso di una sistematizzazione e di un approfondimento adeguato.<sup>14</sup>

Il problema della causalità, a cominciare dalla fisica moderna, è stato comunemente inteso, sulla base di una sorta di filosofia spontanea degli scienziati, in relazione alla causa “efficiente” ed è sorto al livello dei tentativi di interpretazione “ontologica” della dinamica dei fenomeni meccanici e più in generale fisici. Ad esempio, nell’ambito della meccanica newtoniana la forza veniva interpretata come la “causa” (efficiente) dell’accelerazione di un corpo al quale essa è applicata. Questa visione, tuttavia, incomincia a dimostrarsi troppo

---

<sup>11</sup> Cfr. G. BASTI e R. PERRONE, *Le radici forti del pensiero debole. Dalla metafisica alla matematica al calcolo*, Il Poligrafo, Padova 1996 p. 216: «Come si sa, la più matura formulazione del nucleo del programma formalista in matematica si è avuta mediante la definizione dell’*assioma di completezza* di Hilbert. [...] La posizione di D. Hilbert nella sua controversia con G. Frege sulla fondazione della geometria e, più in generale, della matematica e della logica formale, consiste essenzialmente nell’affermare che non solo l’*esistenza* in matematica implica la *consistenza* (non-contraddittorietà), ma anche l’opposto vale. In altri termini, se gli assiomi sono consistenti “allora sono veri e le cose definite da questi assiomi esistono” (Hilbert 1902, 12)». La stessa “trappola” in filosofia è stata alla base delle “prove ontologiche” dell’esistenza di Dio che non tengono conto dell’*analogia*. Un’interessante *excursus* storico-filosofico in merito alle prove ontologiche si trova in R.G. TIMOSSO, *Prove ontologiche dell’esistenza di Dio da Anselmo d’Aosta a Kurt Gödel. Storia critica degli argomenti ontologici*, Marietti 1920, Genova-Milano 2005.

<sup>12</sup> Per un approccio interdisciplinare al tema del riduzionismo si veda J. POLKINGHORNE, voce “Riduzionismo”, in *DISF*, vol. 2, pp. 1231-1236.

<sup>13</sup> Sul tema della complessità si trova oramai un’ampia letteratura nei più diversi campi disciplinari. Mi limito qui a rinviare a G. DEL RE, voce “Complessità” in *DISF*, vol. 1, pp. 259-265, nella quale si trova anche un’ampia bibliografia.

<sup>14</sup> In questa sezione farò liberamente riferimento al mio intervento “Tracce di ontologia aristotelica nella fisica degli ultimi decenni”, presentato al Convegno *Sefir* (Pontificia Università Lateranense, Roma, 23-25 gennaio 2003), pubblicato in *La questione ontologica tra scienza e fede*, a cura di P. Coda, Lateran University Press, Roma 2004, pp. 55-86 (*on line* all’indirizzo: [www.ciram.unibo.it/~strumia/articoli/interdisciplina/inart17.pdf](http://www.ciram.unibo.it/~strumia/articoli/interdisciplina/inart17.pdf)).

restrittiva, già con la meccanica quantistica,<sup>15</sup> e ancor più e rispetto al quadro scientifico recente nel quale affiorano anche altri aspetti della causalità legati alla non linearità e alla complessità.

Già Ernst Mach (1838-1916) non si accontentava di disporre di una sorta di “causa delle accelerazioni” (variazioni degli stati del moto), ma si poneva anche il problema di quale fosse la “causa dell’inerzia”, cioè dello “spontaneo” permanere dei corpi nel loro moto rettilineo e uniforme quando non fossero disturbati dall’azione di una forza. Quasi un inconsapevole ritorno, dal sapere un po’ aristotelico, alla ricerca delle cause del moto in se stesso.<sup>16</sup>

Si tratta di una sorta di ricerca della “causa dell’essere” di qualcosa (l’inerzia, lo “stato del moto”) più che di una “causa del divenire” (l’accelerazione come “mutamento” dello stato del moto).

Naturalmente Mach non poteva che cercare una spiegazione in termini di interazione fisica tra le parti dell’universo. Una suggestione che guidò Einstein<sup>17</sup> verso il “principio di equivalenza” che sta alla base della relatività generale.

### 3.1. CAUSALITÀ EFFICIENTE, MATERIALE, FINALE E FORMALE NELLE SCIENZE ODIERNE

Ai nostri giorni si sono aperti molti altri interrogativi sul ruolo della causalità in ordine all’interpretazione delle teorie scientifiche. Oltre al problema della:

- causalità “efficiente” nell’interpretazione delle teorie fisiche e a quello della
- causalità “materiale” implicito nella ricerca dei “costituenti elementari” della materia, sta ormai emergendo anche la
- causalità “finale” nei sistemi organizzati, capaci di compiere delle operazioni finalizzate (soprattutto i sistemi biologici<sup>18</sup>) e anche la
- causalità “formale” in quanto principio “unificante” e “ordinatore” del “tutto” rispetto alle “parti” di un sistema “complesso” strutturato in livelli di organizzazione differenziati e gerarchizzati.

Si tratta di modalità di approccio ancora abbastanza rudimentali, dal punto di vista filosofico, e bisognose di una formulazione meno ingenua e più rigorosa, nelle quali si intravede, però, nettamente il tentativo di riappropriarsi di una sorta di metafisica/scienza della causalità capace non solo di confrontarsi, ma anche di riproporre con i nostri strumenti formali la dottrina aristotelica delle quattro cause.<sup>19</sup> Un certo aristotelismo cacciato dalla porta della scienza galileiana, sembra quasi rientrare dalla finisestra della scienza della complessità e della logica della teoria dei fondamenti.

---

<sup>15</sup> Nella meccanica quantistica, infatti, non sono propriamente le “forze” ad entrare nelle equazioni quanto piuttosto i “potenziali”, cioè le energie che i campi possono scambiare attraverso l’interazione tra particelle e le forze perdono il loro carattere causale in senso deterministico.

<sup>16</sup> «Suo [dello scienziato] programma è l’istituzione di un principio dal quale derivino *insieme* i moti accelerati e i moti inerziali. [...] Anche se è lieto di attenersi a ciò che è più immediatamente osservabile, non dispiace allo scienziato gettare di tanto in tanto uno sguardo nel profondo dell’inesplorato» (E. MACH, *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico*, Bollati Boringhieri, Torino 1992, p. 258).

<sup>17</sup> Secondo Einstein sulla questione dell’inerzia nella meccanica newtoniana «la critica di Mach è sostanzialmente sana» (“Note autobiografiche”, in P.A. SCHILPP [a cura di], *Albert Einstein scienziato e filosofo*, Boringhieri, Torino 1958, p. 16).

<sup>18</sup> I biologi impiegano frequentemente il termine “teleonomia” per indicare questo orientamento finalizzato dei sistemi biologici.

<sup>19</sup> Ho svolto alcune considerazioni su questi aspetti anche nella mia voce “Meccanica”, in *DISF*, vol. 1, pp. 876-891, soprattutto nei §§IV-VI. Sul problema del “tutto e delle parti” si veda anche la voce “Materia”, in *ivi*, pp. 849-866, al §VII.

### 3.1.1. La causalità in rapporto alla dinamica dei sistemi (causalità efficiente)

Un primo passaggio che si è verificato nell'ambito dell'interpretazione delle teorie scientifiche è quello che ha visto la necessità di non limitarsi ad una nozione di causalità puramente "deterministica", nel senso in cui la intendeva il "meccanicismo": si tratta di un'apertura che ci riavvicina (forse in larga misura inconsapevolmente, ma di fatto) alla concezione aristotelico-tomista che prevedeva oltre alle cause che agiscono *ad unum*, anche cause il cui effetto è probabile (*ut in pluribus*), e cause il cui effetto è completamente indeterminato (*ad utrumlibet*), come la volontà umana che è libera.<sup>20</sup> Si consideri, per esempio, il seguente passo di san Tommaso.

«Alcune [cause] producono il loro effetto sempre e necessariamente. In tal caso gli effetti futuri possono essere previsti e predetti con certezza in base alla conoscenza delle loro cause. Così gli astronomi prevedono con certezza le eclissi future.

Altre cause possono produrre i loro effetti in modo non necessario e regolare, ma solo nella maggior parte dei casi, perché a volte non ottengono l'effetto. Mediante questo tipo di cause si possono sì conoscere gli eventi futuri, ma non con certezza, ma solo ipoteticamente, come gli astronomi, con l'osservazione del cielo cercano di conoscere e prevedere la pioggia o la siccità, e i medici la guarigione o la morte.

Ci sono poi altre cause che, considerate in se stesse, possono indifferentemente produrre effetti tra loro contrari. Questo riguarda, in particolare, le facoltà razionali che, come dice il Filosofo, sono capaci di atti opposti.

E gli effetti di queste, come pure quelli che derivano, come eventi rari, da cause fisiche, non possono essere conosciuti in precedenza con l'analisi delle loro cause, perché queste non sono univocamente determinate verso i loro effetti.

Perciò non si possono conoscere i loro effetti se non osservandoli direttamente». [II-II, q. 95, a. 1co]<sup>21</sup>

Naturalmente questo avvicinamento non significa che anche il modo di spiegare questa situazione da parte delle nostre scienze e di Tommaso sia il medesimo:<sup>22</sup> esso però è interessante in quanto indica un tentativo significativo di allargamento di orizzonti da parte delle nostre scienze, anche se siamo ancora ben lontani da una visione così unitaria e analogicamente gerarchizzata che sia in grado di poter considerare con un'unica teoria le cause che agiscono tra i corpi materiali, la volontà umana e l'azione creatrice di Dio che fa scaturire l'essere dal nulla e lo conserva in esistenza.

#### 3.1.1.1. La causalità deterministica

La causalità deterministica può ricondursi sostanzialmente al seguente principio:

“Ad una stessa causa, che agisce in determinate condizioni, corrisponde sempre necessariamente uno

---

<sup>20</sup> Si può vedere sulla questione, ad esempio anche la mia voce “Determinismo/indeterminismo”, in *DISF*, vol. 1, pp. 373-381 (on line all'indirizzo: [www.disf.org/Voci/50.asp](http://www.disf.org/Voci/50.asp)).

<sup>21</sup> «Quaedam enim producunt ex necessitate et semper suos effectus. Et huiusmodi effectus futuri per certitudinem praenosci possunt et praenuntiari ex consideratione suarum causarum, sicut astrologi praenuntiant eclipses futuras. Quaedam vero causae producunt suos effectus non ex necessitate et semper, sed ut in pluribus, raro tamen deficiunt. Et per huiusmodi causas possunt praenosci futuri effectus, non quidem per certitudinem, sed per quondam coniecturam, sicut astrologi per considerationem stellarum quaedam praenoscere et praenuntiare possunt de pluviis et siccitatibus, et medici de sanitate vel morte. Quaedam vero causae sunt quae, si secundum se considerentur, se habent ad utrumlibet, quod praecipue videtur de potentiis rationalibus, quae se habent ad opposita, secundum philosophum. Et tales effectus, vel etiam si qui effectus ut in paucioribus casu accidunt ex naturalibus causis, per considerationem causarum praenosci non possunt, quia eorum causae non habent inclinationem determinatam ad huiusmodi effectus. Et ideo effectus huiusmodi praenosci non possunt nisi in seipsis considerentur». Interessante il secondo esempio, tratto dalla meteorologia (qui Tommaso con “astronomi” intende quelli che oggi sono i “meteorologi”), che coincide proprio con gli esempi che oggi si portano, dopo la scoperta dell'attrattore di Lorentz, sui fenomeni caotici legati al clima come il cosiddetto “effetto farfalla”.

<sup>22</sup> Al suo tempo Tommaso spiegava questo comportamento delle cause con l'interferenza di qualche fattore di impedimento che ostacolava l'efficacia della loro azione: oggi noi spieghiamo questo comportamento con la teoria della stabilità, in termini di forte dipendenza dalle condizioni iniziali.

e un solo identico effetto”.

Si tratta di una causa il cui effetto è determinato *ad unum*, secondo la visione aristotelico-tomista.

La possibilità di descrivere questa univocità della relazione causa-effetto è legata, dal punto di vista della descrizione matematica dei fenomeni, impiegata dalla fisica moderna, alle condizioni di validità del “teorema di unicità” della soluzione dei sistemi di equazioni differenziali.<sup>23</sup> questo significa che non tutte le funzioni matematiche delle opportune variabili sono adatte a descrivere delle forze il cui effetto sia deterministico, ma solo quelle che garantiscono la validità del teorema di unicità.<sup>24</sup>

La causalità deterministica è tipica della fisica classica, sia nella sua formulazione “newtoniana” che in quella della “teoria della relatività”. Diversa è la situazione per la meccanica quantistica nella quale è deterministica la “matematica” dell’equazione di Schrödinger che governa la funzione d’onda, ma non lo è l’interpretazione “fisica” che di quest’ultima viene data che è, invece, probabilistica.

La “teoria della relatività”,<sup>25</sup> con il suo principio in base al quale nessun segnale può viaggiare ad una velocità superiore a quella della luce nel vuoto ( $c = 3 \times 10^8$  m/sec) ha accentuato il fatto che in fisica, normalmente, la causalità è stata interpretata esclusivamente in relazione alla “successione temporale”, per cui si tende a riconoscere come “causa” solo un fenomeno che “precede temporalmente il suo effetto”. Questa concezione della causalità, solo secondo l’ordine temporale, unitamente al riduzionismo che identifica il “tutto” con una collezione (“somma”) di “parti” ha proposto, in relatività, una concezione del principio di causalità come:

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

La comparsa, nella fisica, dei cosiddetti fenomeni “non locali” (nell’ambito della meccanica quantistica) e di teorie che violano questo principio è stata interpretata, prima che si prendesse in considerazione la nozione di “complessità”:

- mantenendo fermo il principio riduzionista del “tutto” come somma delle “parti”,
- come una violazione del principio di causalità (almeno se inteso nel senso appena descritto).<sup>26</sup>

In alternativa, in un secondo periodo, dopo il primo approccio alla “complessità”, si è incominciato a considerare la non località piuttosto come una:

- falsificazione del principio riduzionista (non separabilità delle “parti” dal “tutto”)
- mantenendo valido il principio di causalità (che doveva essere ripensato in un’ottica non riduzionistica e quindi anche atemporale).

Incomincia, in questa prospettiva, quindi ad affacciarsi tacitamente la plausibilità di 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  $c$  (la velocità della luce nel vuoto), ma produce il suo effetto in quanto è presente nella “struttura” stessa del “tutto”, e quindi in

---

<sup>23</sup> Garantita dalla ipotesi di “lipschitzianità” delle forze. Ricordiamo che una funzione  $f: A \rightarrow B$ , si dice lipschitziana se e solo se per ogni  $x, y$  appartenenti ad  $A$  esiste un numero positivo  $C$  tale che  $\|f(x) - f(y)\| < C \|x - y\|$ .

<sup>24</sup> Per i dettagli tecnici basta consultare un buon manuale di meccanica razionale.

<sup>25</sup> Per quanto riguarda gli aspetti metodologici, epistemologici e di interpretazione in prospettiva interdisciplinare, rimando, come punto di partenza, alla mia voce *Relatività, teoria della*, in *DISF*, vol. 2, pp. 1190-1198 (*on line* nella sua versione inglese all’indirizzo [www.disf.org/en/Voci/101.asp](http://www.disf.org/en/Voci/101.asp)).

<sup>26</sup> In fisica, ad esempio si parlava dei cosiddetti “fenomeni non locali” anche denominandoli come “fenomeni acausali”.



ogni sua “parte”, simultaneamente come una sorta di “informazione” che lo caratterizza nel suo insieme, nella sua totalità e non necessita di propagarsi da una parte all’altra del sistema. In termini aristotelici si direbbe che siamo in presenza di “qualcosa” che agisce “formalmente”: si tratta di un primo approccio che apre la strada alla nozione di “causalità formale”.

La nozione odierna di “informazione” incomincia a richiamare abbastanza da vicino quella aristotelica di “forma”. Ad esempio, con la forma aristotelica, l’informazione ha in comune il fatto di essere un “principio” immateriale. L’informazione, come oggi la si intende nelle più diverse discipline, pur essendo veicolata da un supporto materiale, non si riduce a quest’ultimo e può essere trasferita da un supporto ad un altro, come si fa tutti i giorni usando il *computer*. La scienza si limita, per il momento, a considerare quel genere di informazione che è paragonabile alle forme aristoteliche di tipo accidentale che caratterizzano le proprietà dei corpi materiali, e non è arrivata, certamente, a concepire una forma per se sussistente come è l’anima umana nella concezione tomista. Essa, tuttavia, si trova ormai di fronte a problemi come quello del rapporto mente-corpo<sup>27</sup> che si presenta nell’ambito delle scienze cognitive che pongono la questione di comprendere come si attui, nella cognizione umana, la conoscenza nella sua forma universale astratta: è sufficiente un approccio di tipo materialista (mente riducibile al corpo e alle sue basi fisico-chimiche) o funzionalista (mente come emergenza di funzioni di un sistema biologico complesso) o si richiede l’ipotesi di una mente in grado di compiere delle funzioni “immateriali” che un sistema biologico, per quanto complesso, non è un grado far emergere? A questa questione Tommaso rispondeva con la teoria dell’astrazione della forma universale dalla materia corporea da parte di un’anima immateriale.<sup>28</sup>

Con la questione della inseparabilità (almeno in certe situazioni) delle “parti” da un “tutto” complesso e quindi anche tra loro, che ha come base matematica la “non linearità” delle equazioni differenziali<sup>29</sup> che descrivono l’evoluzione temporale di un sistema complesso (anche se la complessità non si riduce all’aspetto del sistema che descrive l’evoluzione, ma coinvolge anche la sua struttura costitutiva), compare, in certe condizioni, anche il problema della “impredicibilità” degli eventi futuri, su base fisico-matematica.<sup>30</sup>

### La predicibilità (stabilità)

La predicibilità degli eventi futuri come conseguenza “necessaria” delle leggi della fisica, è una conseguenza della *stabilità* delle soluzioni,<sup>31</sup> tipica dei sistemi lineari, per la quale

---

<sup>27</sup> Per un affronto interdisciplinare in un’ottica che mette a confronto i risultati recenti delle scienze cognitive con la teoria cognitiva aristotelico-tomista si possono vedere G. BASTI, *Il rapporto mente-corpo nella filosofia e nella scienza*, ESD, Bologna 1991 e dello stesso autore la voce “Mente-corpo, rapporto”, in *DISF*, vol. I, pp. 920-939 (on line in versione inglese all’indirizzo [www.disf.org/en/Voci/14.asp](http://www.disf.org/en/Voci/14.asp)).

<sup>28</sup> Cfr. *Summa theol.*, I, q. 84.

<sup>29</sup> Ricordiamo che un sistema di equazioni differenziali alle derivate ordinarie  $du/dt = f(u,t)$ , si dice lineare se la funzione  $f$  è lineare rispetto alla variabile  $u$  e non lineare in caso contrario. Un funzione  $f: A \rightarrow B$ , si dice lineare rispetto ad una variabile  $x$  se e solo se: i) per ogni  $x,y$  appartenenti ad  $A$  risulta  $f(x+y) = f(x) + f(y)$ ; ii) per ogni  $x$  appartenente ad  $A$  e per ogni numero  $\alpha$  risulta  $f(\alpha x) = \alpha f(x)$ .

<sup>30</sup> Molti sono ormai gli studi sui sistemi dissipativi sia in ambito termodinamico che biologico, a partire dal grande contributo di Prigogine. Citiamo per tutti: G. NICOLIS, I. PRIGOGINE, *La complessità. Esplorazioni nei nuovi campi della scienza*, Einaudi, Torino 1991.

<sup>31</sup> Secondo Ljapunov una soluzione  $\hat{u}(t)$  di un sistema differenziale  $du/dt = f(u,t)$ , si dice stabile quando, scelto arbitrariamente un “margine di errore”  $\varepsilon$ , è possibile trovare in corrispondenza di esso un intorno di condizioni iniziali a partire dalle quali qualunque altra soluzione  $u(t)$  dello stesso sistema non si allontana mai, in tutti gli istanti successivi a quello iniziale, di più di  $\varepsilon$ . In formula:  $\forall \varepsilon > 0 \exists \delta > 0 : \|u(0) - \hat{u}(0)\| < \delta \Rightarrow \|u(t) - \hat{u}(t)\| < \varepsilon, \forall t > 0$ .

l'evoluzione futura di un sistema non si discosta mai se non di un "poco" controllabile dalla previsione teorica.

L'impredicibilità (instabilità, caoticità)

Ma, come ebbe a scoprire Poincaré (1890):<sup>32</sup> in un sistema non lineare (instabile) una piccola perturbazione delle condizioni iniziali del moto può comportare, dopo un certo tempo, un errore anche molto grande nella previsione. In questo caso l'impredicibilità non indica una mancanza di causalità (o "casualità"), ma l'impossibilità teorica (matematica) e pratica (sperimentale) di dominarla conoscitivamente da parte nostra, in quanto non è possibile né matematicamente né sperimentalmente conoscere le condizioni iniziali del moto (né effettuare i calcoli per predire il futuro del sistema) con precisione infinita in atto (cioè con infinite cifre decimali).

### 3.1.1.2. La causalità indeterministica

L'indeterminismo, al contrario, 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, in questo caso, nulla sarebbe predicibile;
- La negazione può essere "relativa" a qualche aspetto della relazione causa-effetto, ma non della relazione in se stessa. È in 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.<sup>33</sup>

In questo secondo caso si può considerare che la componente indeterministica:

a) rappresenti una legge della natura del mondo fisico: se si accetta questa posizione non c'è alcun motivo per cercare una teoria che lo rimuova dalla scienza;<sup>34</sup>

b) oppure che derivi da una limitazione conoscitiva del soggetto conoscente. E questo può verificarsi per due ragioni pratiche che si collocano al livello dei due fattori propri del metodo scientifico: l'osservazione e la matematizzazione.

- Dal versante dell'osservazione si può ritenere che l'indeterminismo sia dovuto agli apparati sperimentali e alla stessa operazione di misura (indeterminismo sperimentale).
- Dal punto di vista matematico si può generare indeterminismo per la difficoltà pratica di compiere un numero troppo grande di calcoli a causa del fatto che il sistema materiale in esame è costituito da un numero di particelle molto elevato.<sup>35</sup> In questo caso si ricorre a metodi statistici che comportano, di conseguenza, la possibilità di previsioni solo probabilistiche (indeterminismo statistico).

Su questi problemi si è dibattuto molto in ordine all'interpretazione della meccanica quantistica, soprattutto prima dell'esplosione delle nuove problematiche intorno alla complessità e alla teoria dell'informazione, sia in ambito fisico che biologico.

---

<sup>32</sup> Citiamo qui le sue principali grandi opere originali: *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste*, Gauthier-Villars, Paris 1892, vol. I, 1893 vol. II, 1899 vol. III e *Leçons de mécanique céleste*, Gauthier-Villars, Paris 1905 vol. I, 1907 vol. II part I, 1909 vol. II part II, 1911 vol. III.

<sup>33</sup> Anche le interpretazioni della meccanica quantistica che hanno ritenuto di sostenere questa posizione in realtà ammettono che la funzione d'onda obbedisca a una legge deterministica come l'equazione di Schrödinger e che solo a livello della sua interpretazione compaia l'aspetto probabilistico.

<sup>34</sup> Questa è ad esempio la posizione della Scuola di Copenhagen nell'interpretazione della meccanica quantistica.

<sup>35</sup> Si noti come l'impredicibilità dovuta all'indeterminismo statistico sia causata dai cosiddetti "grandi numeri" a differenza della imprevedibilità deterministica che sussiste anche nel caso del moto di una singola particella.

### 3.2. LA CAUSALITÀ GERARCHICA COME ORDINABILITÀ

Da un certo momento in poi, con la messa in discussione del metodo riduzionista, lo studio dei sistemi dinamici non lineari e dissipativi, la tematizzazione della complessità e le problematiche inerenti, la nozione di causalità ha incominciato a manifestarsi, anche agli occhi degli scienziati:

- non solo per il suo aspetto meccanico di azione “efficiente”
- ma anche come “relazione d’ordine”.

La relazione d’ordine introduce una priorità di un “elemento” (causa) rispetto ad un altro “elemento” (effetto), che può essere anche di natura non temporale, riguardando piuttosto l’informazione che governa la struttura d’insieme di un sistema, organizzandola a partire da un’origine e in vista di una finalità.

Questo passaggio costituisce un grande elemento di sblocco in vista di un approfondimento della stessa comprensione della causalità in prospettiva metafisica anche da parte delle scienze.

#### 3.2.1. *Il problema dell’“origine”*

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

- Se questa viene intesa in senso “temporale” (locale, riduzionistico) in riferimento a un evento particolare, l’origine risiede per un singolo processo evolutivo, nelle sue “condizioni iniziali”. Quando, poi, ad essere esaminato è l’universo fisico come tale, ci troviamo di fronte al problema dei cosiddetti “primi istanti dell’universo”.
- Ma si può parlare di “origine” anche in un senso “non temporale”. La causalità nei suoi aspetti “non temporali” non è mai stata evidente ai fisici come lo è per i logici per i quali ad essere rilevante non è tanto il tempo, quanto lo è la consequenzialità o causalità logica, quel nesso di implicazione per cui le premesse causano (originano) formalmente la conclusione, o l’ordinamento; o per i matematici per i quali l’ordinamento è dovuto a relazioni d’ordine (come quella di “maggiore” o “minore” tra numeri e altre del genere) che sono atemporali.

L’aspetto non temporale della causalità “formale” fa la sua comparsa nel mondo fisico, chimico e biologico, con l’analisi della considerazione del “tutto” nella sua “struttura d’insieme”, e 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, tra l’altro anche le considerazioni relative al “principio antropico”.<sup>36</sup>

#### 3.2.2. *Il problema della finalità*

E così anche la finalità fa ormai la sua comparsa legittima nel mondo fisico, chimico e biologico da diverso tempo. Non la si teme più come un elemento vitalistico o addirittura spiritualistico, in quanto incomincia ad essere presente sia nella “formulazione matematica” delle leggi di natura (ad esempio con i principi variazionali e in una certa formulazione delle

---

<sup>36</sup> Sulla questione del “progetto” e sugli equivoci che ad esso si ricollegano rispetto alla concezione tomista della causalità si è soffermato S. Parenti nel suo saggio in questo stesso volume.

leggi della termodinamica);<sup>37</sup> 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.).

— Il livello più elementare del problema della finalità, intesa in senso di “ordinamento temporale”, appare come rovesciamento temporale del problema dell’origine. A livello di un singolo evento fisico 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 degli stati del sistema (“bacino di attrazione”): si tratta del problema della stabilizzazione di un regime di moto. Nella considerazione dell’universo fisico nella sua totalità 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 dell’universo.

— 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., *infra*, §2.2.3), 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 finale.

### 3.2.3. 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 estrinseca.

— 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, cercando di ricavare le proprietà “globali” a partire da quelle “locali” (ad esempio mediante l’integrazione delle equazioni differenziali).

— 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.<sup>38</sup>

— 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 nella scienza dei modi differenziati con cui si attua l’ente aristotelico (*analogia entis*). Il tutto possiede un principio ordinatore irriducibile alla parte.

---

<sup>37</sup> Cfr. A. STRUMIA, “L’affiorare della spiegazione finalistica nelle teorie scientifiche”, *Automazione Energia Informazione*, vol. 85, n. 1, (1998), pp. 62-67; voce “Meccanica” in *DISF*, op. cit., §V.

<sup>38</sup> In tempi recenti il problema della “forma” nel senso di “forma geometrica” (*shape*) e della “struttura” in senso topologico è stato studiato matematicamente, tentando anche accostamenti ad Aristotele, con tecniche sofisticate da un grande matematico come René Thom (cfr. R. THOM, *Stabilità strutturale e morfogenesi. Saggio di una teoria generale dei modelli*, Einaudi, Torino 1980; IDEM, *Modelli matematici della morfogenesi*, Einaudi, Torino 1985).

### 3.2.4. *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 già sul versante della logica-matematica si possono fare delle riflessioni assai interessanti.<sup>39</sup>

### **Bibliografia**

— M. BUNGE, *La causalità. Il posto del principio causale nella scienza moderna*, Boringhieri, Torino 1970.

— A. STRUMIA, “Dalla scienza matematizzata all’ontologia formale. Annotazioni su analogia e causalità”, in A. Strumia (curatore), *I fondamenti logici e ontologici delle scienze. Analoga e causalità*, Cantagalli, Siena 2006, pp. 10-48.

— A. STRUMIA, “La causalità”, in A. Strumia, *Il problema dei fondamenti. Un’avventurosa navigazione dagli insiemi agli enti, passando per Gödel e Tommaso d’Aquino*, Cantagalli, Siena 2009, pp. 143-170.

---

<sup>39</sup> Ho sviluppato alcune idee in tal senso nel mio studio *Il problema dei fondamenti. Un’avventurosa navigazione dagli insiemi agli enti, passando per Gödel e Tommaso d’Aquino*, Cantagalli, Siena 2009.