

L'idea di scienza di Maritain tra passato e futuro

GIANFRANCO BASTI

Abstract: *In this paper, I present the actuality of Maritain's philosophy of nature as to the core doctrine of his book we are commenting in this journal issue. The doctrine concerns the "paradigm shift", during the XVI-XVII centuries, from the classical notion of science as "cognitio certa per causas", to the modern one started with Galilei and Newton works. Following Newton's suggestion, I connoted as "cognitio certa per leges". The classical notion of science is strictly related to Aquinas' notion of truth as "adaequatio rei et intellectus". To support this thesis, using the logical formalism of the Category Theory applied today, both in quantum field theory, and in formal philosophy, I extended Maritain's analysis to Aquinas' "compositional" foundation of his theory of truth. It has its two components: firstly, in the cosmological, descending, "ontic" direction of causality from the Divine Intellect to the things, and then from the things to the human intellect; secondly, in the "ascending" logical direction of knowledge from the human intellect to the things, and then from the things to their First Cause. Therefore, the "good news" for Maritain's intuition is that we are today dealing with a new "paradigm shift", to a causal justification of the mathematical laws of nature, because of the actual evolutionary cosmology, according to which "cosmogony is the legislator of nature" (Wheeler).*

Keywords: *logical truth, ontological truth, logical duality, category theory, quantum field theory.*

Abstract. *In questo lavoro presento l'attualità della filosofia della natura di Maritain rispetto alla dottrina-chiave del suo libro che stiamo commentando in questo numero della rivista. Questa dottrina riguarda il "cambio di paradigma", durante i secoli XVI-XVII dalla nozione classica di scienza come "cognitio certa per causas", a quella moderna iniziata con Galilei e Newton. Seguendo un suggerimento di Newton stesso, ho connotato la nozione moderna di scienza come "cognitio certa per leges". La nozione classica di scienza è strettamente legata alla nozione dell'Aquinate di verità come "adaequatio rei et intellectus". Per supportare questa tesi, usando il formalismo logico della "Teoria delle Categorie", oggi applicato, sia nella teoria quantistica dei campi, che in filosofia formale, ho esteso l'analisi di Maritain alla fondazione ontologica, "composizionale", offerta dall'Aquinate della sua teoria della verità. Essa ha le sue due componenti, nella direzione "ontica", cosmologica, discendente, dall'Intelletto Divino alle cose e quindi dalle cose all'intelletto umano; secondariamente, nella direzione ascendente "logica" dall'intelletto alle cose, e quindi dalle cose alla Prima Causa. In conclusione, la "buona novella" per l'intuizione di Maritain è che oggi assistiamo a un altro "cambio di paradigma", di nuovo verso una giustificazione causale delle leggi della fisica, nell'attuale cosmologia evolutiva, secondo la quale "la cosmogonia è la legislatrice della natura" (Wheeler).*

Parole chiave: *verità logica, verità ontologica, dualità logica, teoria delle categorie, teoria quantistica dei campi.*

1 DUE FONDAZIONI CONTRAPPOSTE DELLA SCIENZA A CONFRONTO

Nel Primo Volume del mio manuale *Filosofia della Natura e della Scienza*, rilevavo quanto era profonda la distanza fra l'idea moderna di scienza di origine newtoniana, e l'idea di scienza di Maritain nel suo capolavoro *I gradi del sapere. Distinguere per unire*, la cui seconda edizione a cura dell'amico Vittorio Possenti, recentemente pubblicata¹, ha dato l'occasione a tutti noi di rivisitare quelle pagine.

La citazione di Maritain che riportavo nelle pagine del mio libro² era dunque la seguente:

«Quale idea farci della scienza in generale, presa secondo la forma-limite che lo spirito ha di mira quando ha coscienza di sforzarsi verso quello che gli uomini chiamano sapere? L'idea che Aristotele e gli antichi se ne facevano è molto differente da quella che se ne fanno i moderni, giacché per costoro è la dignità eminente delle scienze sperimentali (...) che attrae in sé la nozione di scienza; mentre per gli antichi è la dignità eminente della metafisica ad orientare tale nozione. Bisogna, dunque, guardarsi dall'applicare così com'è senza precauzioni, la nozione aristotelico-tomista di scienza a tutto l'immenso materiale noetico che i nostri contemporanei sono soliti chiamare col nome di scienza: si incorrerebbe nei più gravi errori. Tuttavia per gli antichi e per i moderni, in ciò concordi, il tipo di scienza più chiara, più perfezionata e

¹ JACQUES MARITAIN, *Distinguere per unire. I gradi del sapere. Nuova Edizione*, Morcelliana, Brescia, 2013.

² Cfr. GIANFRANCO BASTI, *Filosofia della Natura e della Scienza. Vol. I: I Fondamenti*, Lateran University Press, Roma, 2002, p. 234.

più perfettamente alla nostra portata è fornito dalle matematiche. E si può pensare che a condizione, non dico di essere corretta e adattata, bensì sufficientemente approfondita ed epurata, la teoria intellettualistico critica o realistico critica della scienza i cui principi sono stati stabiliti dai metafisici antichi e medievali, è la sola che ci dia un mezzo per veder chiaro nei problemi epistemologici, divenuti ai giorni nostri un vero caos. Come dunque definire la scienza in generale e secondo il suo tipo ideale? Noi diremo che la scienza è una conoscenza di modo perfetto, più precisamente una conoscenza in cui, sotto la costrizione dell'evidenza, lo spirito assegna le ragioni d'essere delle cose, giacché lo spirito non è soddisfatto che quando attinge non solo una cosa, un dato qualsiasi, ma anche ciò che fonda quel dato nell'essere e nell'intelligibilità. *Cognitio certa per causas* dicevano gli antichi, conoscenza per dimostrazione (o, in altre parole, mediamente evidente) e conoscenza esplicativa»³.

Il passo di Newton che citavo⁴ per esemplificare la distanza che questa visione “causale” della scienza classica citata da Maritain aveva dalla visione fenomenica, basata sulla spiegazione matematico-sperimentale della scienza moderna era il seguente:

«I fenomeni della natura ci insegnano che siffatti principi (= le tre leggi della dinamica) esistono realmente, anche se la loro causa non è stata ancora investigata. Le leggi di cui parliamo sono dunque evidenti e soltanto le loro cause possono dirsi oscure. Gli aristotelici e gli scolastici invece hanno considerato come qualità oscure non già delle proprietà in qualche modo note, ma piuttosto altre che pensavano fossero nascoste nei corpi e costituissero la ragione sconosciuta degli aspetti visibili. Ma a questa categoria tanto la gravitazione quanto la forza elettrica e magnetica apparterebbero soltanto se noi presupponessimo che esse derivano dalla natura intima delle cose a noi sconosciuta, cioè da un sostrato impensabile ed insondabile. Siffatte «qualità» sono indubbiamente un ostacolo per il progresso scientifico e sono quindi rifiutate a buon diritto dall'indagine moderna. La credenza in essenze specifiche delle cose dotate di specifiche forze nascoste e quindi adatte a produrre determinati effetti sensibili, è del tutto vuota e priva di significato. Derivare invece dai fenomeni due o tre principi generali del movimento, e spiegare come poi da essi, quali presupposti chiari ed evidenti, debbano seguire tutte le proprietà e le manifestazioni di tutte le cose materiali, sarebbe già un importante progresso della conoscenza scientifica, anche se le cause di tali principi rimanessero a noi completamente sconosciute»⁵.

Come si vede, “spiegare” per la scienza moderna significa trovare la legge matematica mediante la quali rendere predicibili “i fenomeni”, più esattamente le variazioni delle misure effettuate sugli oggetti della teoria. A questo scopo ho coniato l'espressione, spesso usata nelle mie lezioni e in alcuni miei scritti, che la differenza dell'interpretazione moderna di “scienza” rispetto a quella classica, pre-moderna, potesse ridursi all'opposizione fra *cognitio certa per leges* versus *cognitio certa per causas*.

D'altra parte, che si tratti di due scelte alternative l'una all'altra risulta immediatamente evidente quando si tenga presente che solo a patto di “tagliar fuori” le interazioni causali con l'ambiente come, appunto il principio d'inerzia della meccanica classica afferma, si può scrivere l'integrale del sistema meccanico considerato, ovvero identificare la legge matematica deterministica che ci consente di “spiegare scientificamente” il fenomeno fisico in questione.

È questo ciò che in ultima analisi Newton ci stava dicendo quando affermava che “i fenomeni della natura ci insegnano che siffatti principi (= le tre leggi della dinamica) esistono realmente, anche se la loro causa non è stata ancora investigata. Le leggi di cui parliamo sono dunque evidenti e soltanto le loro cause possono dirsi oscure”. L'“esistenza” cui qui Newton fa riferimento riguardo alle sue tre leggi o “principi” della meccanica – principi di: “inerzia”, “proporzionalità della forza al prodotto della massa per l'accelerazione”, “azione e reazione”, che poi si riducono sostanzialmente a uno, visto che affermando uno qualsiasi dei tre, gli altri due si riducono a suoi lemmi – è chiaramente l'esistenza nel senso “logico matematico” del termine. Quella per cui, se un teorema è vero, lo deve essere anche l'assioma che lo giustifica.

Per esempio, in geometria euclidea, se è vero il teorema di Pitagora, dev'essere vero, razionalmente, matematicamente, anche l'assioma delle parallele che lo giustifica, anche se appare tutt'altro che evidente al senso comune (due binari del treno paralleli all'infinito sembra che si incontrano). Così, se è vero che il modello matematico di un sistema fisico (p.es., in meccanica classica) è inte-

³ JACQUES MARITAIN, *Distinguere per unire. I gradi del sapere*, Morcelliana, Brescia, 1981¹, p. 44s.

⁴ Cfr. BASTI, *Filosofia della Natura*, cit. p. 100.

⁵ ISAAC NEWTON, *Optice. Sive de reflexionibus, refractionibus, inflexionibus & coloribus. Authore Isaaco Newton, equite aurato, uertit Samuel Clarke*, trad. in latino di Samuel Clarke, London, 1706, p. 326.

grabile, dev'essere vero anche il principio d'inerzia che lo giustifica, anche se al senso comune appare tutt'altro che vero: chi ha mai visto un moto senza attriti? D'altra parte, obbietta il moderno, al senso comune appariva vero anche che il sole girava attorno alla terra, e invece Galilei, Keplero e Copernico hanno, clamorosamente, dimostrato che non è vero.

Come s'intuisce, la spiegazione in termini di leggi è antitetica a quella in termini di cause, di interazioni causali. Solo, però, a patto di isolare il sistema dalle interazioni causali, la spiegazione dei processi fisici in termini di leggi matematiche è possibile. Ontologicamente, questo significa interpretare *meccanicisticamente* un sistema fisico: separare cioè nettamente le particelle dalle forze che agiscono su di esse, così che la spiegazione dei moti delle prime potesse ridursi alle leggi geometriche che le governano, come già Democrito e i suoi seguaci – dagli Stoici agli Epicurei – nell'antichità supponevano. Questo principio, nella storia della fisica moderna è stato poi generalizzato a sistemi dinamici più complessi di quelli studiati dalla meccanica classica (sistemi dinamici non-lineari, o, più in generale, sistemi dinamici “a molti corpi”) attraverso l'uso sistematico dei cosiddetti *metodi perturbativi*. Tali metodi nelle loro molteplici variazioni, consistono essenzialmente, nel caso dello studio delle interazioni fra particelle (teorie dei campi), in “tagliar via” le interazioni che caratterizzano quel sistema dinamico, studiandolo nella cosiddetta “condizione asintotica”, ovvero mandando all'infinito le distanze spaziali e temporali delle interazioni, così, di fatto, isolando il sistema dalle interazioni stesse, nella supposizione che attraverso questo artificio *il sistema studiato non cambi la sua natura*.

In sintesi, sia “il principio d'inerzia”, per i sistemi lineari della meccanica classica, sia i “metodi perturbativi” per i sistemi “a molti corpi” della meccanica celeste, e quindi per i sistemi non-lineari della meccanica statistica (termodinamica inclusa) e della meccanica quantistica, ambedue obbediscono alla medesima strategia epistemologica e quindi ontologica. Tale strategia consiste in ridurre sistematicamente la *dinamica*, la spiegazione “causale” dei moti (o più in generale, delle variazioni di una grandezza fisica) in termini di “interazioni” fra i corpi coinvolti, alla *cinematica*, alla spiegazione “matematica” dei medesimi in termini di “leggi” che governano la rappresentazione geometrica, meccanicista, dei moti stessi. I metodi perturbativi, d'altra parte, hanno una storia gloriosa nell'ambito della fisica-matematica moderna, che inizia con Lagrange e Laplace nel sec. XVIII, che per primi li applicarono alle perturbazioni dell'orbita del singolo pianeta intorno al sole. L'apoteosi di questi metodi, però, come vedremo in seguito, si è raggiunta in fisica fondamentale (quantistica) solo negli anni '80-'90 del secolo scorso, con il cosiddetto “Modello Standard” delle particelle elementari che compongono l'attuale universo. Vi torneremo nella parte finale e nella conclusione di questo lavoro.

2 IL TENTATIVO DI SINTESI DI MARITAIN: L'ESTENSIONE ONTOLOGICA DEL PRINCIPIO DI EVIDENZA

Il tentativo di sintesi di Maritain consiste, come in tanti altri autori della neo-scolastica novecentesca, di coniugare il trascendentale moderno dell'*evidenza* e quindi dell'autocoscienza trascendentale intesa di Kant e di Husserl (l'evidenza è uno stato di coscienza), con quello classico, e tommasiano in particolare, dell'*essere*⁶. Dove – e non credo sia superfluo qui ricordarlo – con “tra-

⁶ Al riguardo dei rapporti fra le due nozioni di “trascendentale” – una distinzione che si deve, originariamente a Cornelio Fabro che, come sappiamo, non fu tenero nella sua critica al neo-tomismo di Maritain proprio su questo punto – mi permetto di rimandare al mio saggio sul rapporto fra Edith Stein e Tommaso d'Aquino: GIANFRANCO BASTI, «Ontologia formale. Tommaso d'Aquino ed Edith Stein», in *Edith Stein, Hedwig Conrad-Martius, Gerda Walter. Fenomenologia della persona, della vita e della comunità*, a cura di ANGELA ALES BELLO, FRANCESCO ALFIERI E SHAHID MOBEEN, Laterza, Bari, 2011, pp. 107-388. Nell'itinerario teoretico di questa grande pensatrice del XX secolo è infatti esplicitamente rilevabile un'analogia traiettoria dal trascendentale moderno dell'evidenza e dunque dell'autocoscienza a quello tommasiano dell'essere, dall'interno della scuola fenomenologica che fa proprio dell'analisi dell'evidenza il centro della ricerca. Questo, sebbene proprio in *Distinguere per unire*, Maritain esprime una forte critica al metodo fenomenologico di analisi dell'evidenza per il “principio dell'*epoché*” husserliana. Ovvero della “sospensione del giudizio della tesi naturalistica” che separa l'atto intellettuale del giudizio della relazione reale col mondo al di fuori della coscienza.

scendentale” s’intende il fondamento pre-categoriale della *verità logica* e dunque, nel nostro caso, della stessa verità delle leggi matematiche della fisica. Il “realismo critico” di Maritain consiste dunque nell’analisi critica, epistemologica e dunque “riflessa”, di quello che è l’autentico “punto di partenza” della filosofia. Esso non può consistere nel *cogito ergo sum* di Descartes che artificiosamente separa l’atto cognitivo dalla naturalezza del suo riferirsi alla cosa esistente. In altri termini, prima – una precedenza non temporale, ma ontologica e quindi epistemologica – si dà l’atto di conoscenza nel suo naturale estendersi attraverso i sensi alla cosa esistente, quindi (anche se temporalmente insieme)⁷ la “riflessione” cosciente dell’intelletto sul suo atto che fa sì che la consapevolezza dell’io resti “sullo sfondo”, durante la prima riflessione dell’intelletto, mentre “ciò che si dà in primo piano” alla stessa coscienza – con una distinzione cara alla “psicologia fenomenologica” di quel tempo, quella fra “figura e sfondo” – è la cosa esistente⁸. In altri termini, l’evidenza prima per l’intelletto, secondo Tommaso, non è quella della propria esistenza (*cogito ergo sum*) ma quella *dell’essere della cosa*.

Non per nulla, proprio all’inizio delle sue *Quaestiones Disputatae De Ver.* (I, 1co.), Tommaso solennemente afferma: *Illud autem quod primo intellectus concipit quasi notissimum, et in quod conceptiones omnes resolvit, est ens* (“Ciò che l’intelletto primariamente concepisce come evidentissimo, ed in cui risolve tutte le sue concezioni, è l’ente”). Ecco comunque due testi di Maritain cui si evidenzia, rispettivamente, 1) la sua critica “alla presa a rovescio”, usando l’efficacissima immagine critica di Feuerbach all’idealismo trascendentale moderno del “mettere l’uomo a testa in giù”: prima l’autocoscienza poi la conoscenza, del *cogito* cartesiano-kantiano come inizio del filosofare critico; e quindi 2) l’altro pilastro del suo “realismo critico”, ovvero la sua analisi “critica” del fondamentale testo tommasiano appena citato.

«Se, dunque, si volesse formulare a processo di conoscenza avvenuto, quale è l’esperienza che serve da punto di partenza alla critica, bisognerà dire, non già: *io penso*: bensì, *io ho coscienza di conoscere*, – *io ho coscienza di conoscere almeno una cosa, che ciò che è, è*»⁹.

«Quando io dico “so che *qualche cosa è* (o può essere)”, io posso avere l’intenzione di affermare semplicemente che *qualche cosa è* (o può essere) *aliquid est*: il mio enunciato concerne in questo caso il primo movimento dello spirito, e così si riferisce *al punto di partenza della filosofia intera*. L’esperienza concreta che tale enunciato esprime, include, d’altronde tutta la complessità delle mie attività conoscitive, poiché la mia intelligenza vi coglie l’essere intelligibile, colto dall’intelligenza proprio come possibile che implica esigenze eterne, è l’oggetto della sua primissima certezza puramente intellettuale (principio d’identità). L’intelligenza però, lo coglie ritornando di fatto su qualche singolare, offerto dai sensi da cui essa ha fatto emergere l’essere intellegibile»¹⁰.

In questi due testi di *Distinguere per unire*, si può dire che si sintetizzi il cuore dell’itinerario di Maritain dal trascendentale moderno dell’evidenza (e quindi della coscienza) a quello classico dell’essere, che lo pongono in (inconsapevole) relazione con quello percorso da Edith Stein. Infatti, in ambedue ciò che li caratterizza è l’uso di Tommaso come “faro” in questo cammino assoluta-

⁷ Ciò che spesso sfugge – anche a Maritain – nell’analisi dell’atto intellettuale secondo Tommaso è che la simultaneità temporale fra coscienza e atto cognitivo della cosa da parte dell’intelletto dipende dal fatto che l’atto della conoscenza intellegibile della cosa consiste di due componenti – l’astrazione della specie dal dato sensibile da parte dell’intelletto *agente*, e la riapplicazione della medesima sul dato sensibile nella formulazione del giudizio, con funzione di verifica fattuale della precedente, da parte dell’intelletto *possibile*. L’intelletto agente e possibile non sono, però, due intelletti, è il medesimo intelletto che agisce in quanto *agente* su se stesso in quanto *possibile*. Perciò l’intelletto, per conoscere la cosa esterna intellegibilmente, mediante cioè un giudizio *vero*, agisce su se stesso, quindi si “auto-conosce” *sullo sfondo* della primaria conoscenza dell’*altro da sé*. In questo senso, dice Tommaso, la coscienza accompagna sempre come *cum-scientia* (cfr. TOMMASO, *De Ver.* I, 1co.), ma *non fonda mai* l’atto cognitivo dell’intelletto.

⁸ Mi permetto di rimandare al capitolo IV del mio manuale di antropologia, GIANFRANCO BASTI, *Filosofia dell’uomo*, Edizioni Studio Domenicano, Bologna, 1995 (2011³), per l’illustrazione della distinzione tommasiana fra: 1) “prima” (*intellectus percipit se intelligere*: coscienza come consapevolezza); e 2) “seconda” (*intellectus intelligit se intelligere*: coscienza come autocoscienza) riflessione dell’intelletto sul proprio atto. Secondo questa distinzione, “oggetto” dell’atto cognitivo intellettuale (*in intentio prima*) durante la prima riflessione è la “cosa” extra-mentale, mentre “oggetto” dell’atto cognitivo dell’intelletto (*in intentio secunda*) durante la seconda riflessione è il proprio atto e i “prodotti intellegibili” del proprio atto (idee, concetti, leggi e regole logiche, etc.).

⁹ MARITAIN, *Distinguere per unire*, cit., p. 102.

¹⁰ *Ivi*, p. 103.

mente post-moderno di sintesi fra modernità e classicità, presi al loro punto originario di *Diremption*, di “divaricazione”, per usare un termine caro ad un altro autore che tanto ha contribuito al recupero di Tommaso all’orizzonte della filosofia del Novecento: Cornelio Fabro.

D’altra parte, Maritain stesso è ben cosciente della distanza fra questa sua coraggiosa riproposizione dell’epistemologia tommasiana e l’epistemologia moderna, quando sottolinea come il realismo tommasiano si basa su una *fondazione causale* di esso a partire dall’essere della cosa singola extra-mentale (*entitas*) e dall’azione causale che le sue “qualità attive-passive” (calore, essenzialmente) esercitano sull’organo di senso diventando per ciò stesso “qualità sensibili” (colori, sapori, odori..., oggetto dei cinque sensi).

Si fonda su quest’azione il carattere “oggettivo” dell’intenzionalità cognitiva e il carattere intrinsecamente *formale*, e in questo senso *immateriale*, di ogni atto cognitivo, non solo nell’intelletto, ma nella stessa operazione dei sensi. Quella per cui la medesima “qualità” che ha nella cosa esterna il suo *esse naturale* ha nei sensi un *esse intentionale*¹¹, ovvero, per dire la stessa cosa nei termini molto più sintetici ed efficaci di Aristotele, “non la pietra è nell’anima, ma la forma della pietra”. Tutte nozioni che richiedono un’analisi approfondita dei testi di Tommaso con strumenti molto più acuti, raffinati e potenti della “filosofia critica”, quelli della “filosofia formale”, in particolare nello studio dell’articolazione del rapporto fra causalità agente e materiale, da una parte e causalità formale e finale dall’altra, sia nell’ontologia della realtà fisica, sia nell’ontologia dell’atto cognitivo e, quindi, della conseguente epistemologia.

Strumenti sconosciuti all’epoca a Maritain, anche se va a suo merito il fatto che *Distinguere per unire* sia stato preceduto da un suo lodevole sforzo di studio e divulgazione della logica filosofica di ispirazione aristotelica, in quanto distinta dalla logica matematica, sebbene senza usare gli strumenti della formalizzazione della prima nei confronti della seconda – strumenti, invece, già abbondantemente usati in quegli stessi anni da eminenti logici della scuola polacca, per esempio, da S. Leśniewski, a J. Łukasiewicz, a J. M. Bochenski, e, gli ultimi due, proprio nello studio della logica aristotelica e tomista. Per questa mancanza, l’analisi di Maritain non poteva portare a risultati scientificamente significativi, a differenza invece di quelli, per esempio, dei tre citati autori.

D’altra parte, però, era ben chiaro, a Maritain e a tutti i neo-tomisti del ‘900, che le nozioni tommasiane appena ricordate, relative a una fondazione ontologica di tipo *causale* e *formale* del realismo cognitivo, sono comunque incompatibili col *meccanicismo* della fisica moderna, così che, nota ancora Maritain, solo un profondo ripensamento dei fondamenti stessi anche *matematici e logici* della fisica moderna può portare ad una rivisitazione (post-)moderna di questi concetti, indispensabili ad un’interpretazione realista della stessa percezione sensibile, e dunque portare a una declinazione “realista” della filosofia critica e della sua analisi dell’evidenza. Questo ripensamento della fisica fondamentale è precisamente quanto sta avvenendo sotto i nostri occhi in questi ultimi anni, così da portare a un vero e proprio “cambio di paradigma” come ho già illustrato in diversi miei scritti, anche su questa rivista¹², sulla scorta dei lavori di un numero crescente di fisici teorici.

¹¹ *Ivi*, pp. 143ss. Infatti Tommaso distingue nell’operazione dei sensi due tipi di *immutationes, materialis et intentionalis*, dall’oggetto fisico sull’organo di senso. Cfr. su questo punto molte mie pubblicazioni a partire da quella che sintetizza il mio lavoro di tesi di laurea alla Statale di Roma: GIANFRANCO BASTI, *La relazione mente-corpo nella filosofia e nella scienza*, ESD, Bologna, 1991.

¹² GIANFRANCO BASTI, «La teoria “complexa” della cogitativa di Cornelio Fabro. Dall’essere al pensiero», *Aquinas*, 55 (2012), 311-42; ID., «Dualità, epigenesi, intenzionalità: dal mente-corpo al persona-corpo», *Divus Thomas*, 115 (2012), 29-89; ID., «A change of paradigm in cognitive neurosciences: Comment on: “Dissipation of ‘dark energy’ by cortex in knowledge retrieval” by Capolupo, Freeman and Vitiello», *Physics of life reviews*, 13 (2013), 97-98; ID., «Intelligence and reference. Formal ontology of the natural computation», in *Computing Nature. Turing Centenary Perspective*, a cura di GORDANA DODIG-CRNKOVIC E RAFFAELA GIOVAGNOLI, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 2013a, pp. 139-59; ID., «The quantum field theory (QFT) dual paradigm in fundamental physics and the semantic information content and measure in cognitive sciences», in *Proceedings of AISB 2014 Convention. Symposium on: “Representation of Reality: Humans, Animals and Machine”, London, April 1-4, 2014* <<http://doc.gold.ac.uk/aisb50/AISB50-S23/AISB50-S23-Basti-paper.pdf>> [accessed 24 May 2014]; ID., «L’ontologia formale del “realismo naturale”, cosmologia evolutiva e partecipazione dell’essere», *Divus Thomas*, 117 (2014), 229-334.

Tale ripensamento riguarda anche e direttamente gli stessi fondamenti matematici e logici della fisica e di tutte le scienze naturali e va sotto il nome comprensivo di *Teoria delle Categorie* (TC) che fornisce alla matematica un linguaggio molto più universale della stessa teoria degli insiemi. Il suo apporto fondamentale alla nostra questione è che attraverso la dualità coalgebra-algebra, consente di estendere il formalismo matematico, essenzialmente algebrico, della fisica moderna alla sistematica inserzione delle interazioni con l'ambiente, senza necessità di falsificare la realtà del sistema studiato isolandolo artificialmente dall'ambiente.

Ed infatti la TC ha il pregio di riunire in un unico quadro formale matematica e logica, da una parte, e fisica teorica e informatica teorica (*theoretical computer science*), dall'altra, ed è per tutto questo che è diventata in questi ultimissimi anni oggetto di interesse anche dei filosofi. Dal punto di vista filosofico ciò che la rende particolarmente interessante per i nostri scopi è lo stretto rapporto ed insieme la differenza di approccio che lega la TC alla teoria degli insiemi, la teoria che da quasi due secoli costituisce il linguaggio formale (metalinguaggio) in cui interpretare i fondamenti della logica e della matematica. Oggetti fondamentali della teoria degli insiemi sono infatti gli "elementi" che costituiscono gli insiemi, che comunque pre-esistono alle relazioni (funzioni) che li legano, comunque poi questa esistenza sia assiomaticamente giustificata nelle diverse teorie degli insiemi. In questo, afferma giustamente A.A. Fraenkel¹³, l'autore insieme a F. Zermelo della più usata delle teorie assiomatiche degli insiemi, la teoria ZF, la teoria degli insiemi è debitrice all'ontologia platonica. Esattamente come lo è tutta la scienza moderna a cominciare da Galilei e Newton. La scienza galileiano-newtoniana appunto suppone l'eternità delle leggi matematiche della fisica e, comunque la loro pre-esistenza al mondo fisico stesso¹⁴. Koyré, il grande storico della scienza, addirittura diceva che la scienza galileiana è una forma di verifica empirica di platonismo!¹⁵

In una semantica insiemistica "standard", allora, la nozione ontologica di "causa" distinta da "legge" come un'operazione che "fa esistere" oggetti è "senza senso" – ovvero non è né vera né falsa, semplicemente non si può esprimere e quindi capire razionalmente. Cercare perciò di formalizzare in questa logica il pensiero di un autore come Tommaso – e come Aristotele stesso – che affermano la fondazione causale (ontica) degli enti e della stessa verità ontologica è semplicemente impossibile. Ogni tentativo diverrebbe – e lo è stato di fatto – una mistificazione, o comunque, come nel caso del generoso tentativo di Maritain, un'interpretazione limitata, per non avere la capacità l'epistemologia e la logica moderne di rendere in pieno l'originalità di Tommaso. Non per nulla chi ha avuto la forza intellettuale e il coraggio morale di farlo, C. Fabro, proprio perché non aveva – e neanche cercava, invero – la potenza del formalismo logico e matematico, è restato essenzialmente un incompreso, soprattutto nell'ambito scientifico, per quanto rispettato da tutti per la sua genialità.

In TC, invece, come vedremo, gli oggetti fondamentali sono le "freccette" o i "morfismi" o le "mappe", in una parola "funzioni" e "operazioni". In TC gli insiemi e i loro elementi sono perciò interpretati *sempre* come punti di partenza (*source*) o di arrivo (*target*: propriamente "domini"- "codomini") di "freccette", "mappe", "morfismi", quindi anche di "funzioni" e di "operazioni". In tal modo una *categoria* è "qualsiasi struttura in logica o matematica con morfismi che preservano la struttura"¹⁶. Una nozione semplicissima, ma proprio per questo di straordinaria ricchezza applicativa ed esplicativa perché consente di individuare relazioni fra teorie logiche e matematiche diverse che altrimenti neanche si immaginavano!

L'applicazione delle nozioni fondamentali della TC consente perciò di leggere in maniera del tutto nuova, da una parte, la fisica fondamentale (fisica quantistica), dall'altra la logica e la filosofia, dando luogo alla nuova disciplina della *filosofia formale*, visto che l'arricchisce di strumenti

¹³ A. A. FRAENKEL, *Teoria degli insiemi e logica*, Ubaldini, Roma, 1968.

¹⁴ Cfr. PAUL DAVIES, «Universe from bit», in *Information and the nature of reality. From physics to metaphysics.*, a cura di PAUL DAVIES E NIELS HENRICK GREGERSEN, Cambridge UP, Cambridge, 2010, pp. 65-91.

¹⁵ ALEXANDRE VLADIMIROVIC KOYRÉ, *Newtonian studies*, Chicago UP, Chicago, 1968.

¹⁶ S. ABRAMSKY E N. TZEVELEKOS, «Introduction to categories and categorical logic», in *New structures for physics. Lecture Notes in Physics*, 813, a cura di BOB COECKE, Springer, Berlin-New York, 2011, p.6.

formali nuovi e insospettati, innanzitutto per l'analisi del legame fra *relazioni causali* (*coalgebriche*) e *relazioni logiche* (*algebriche*). Esattamente quelli che servono a noi per la questione in oggetto. Su queste nozioni fondamentali mi soffermerò dunque nelle prossime due sezioni, tralasciando altri aspetti più descrittivi della rivoluzione in atto, e già da me trattati nei saggi di cui alla nota 12.

Lo sfondo teoretico che giustifica questa operazione è il fatto che la novità di Tommaso nella scolastica medievale è stato proprio il suo tentativo sistematico di utilizzare (anche) la filosofia aristotelica, invece che (solo) quella platonica in metafisica e teologia com'era stato nel primo millennio. Non è dunque casuale che le nozioni di TC si prestino molto bene a quella formalizzazione del pensiero di Tommaso, in grado di porlo in relazione diretta col "cambio di paradigma" in corso nella fisica fondamentale contemporanea. Su questo punto, ovviamente, che spiega il titolo di questo saggio torneremo nelle conclusioni di esso.

3 LA COMPOSIZIONE DI VERITÀ ONTICA E LOGICA NELLA NOZIONE DI VERITÀ ONTOLOGICA DI TOMMASO

3.1 LA NOVITÀ DELLA METAFISICA TOMMASIANA RISPETTO LA METAFISICA NEO-PLATONICA

Se, dunque, la TC e la cosmologia evolutiva ci stanno liberando da quella visione platonica della scienza che ha caratterizzato la prima parte della modernità, non è un caso che formalismi e contenuti che esse sviluppano manifestino essenziali punti di contatto con la metafisica naturalista di Tommaso. Storicamente, infatti, Tommaso è stato impegnato nell'opera analoga di liberare la metafisica e la teologia cristiana del secondo millennio da quella dipendenza eccessiva dal platonismo che la stava isolando dal nuovo che avanzava, rinchiudendola nella prigione dello spiritualismo e del pietismo, anticamera di ogni fondamentalismo. Lo stesso rischio che corre oggi la teologia, anche se su piani diversi. Due sono i punti teoretici fondamentali su cui la critica tommasiana si è concentrata: l'autonomia del cosmo e l'autonomia dell'intelletto umano. Cominciamo dalla prima.

3.1.1 AUTONOMIA DEL COSMO NELLA GENERAZIONE DI FORME NATURALI E SUA ATTUALITÀ

Cuore del naturalismo aristotelico è l'educazione delle forme naturali, e quindi delle nature (essenze) delle diverse specie degli enti fisici, dal dinamismo disordinato della "materia prima" per l'azione di agenti (cause) naturali. In questa ottica, Tommaso identifica il *proprium* del concetto di "creazione dal nulla", non come un "mettere ordine nel caos primordiale", che pre-esiste all'atto creativo stesso, ovvero una "creazione di forme nella materia", come in tutte le cosmogonie non-bibliche, quella platonica del Demiurgo inclusa. È questa impostazione all'origine della presunta incompatibilità fra *creazione ed evoluzione* in biologia e, oggi, in cosmologia. Viceversa, come sappiamo, creazione dal nulla significa "creazione da Dio di tutto l'essere dell'ente fisico, materia e forma, nulla escluso", e non come nelle altre cosmogonie, "esclusa la materia" supposta come già pre-esistente all'atto creativo. Quindi per Tommaso la creazione del cosmo degli enti materiali significa che la Causa Prima (Dio per i credenti) pone nell'essere la materia prima, mentre

«le forme corporali sono causate non come se influsse da qualche forma immateriale, ma come da una materia ridotta dalla potenza all'atto da qualche agente fisico composto a sua volta (di forma e materia)»¹⁷.

Le forme e le nature delle cose derivano dall'azione di *cause fisiche* (cause seconde, rispetto alla Causa Prima). In altri termini, nell'Intelletto Divino non esiste "l'archivio" di tutte le forme naturali che poi Dio inserirebbe nella materia con una versione cristiana del Demiurgo – un principio metafisico-teologico che è alla base della presunta incompatibilità creazione-evoluzione nella modernità. Al contrario, la "causalità esemplare" divina consiste, per Tommaso, nel fatto che nella partecipa-

¹⁷ *Summa Theologiae*, I, 65, 4.

zione dell'atto d'essere è posto il principio causale "primo" di tutte le forme naturali, edotte dalla materia per il *necessario* concorso delle cause seconde. In tal modo creazione ed evoluzione diventano in principio perfettamente compatibili¹⁸. Infatti, l'atto creativo è fuori del tempo, nel senso che il tempo, come lo spazio, è "dentro" non fuori del divenire della materia e quindi dell'universo. In questo senso, dal punto di vista metafisico, l'universo potrebbe esistere per Tommaso anche *ab aeterno senza escludere di essere creato*. In ogni caso, l'atto creativo di Dio, poiché include causalmente tutto il divenire dello(gli) universo(i) è *simultaneo* a tutti gli istanti di tempo, non è posto solo all'inizio dell'universo stesso – come già avevano notato Origene e Agostino: lo "In principio" del *Genesi* non è "all'inizio", ma "fuori" del tempo perché causalmente lo include. Ma cosa significa "inclusione causale", in quanto distinta da "inclusione logica" fra insiemi? Ecco la grande sfida per la filosofia formale!

In ogni caso, questo schema è consistente anche con quello aristotelico che, supponendo come qualsiasi altra cosmologia extra-biblica l'esistenza della materia prima anche se con delle caratteristiche particolari, affermava che tutte le forme degli enti derivavano, dal "motore immobile", come causa formale-finale universale, e da una "stratificazione" di cause moventi fisiche universali, "i cieli" della sua cosmologia geocentrica ispirata da Eudosso, fino al "primo cielo" delle stelle fisse, ciascun cielo essendo associato a una causa formale-finale: le cosiddette "intelligenze separate"¹⁹. Ma soprattutto questo schema di inclusione causale è consistente con i primi due versetti del *Genesi* che parlano della dipendenza causale da Dio dei due principi, attivo (i cieli) e passivo (la terra) da cui tutto deriva e descrivono la terra come un caos "informe e vuoto", senza alcun ente esistente, con le acque primordiali "increspate dal vento divino"²⁰.

Come evidenziato più volte altrove²¹ e come vedremo subito, esistono delle indubbie corrispondenze formali – evidenziabili mediante la TC – fra la cosmologia aristotelico-tomista e la cosmologia evolutiva dell'universo fondata sulla "stratificazione progressiva" di un doppio principio, *formale* della rottura di simmetria del vuoto quantistico (VQ), ed *efficiente* della conseguente *dualità* ("raddoppio" dei gradi di libertà) con bilancio energetico, fra un sistema e il suo bagno termico. Questi due principi, costituiscono il *proprium* della "teoria quantistica dei campi" (*quantum field theory*, QFT) come "teoria quantistica di campo termico", per questo irriducibile alla "meccanica quantistica" (*quantum mechanics*, QM). Si capisce, perciò, come manchino completamente il bersaglio quei fisici in vena di filosofia che usano queste nozioni per dire che con questa cosmologia basata sulla QFT si spiega la nozione di "creazione dal nulla" dell'universo senza riferimenti ad una causalità universale trascendente, ma solo immanente²². Infatti, come fisici, correttamente, essi devono supporre l'esistenza del VQ, visto che ogni universo, siano uno, siano molti, "esiste" ultimamente nel VQ. La creazione come causalità trascendente, però, si applica anche all'esistenza del VQ e, grazie alla lucida analisi di Tommaso sulla questione, essa è compatibile con l'ipotesi *mai* dimostrabile che l'universo possa esistere *ab aeterno*. Ipotesi che, d'altra parte, proprio per la sua

¹⁸ Per Tommaso l'esemplarità della causalità divina riguarda esclusivamente i trascendentali (*esse, bonum, verum,...*) non entità categoriali quali le essenze e le forme. Senza citarle tutte esistono ben 148 passi nelle opere di Tommaso tutti concordi in questa direzione, come si può evincere consultando la voce relativa nello *Index Thomisticus* di P. Busa.

¹⁹ A parte le inevitabili incrostazioni mitologiche, formalmente la necessità di un principio formale-finale è legato al rifiuto aristotelico del determinismo geometrico "a priori" del meccanicismo democriteo, cosicché la "necessitazione formale" del bicondizionale ontologico dell'implicazione causale dev'essere fondata "a posteriori" dall'effetto alla causa. Questa struttura formale è "omomorfa" (formalmente identica) a quella della causalità finale. Rispetto al fine che si vuole raggiungere si ordinano le cause efficienti e materiali per conseguirlo. Su questo punto, sviluppato in particolare da Tommaso, cfr. il mio BASTI, "L'ontologia formale del "realismo naturale", *cit.*

²⁰ "In principio il Signore Iddio creò il cielo e la terra. Ora la terra era informe e vuota e un vento divino increspava le acque" (*Gen.* I,1-2)

²¹ Cfr. in particolare, BASTI, "L'ontologia formale del "realismo naturale", *cit.* dove si fa riferimento a tutta la mia precedente produzione sull'argomento.

²² Cfr. LAWRENCE M. KRAUSS, *A Universe from nothing. Why there is something rather than nothing*, Free Press, New York, 2012; STEPHEN HAWKING E LEONARD MLODINOW, *The grand design. New answers to the ultimate questions of life*, Bantam Press, London, 2010.

indimostrabilità di principio, non contraddice la fede cristiana che, invece, per rivelazione, quindi per “informazione” ottenuta al di fuori della ragione, nega l’esistenza *ab aeterno* dell’universo²³.

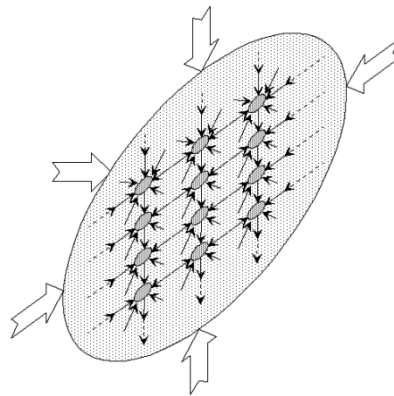


Figura 1. L’essere (natura/essenza + esistenza) di ciascun ente (cerchietti grigi) che compone l’universo fisico immerso nel VQ (puntini chiari) dipende dal concorso causale (freccette) dipende da un concorso causale su *due ordini*: 1) *Immanente (fisico)* legato allo spazio e al tempo: l’insieme *parzialmente* ordinato delle cause fisiche contingenti (freccette piccole) determinano le forme materiali (confini dei cerchietti) degli enti e dunque l’esistenza attuale degli enti stessi e delle loro essenze/nature (materia + forma) in determinate celle dello spazio-tempo, entro l’universo (cerchio grande); 2) *Trascendente (meta-fisico)* al di fuori dello spazio e del tempo (= simultanea a qualsiasi istante di tempo) di un dato universo: l’essere (essenza + esistenza) di ogni ente, in quanto parte del concatenamento causale che costituisce l’universo fisico, *ultimamente dipende* dall’azione causale della Causa Prima (= freccette grandi su tre dimensioni) che “chiudono” la catena delle inclusioni causali, inferiormente illimitata (possono esistere infiniti enti). Ovviamente la figura può complicarsi definendo altri universi (cerchi grandi), simultanei o in successione (secondo diversi modelli cosmologici) entro la materia primordiale (VQ)...

Ontologicamente, il punto di contatto dell’attuale cosmologia, con la visione aristotelica della natura è il rifiuto del meccanicismo ontologico nella QFT. Quando in QFT parliamo di “causalità fisica” essa non va più interpretata secondo lo schema meccanicista newtoniano. Lo schema teorico della QFT è “dinamicista” non “meccanicista”, e i due sono tanto distanti fra loro quanto lo sono la nozione di VQ da quello di “vuoto meccanico”, altrettanto inesistente quanto la nozione di “nulla assoluto”²⁴ in metafisica. La nozione di VQ come sostrato dinamico materiale di ogni sistema fisico dipende infatti dal III Principio della Termodinamica che ci ricorda come la materia a qualsiasi livello di organizzazione, dal micro- al macro-, mai raggiungerà lo zero assoluto (-273°C). Siccome il calore dipende dal moto delle particelle, questo significa che in natura “tutto si muove”, “tutto vibra”, cosicché ad ogni corpo fisico è *sempre associato un campo di forze*, ripeto a qualsiasi livello di organizzazione della materia ci muoviamo, dalle particelle elementari, all’atomo, alla molecola, al vivente²⁵, alle galassie.... Il VQ come sostrato materiale è cioè un “dinamismo primordiale”, una *prote dynamis*, come la “materia prima”, il “migma originario” aristotelico.

In termini termodinamici, se nessun sistema materiale raggiungerà mai lo zero assoluto, significa che esso sempre attinge ad una sorgente “interna”, “intrinseca” ad esso di energia. Ogni sistema fisico è quindi energeticamente “aperto dall’interno” di esso, a partire dai suoi costituenti elementari: questo significa l’affermazione che ogni sistema fisico al suo livello fondamentale, quantistico, è

²³ In sintesi, afferma Tommaso, dimostrare metafisicamente che l’universo nella sua totalità abbia *una causa* non implica che esso abbia avuto anche *un inizio*. Il problema dell’inizio assoluto dell’universo è perciò sistematicamente per la ragione un problema indecidibile. Quindi se il credente, per rivelazione, crede che abbia avuto un inizio assoluto – e il concilio Lateranense IV nel 1254 che Tommaso stava commentando promulgò dogmaticamente proprio questa verità di fede – non contraddirà mai la ragione, ma allo stesso tempo non potrà mai invocarla a sostegno della sua credenza. Cfr. sulla questione, il cap. VI del mio manuale di *Filosofia della natura e della scienza*, già citato.

²⁴ “Creazione dal nulla”, non vuol dire creazione dal nulla assoluto, è creazione *ex nihilo sui et subiecti* del mondo, creazione cioè non solo delle sue forme, ma anche del suo sostrato materiale. “Prima” del mondo però non c’era il nulla assoluto: la sua causa esisteva e nella sua “potenza attiva” il mondo stesso!

²⁵ Per il vivente ricordiamoci che tutta la materia organica con le sue oscillazioni emette un campo elettromagnetico a bassa frequenza, i cosiddetti “biofotoni”.

“intrinsecamente aperto alle fluttuazioni del vuoto”. Ontologicamente, tutto ciò significa che, per rimanere alla fisica della nostra esperienza ordinaria, le simmetrie geometriche del fiocco di neve sono (termo-)dinamicamente generate dai modi coerenti di oscillazione periodica, longitudinale e trasversale, delle molecole di acqua che lo compongono. È insomma geometria generata causalmente da una dinamica. Basta, infatti, aumentare la temperatura sopra lo zero per distruggere questa struttura. Questo però è vero anche per le simmetrie geometriche della struttura cristallina del diamante, anche se in quel caso occorre salire sopra i 3.500 gradi. La stabilità strutturale di un sistema fisico dipende cioè dinamicamente (causalmente) dal bilancio energetico col suo “bagno termico”. È dunque la *cinematica*, (= le leggi geometriche del moto), a derivare dalla *dinamica*, dall’azione causale di forze, non viceversa come nella fisica galileiano-newtoniana. Ontologicamente, cioè, come nella fisica aristotelica, le forme naturali sono sempre *causalmente* generate.

Il “principio d’inerzia” che suppone corpi fisici “isolati” da forze, come le monadi di Leibniz, sono dunque astrazioni logico-matematiche per giustificare il calcolo algebrico integrale di Newton-Leibniz in fisica – fermarsi alle derivate seconde eliminando le accelerazioni. Ma, come vedremo, il calcolo può fondarsi, in maniera più fisicamente realista e più logicamente e matematicamente ancora più “ricca”, in TC come “dualità” inscindibile fra algebra (sistema) e coalgebra (bagno termico), dove è la seconda a “indurre” la sua struttura nella prima. Ecco il cambio di paradigma cui siamo di fronte in fisica fondamentale, ma anche correlativamente, in matematica, e quindi in ontologia.

Il VQ in cui *ogni cosa è immersa “da dentro” e “da fuori”* e mediante cui tutto è in relazione con tutto, come nella *prôte dynamis* della fisica aristotelica dove non esisteva il vuoto meccanico del meccanicismo democriteo, è dunque, a livello di fisica fondamentale, rappresentabile come l’oscillazione “disordinata”, senza modi collettivi coerenti, senza “coerenze di fase” nelle oscillazioni, di tutti i campi di forze quantistici. Esso perciò, in quanto “serbatoio universale” di tutta l’energia del cosmo in base al III Principio della Termodinamica, ha una temperatura maggiore dello zero assoluto. Solo che questa energia poiché “equidistribuita”, *simmetricamente distribuita nel VQ*, è per definizione, in base al II Principio della Termodinamica, incapace di compiere qualsiasi “lavoro”, è cioè “energia vincolata”²⁶. Perché si produca lavoro, azione fisica, occorre “rompere la simmetria del vuoto”, quella in cui tutte le direzioni di propagazione sono equivalenti (=casualità), p.es. in meccanica la “simmetria galileiana”, per cui nella meccanica di Newton, tutte le direzioni in cui orientare gli assi spazio-temporali lasciano invarianti le equazioni del moto. Occorre, cioè, che più campi di forze “vadano in fase”, così da “liberare energia” che possa produrre “lavoro”. Per ogni rottura di simmetria del vuoto, cioè, è come se si suddividesse localmente il VQ nella coppia termodinamica bagno termico (coalgebra) – sistema (algebra). Proprio come, per ritornare alla nostra esperienza ordinaria, la vibrazione, l’onda meccanica che si propaga nell’aria (suono) della corda di chitarra che suona un “la” non produce alcun lavoro, salvo che non s’incontri con qualcosa che vibra sulla medesima frequenza, che sia cioè in coerenza di fase con essa, p.es., un diapason, ma non una forchetta. Nel caso del diapason e della corda la coerenza di fase delle due vibrazioni fa sì che esse sommino le loro energie, e l’ampiezza (altezza) di oscillazione del diapason aumenta diventando percettibile: la vibrazione dell’aria ha prodotto un “lavoro” grazie alla coerenza di fase. In sintesi, ogni *comunicazione di energia* (energia cinetica “libera” nel nostro esempio) inclu-

²⁶ Ricordiamo quanto abbiamo imparato sui banchi del liceo a proposito di termodinamica quando ci spiegavano il II Principio. Se due cilindri di gas “uno caldo”, ovvero con forte agitazione molecolare, e “uno freddo”, a bassa agitazione, isolati dall’ambiente, ma comunicanti fra di loro. Dopo un certo tempo l’urto delle particelle di gas fra di loro avrà mediamente equidistribuito l’energia cinetica fra di loro, i due cilindri si troveranno alla stessa temperatura media e l’entropia avrà raggiunto il suo massimo. Mancherà dunque un “potenziale termico” per compiere un qualsiasi “lavoro” fisico, l’energia cioè sarà “vincolata”. Per poter compiere un “lavoro” ci sono due strade. O la via ingegneristica di “aprire” il sistema con una sorgente di energia “esterna” di energia “libera” da vincoli, o la via teorica di un “diavoletto”, il famoso “diavoletto di Maxwell”, controparte moderna delle intelligenze separate aristoteliche, in grado di scegliere e separare molecole “veloci” e “lente” così da “liberare” energia vincolata e ristabilire un potenziale termico. Se abbandoniamo questa visione meccanicista della termodinamica (meccanica statistica) e passiamo a una “teoria di campo termico” possiamo fare a meno di potenze angeliche e usare “il principio di rottura di simmetria” del disordine termodinamico, del vuoto quantistico.

de/suppone una *comunicazione di forma (coerenza di fase)*. In teoria quantistica dei campi, infatti, ogni scambio di quanti di energia (p.es., fotoni, nel caso dell'energia elettromagnetica) è legato ad una "rottura di simmetria" del vuoto, a una coerenza di fase, dei *modi di oscillazione coerente dei campi*, i cui quanti (veri e propri "quanti di forma") vanno sotto il nome di "bosoni di Nambu-Goldstone" (*Nambu-Goldstone bosons*, NGB)²⁷. Che siano "quanti di forma" ("quasi-particelle", vengono anche definiti) e non di energia come per esempio i fotoni, è provato dal fatto che essi "svaniscono" senza residui – senza cioè bisogno di soddisfare il I principio – con lo stato ordinato della materia condensata che essi mediano. Per esempio, "i fononi" che sono quanti dei modi di oscillazione longitudinale e trasversale delle densità molecolari nei cristalli (solo longitudinali nel caso dei fluidi) svaniscono con la distruzione del cristallo²⁸. Per usare la terminologia tommasiana, la causalità efficiente fisica è insieme *communicatio materiae* (energia) e *impressio similitudinis* (forma), è cioè intrinsecamente *ilemorfica* a differenza di quella meccanicista.

Sebbene per aiutare (spero) la comprensione, abbia fatto solo esempi "macroscopici" del principio causale efficiente-formale della rottura di simmetria del VQ, esempi legati cioè agli strati "più alti" della cosiddetta "foliazione del VQ" – quelli dove le forme naturali organizzano "materie seconde" (composti) e non la "materia prima" (elementi) nella terminologia aristotelica – tale principio è *universale* nella QFT, intesa come fisica fondamentale. In questo schema concettuale, infatti, a livello cosmologico, lo stesso big-bang consiste in una primordiale rottura di simmetria con catastrofica liberazione di energia dal VQ da cui il nostro universo causalmente dipende. E questa non è speculazione matematica astratta, è anche osservazione sperimentale. Tutti sappiamo della "radiazione cosmica di fondo" di natura elettromagnetica in cui il nostro universo è immerso e che ci rimanda ai primordi, anche se non al big-bang – visto che la "rottura di simmetria" che ha portato a "liberare" questa forma di energia è avvenuta circa 80.000 anni dopo (per un'età dell'universo stimata in 13,5 miliardi di anni) il big-bang. Viceversa, la recente conferma sperimentale del "campo gravitazionale" della relatività generale promette di andare ancora più indietro verso il big-bang. In conseguenza, usando una terminologia aristotelica, la progressiva generazione-corruzione di forme naturali e quindi di enti fisici dall'interno della materia (morfogenesi) avviene mediante lo stesso schema causale. In esso, ogni sistema è stabile finché l'accoppiamento dinamico sistema-bagno termico generato da una rottura di simmetria (coerenza di fase dei modi di oscillazione dei relativi campi) consente "causalmente" la stabilità nel tempo della coerenza di fase stessa. In tal modo, avviene possibile "stratificare" il processo di morfogenesi mediante il cosiddetto processo di "foliazione del VQ", dove i "composti", ovvero i modi collettivi di oscillazione coerente dei campi dei costituenti materiali – "raddoppiati" coi loro bagni termici – del "foglio" precedente, sono il sostrato di nuovi, emergenti, modi collettivi del "foglio" successivo (cfr. la distinzione *materia prima/materie seconde* dell'ontologia fisica aristotelico-tomista), mediante un processo di vera e propria "inclusione causale" dal più semplice (genere) al più complesso (specie)²⁹.

²⁷ Sebbene a livello divulgativo non se né parli, forse perché troppo astratti da spiegare al pubblico, i "bosoni di Nambu-Goldstone" sono i protagonisti silenziosi e nascosti di tutti gli ultimi tredici premi Nobel in fisica che hanno completamente mutato la nostra visione del mondo e della fisica fondamentale, a partire dall'unificazione fra la forza elettromagnetica e debole. Cfr.: JEFFREY GOLDSTONE, «Field Theories with Superconductor Solutions», *Nuovo Cimento*, 19 (1961), 154–164; J. GOLDSTONE, ABDUS SALAM E STEVEN WEINBERG, «Broken Symmetries», *Physical Review*, 127 (1962), 965–970.

²⁸ Molteplici esempi di coerenza di fase dei modi oscillatori nella fisica della materia condensata si possono dare, tutti termodinamicamente (=causalmente) indotti e sostenuti (strutture dissipative). Innanzitutto, c'è lo stato cristallino o fluido della materia legato ai modi vibrazionali meccanici delle molecole già ricordato, i cui NGB si chiamano in letteratura "fononi". Poi vi sono i fenomeni di ferro-magnetizzazione (dove viene rotta la simmetria rotazionale (=tutte le direzioni ammissibili) dei dipoli elettromagnetici degli atomi di ferro, "orientando le loro frecce" tutte in unica direzione), i cui NGB si chiamano "magnoni". Ancora, vi sono i fenomeni di super-conduzione, in materiali ceramici, che da isolanti diventano super-conduttori riorientando "le frecce" degli spin degli elettroni in un'unica direzione. Infine, vi sono tutti i fenomeni bio-chimici attraverso le coerenze di fase che si creano nei dipoli elettrici (non elettromagnetici, come nei metalli) delle molecole organiche a base di carbonio, e delle molecole d'acqua, "matrice della vita", in cui sono necessariamente immerse per essere "bio-attive", etc. In questo caso gli NGB relativi alla rottura di simmetria dell'orientamento dei campi di dipolo elettrico si chiamano "partoni", etc.

²⁹Un ultimo punto è bene qui ricordare, sempre per svincolarci dallo schema mentale meccanicista cui quattrocento anni di fisica moderna ci hanno abituato. Questa "foliazione" del VQ riguarda sempre *lo stato energetico fondamentale* del VQ, perché la rottura

Siffatto “cambiamento di paradigma” va generalmente sotto il nome di “fisica al di là del modello standard”. Ciò è legato al fatto che nel “modello standard” viene mantenuta, sebbene in termini quantistici, la distinzione assoluta, ontologicamente meccanicista, fra “particella” e “campo di forze”, realizzata nella distinzione fra le tre famiglie di “fermioni” (quarks, elettroni e neutrini) intese come *particelle* elementari, e i quattro tipi di “bosoni di gauge” (fotoni, gluoni, bosoni *W/Z* e gravitoni), intesi come quanti dei relativi campi di forze (rispettivamente: elettromagnetico, nucleare forte, nucleare debole, gravitazionale), più il “bosone di Higgs” col relativo campo, recentemente osservato. In QFT, invece, anche i fermioni sono considerati quanti del relativo campo di forze. P.es., i diversi tipi di quark del modello standard altro non sono che diverse “fasi” del relativo campo di forze, così per i diversi tipi di neutrini, etc.. In tal modo, la distinzione non è più fra particelle e campi di forze, ma fra “campi di forze materiali” relativi a fermioni, e “campi di forze di interazione” relativi a bosoni di gauge delle quattro forze fondamentali. D’altra parte, la stessa massa delle particelle è generata dal VQ per l’interazione dei suddetti campi con il “campo di Higgs”, il quale, in base al grado di interazione del campo interagente, genera un’inerzia, un ritardo nella velocità di propagazione nell’altro campo, inerzia che è proporzionale alla massa così generata – dove c’è un’inerzia, c’è una massa – del relativo quanto (particella). Naturalmente al quadro così delineato mancano all’appello gli altri tipi di bosoni, gli NGB, che non trovano posto nello schema meccanicista del Modello Standard, – di qui il nome di “quasi-particelle” –, ma sperimentalmente esistono e sono misurabili, oltre che essere un ingrediente fondamentale di *tutte* le equazioni di campo della QFT, tanto da essere all’origine degli ultimi tredici Premi Nobel per la fisica, tutti legati al loro ruolo nella fisica dei campi quantistici. Essi quindi giocano un ruolo-chiave anche ontologico nello schema “ilemorfico” della QFT.

In conclusione, per preparare il passo successivo, possiamo dire che col *principio di inclusione causale* della sua partecipazione dello essere, Tommaso usa una logica neo-aristotelica che ragiona non su “cose” come quella di ispirazione platonica, ma su cause, graficamente e matematicamente, su “freccie” o “morfismi” causali (cfr. Figura 1), con un passaggio simile a quello che oggi si ha in matematica, dalla logica della teoria degli insiemi (*set theoretic logic*) alla logica della TC (*category theory logic*) e della sua “semantica duale”, fondamentale, tanto per formalizzare la QFT, quanto l’ontologia naturale tommasiana, come vedremo (§ 3.2). Per questo il modo di pensare di Tommaso è rimasto “incomprensibile” nella sua originalità a gran parte della filosofia medievale e moderna – e quindi fu spesso ridotto a visioni estranee come quella neo-agostiniana, o, nella modernità, neo-cartesiana. Oggi, grazie alla TC, abbiamo un apparato *concettuale e formale* in grado di rendere conto di certe sue intuizioni, come vedremo nel resto di questo lavoro, e quindi di dar conto dell’intuizione di Maritain, ben al di là delle sue stesse intenzioni e conoscenze. La TC come nuovo linguaggio universale della logica e della matematica si è infatti sviluppato negli ultimi trent’anni.

3.1.2 AUTONOMIA DELL’INTELLETTO UMANO NELLA CONOSCENZA DELLA VERITÀ

L’altro caposaldo della critica all’interpretazione esclusivamente neo-platonica della teologia di Tommaso, oltre quello cosmologico, è quello che riguarda la *fondazione della verità e della sua intelligibilità*. Durante tutta la sua carriera Tommaso fu uno strenuo oppositore del cosiddetto *principio ontoteologico* – termine inventato da Kant e ripreso da Heidegger per evidenziare la primalità della “ragion pratica” e quindi della fede in metafisica – che caratterizza gran parte della filosofia medievale – quella d’ispirazione neo-platonica agostinista e scotista, ma non, appunto, Tommaso e non lo stesso Duns-Scoto – logico troppo raffinato per cadere in certe ingenuità – come Heidegger erroneamente sostiene nel suo famoso saggio sulla *Essenza della verità*³⁰. Nei termini della teologia medievale, il principio ontoteologico significa che *l’intelletto umano conosce il vero in quanto “mi-*

di simmetria del VQ non avviene *mai* per un’immissione di energia “dall’esterno”. Non esiste fisicamente nessun “fuori” al VQ, nessuna “condizione al contorno”, né, per evitare bestemmie tanto scientifiche quanto teologiche, questo “fuori” è la creazione divina, come nello schema della cosmologia cartesiana della “spintarella” iniziale. È questa “bestemmia” che i citati lavori di Hawking e Krauss intendono denunciare, pensando erroneamente che, invece, questa sia la posizione della Chiesa al riguardo.

³⁰ Cfr. MARTIN HEIDEGGER, *Sull’essenza della verità*, a cura di Umberto Galimberti, La Scuola, Brescia, 1973, pp. 9-11.

surato” dall’idea nell’intelletto divino, che a sua volta è “misura” anche delle essenze delle cose nella realtà fisica. In questo modo la conoscenza della realtà (ontologia) suppone la conoscenza teologica: di qui il termine “ontoteologia”. Heidegger fa notare, qui giustamente, che questa posizione è la radice del *volontarismo* – se la verità suppone la fede, la volontà determina l’intelletto: “il tener per vero”, sostituisce “l’essere vero –, e quindi del *nihilismo* – tutte le credenze sono equivalenti perché non esiste alcuna verità – che caratterizzano la contemporaneità, in quanto ambedue forme di “fideismo laico”³¹. Nella versione del neo-platonismo di Bonaventura, ma anche nella teologia islamica di Avicenna e Averroé, il principio ontoteologico è espresso con la famosa dottrina dell’illuminazione dell’intelletto umano da parte dell’intelletto divino in ogni atto di conoscenza di una verità.

Questa impostazione è esplicitamente contestata da Tommaso perché lesiva della dignità umana: Dio non può dare all’uomo il desiderio naturale di conoscere la verità e poi non dotarlo della facoltà di conoscerla *autonomamente*. Nell’impostazione tommasiana, cioè, l’azione di Dio è sempre e solo quella *creatrice*, quella della partecipazione dell’essere agli enti creati, nel nostro caso, all’intelletto umano come ente creato. Quindi Dio, dotando direttamente la persona della sua componente spirituale “trascendente”, lo dota per ciò stesso anche della “luce” dell’intelletto agente per conoscere autonomamente la verità adeguandosi alla realtà³², senza “illuminazioni” divine dell’intelletto umano che così restano limitate, correttamente, all’ambito del *soprannaturale*. Dio dota cioè l’uomo della capacità naturale di trascendere i condizionamenti biologici e culturali della sua esperienza, “come se” l’intelletto umano fosse una “tavoletta di cera in cui nulla è scritto”. Ovvero, il famoso esempio Aristotelico dell’intelletto come tavoletta di cera in cui nulla è scritto, non va inteso, come ha fatto l’empirismo di Locke e dei moderni, come negazione dell’innatismo di Cartesio. È ovvio, per noi come per Aristotele, come per tutti, che ciascuno di noi nasce con una serie di “pre-comprensioni”, per motivi sia biologici che culturali. Ed è altrettanto ovvio che la conoscenza e i comportamenti progressi influenzano quelli attuali.

Chiunque sa, però, come scrivevano gli antichi scribi, sa anche come interpretare correttamente la metafora aristotelica. Sa cioè che il loro stilo (intelletto agente), nella metafora aristotelica, aveva una punta con cui scrivevano sulla tavoletta (intelletto possibile), da una parte, e una spatola con cui cancellavano, “rasavano” la tavoletta prima di scriverci, dall’altra. *Tabula rasa* si traduce infatti “tavoletta rasata”: *rasus* è un participio! Se vogliamo, perciò, collegarci con l’idea duale del “raddoppio dei gradi di libertà” fra un sistema e il suo ambiente, che è il cuore del formalismo logico-matematico della QFT che illustreremo fra poco, l’uomo, grazie alla doppia componente “agente” e “possibile” del suo intelletto, è in grado di ridefinire le “dimensioni” (= gradi di libertà) del suo spazio di rappresentazione linguistico sulle “dimensioni” (= gradi di libertà) della cosa (la verità è nella proposizione, non nella sua successiva presa di coscienza cognitiva: *cognitio effectus quidam veritatis*), così da “rispecchiare” nella struttura linguistica soggetto-predicato la struttura inversa genere-specie (o specie-individuo) della cosa, senza che, come supponeva Kant, queste “dimensioni” siano degli apriori cognitivi immodificabili³³. Per questo noi, pur dipendendo dai condizionamenti biologico-culturali in cui nasciamo e sviluppiamo – non siamo *tabulae rasae* –, abbiamo la facoltà di pensare universalmente e di decidere liberamente – di “rasare” le nostre tavolette!³⁴

³¹ Su questo rapporto mi sono già espresso nell’articolo pubblicato su questa rivista: GIANFRANCO BASTI, «La teoria "complexa" della cogitativa di Cornelio Fabro. Dall’essere al pensiero», *Aquinas*, 55 (2012), 311-42, e quindi non vi ritorno sopra.

³² Questa teoria ritorna praticamente in tutte le opere di Tommaso, anche se è oggetto specifico del saggio *De unitate intellectus contra avveroistas*, contro cioè quel Sigeri di Brabante, principale esponente di quel circolo dei Maestri Laici dell’Università di Parigi che usavano Aristotele in polemica con i Maestri Chierici. Speriamo che oggi non si riproponga questa ridicola contrapposizione.

³³ È questo il famoso problema della teoria dell’intelletto possibile, come *tabula rasa* (= rasata) e insieme “memoria”, *locus specierum intelligibilium* di cui ho trattato ampiamente nel mio manuale di *Filosofia dell’uomo* al cap. 4, e che non sto qui a ripetere, se non per ricordare che questa doppia funzione dell’intelletto possibile evidenzia la natura *immateriale*, puramente formale, della memoria intellettuale, in quanto distinta dalla memoria sensibile.

³⁴ Ho già affrontato in molteplici miei scritti, compreso quello pubblicato di recente su questa stessa rivista e completamente dedicato al problema cognitivo, il fatto che la QFT, intesa come fisica fondamentale della materia condensata di tipo organico, è in grado di gettare luce nuova su uno dei misteri irrisolti della neurofisiologia della conoscenza: quello dei dinamismi della memoria a lungo

In ogni caso, e molto più in generale, sarà la formalizzazione nei termini della logica della TC, sia nel formalismo algebrico-matematico della QFT (la cosiddetta “algebra degli operatori”), sia della teoria della verità ontologica di Tommaso in filosofia formale, a fornire un metodo per giustificare certe similitudini, ovvero con un metodo universalmente accessibile e controllabile anche in filosofia, al di là di differenze culturali, di credenze e di motivazioni ideologiche.

Per introdurci su questo punto al suo livello più fondamentale che era quello a cui cercava di porsi Maritain stesso, essenziale anche per comprendere la semantica della teoria metafisica della partecipazione, come anche recentemente evidenziato³⁵, occorre citare un passaggio fondamentale del testo-base di semantica della metafisica e della teologia di Tommaso: le *Quaestiones Disputatae De Veritate* (I, 2co). La dottrina ivi contenuta è riproposta in molteplici testi paralleli, ma meno completi di questo. Il principio qui enunciato è molto chiaro. Contro il principio ontoteologico, Tommaso rivendica che *l'intelletto umano è misurato dalle cose*, non dall'intelletto divino, sebbene le cose in quanto “create da Dio”, nel modo illustrato nella sottosezione precedente, sono a loro volta “misurate” dall'intelletto divino e dalla sua causalità prima. Ecco il testo di Tommaso, in cui critica la nozione sofista (nel novecento ripresa dal Manifesto Neopositivista di Carnap e Neurath) dell'intelletto umano “misura di tutte le cose”:

«Da questo appare evidente che le cose naturali (*res naturales*), da cui il nostro intelletto prende (*accipit*) la scienza *misurano* (*mensurant*) il nostro intelletto, come si dice nel libro X della *Metafisica*. Esse sono, tuttavia *misurate* dall'intelletto divino in cui esse tutte esistono come artefatti (*artificiata*) nell'intelletto dell'artefice (*artificis*). Pertanto, l'intelletto divino è *misurante non misurato*; le cose naturali sono *misurate e misuranti*: il nostro intelletto, però, è *misurato e non misurante*, sebbene anch'esso è misurante, ma solo dei nostri artefatti³⁶. La cosa naturale, dunque, in quanto posta in mezzo ai due intelletti, è definibile “vera” rispetto ad ambedue. Infatti, secondo la sua adeguazione all'intelletto divino è definibile come vera nella misura in cui soddisfa (*implet*) ciò a cui è ordinata dall'intelletto divino».

È chiaro dunque che la nozione di *verità ontologica* come “adeguazione delle cose e dell'intelletto” (*veritas est adaequatio intellectus et rei*) è costituita da una *relazione composta*³⁷, intelletto-divino/cosa/intelletto-umano nelle due direzioni opposte in cui essa si può definire. Dove è da ricordare che la facoltà intellettuale umana accede alla verità è quella dell'intelletto giudicante, (seconda operazione) non di quella dell'intelletto che apprende l'oggetto (prima operazione), perché la verità è proprietà primariamente del linguaggio non della conoscenza. Dunque, le due direzioni della *adaequatio* sono generalmente denotate come:

1. *Verità ontica* della relazione di dipendenza causale della cosa dall'intelletto divino o comunque da una *causa comune* a tutte le cose (“adeguazione della cosa all'intelletto”, *adaequatio rei ad intellectum*, perché è questo a fondare (“misurare”) quella, quindi: intelletto → cosa);

termine di tipo intenzionale, nel cervello. In quel saggio, ho anche citato la vasta letteratura scientifica, teorica e sperimentale al riguardo, e quindi non starò qui a ripetermi (Cfr., BASTI, «La teoria “complexa” della cogitativa », *cit.*). A quella letteratura, posso aggiungere i più recenti: ANTONIO CAPOLUPO, WALTER J. FREEMAN E G. VITIELLO, «Dissipation of dark energy by cortex in knowledge retrieval», *Physics of life reviews*, 10 (2013), 85-94, con associato il mio commento: GIANFRANCO BASTI, «A change of paradigm in cognitive neurosciences Comment on: "Dissipation of 'dark energy' by cortex in knowledge retrieval" by Capolupo, Freeman and Vitiello», *Physics of life reviews*, 5 (2013), 97-98.

³⁵ FRANCESCO PANIZZOLI, *Ontologia della partecipazione. Verso un'ontologia formale della metafisica della partecipazione di Tommaso d'Aquino*, Aracne, Roma, 2014.

³⁶ Tommaso qui sta criticando esplicitamente la posizione sofista che affermava, contro Platone e Aristotele, che l'uomo è misura di tutte le cose. Modernamente, è una critica anche al Manifesto Neopositivista di Hahn e Carnap che citano esplicitamente i sofisti al riguardo, dando così il destro alla critica heideggeriana della riduzione della scienza moderna a tecnologia. Cfr.

³⁷ Due relazioni in logica si dicono “composte” quando il dominio (*definiens*) dell'una è codominio (*definiendum*) dell'altra, o viceversa. Tipico esempio di composizionalità sono le funzioni ricorsive: $x_{n+1} = f(x_n)$ delle Algebre di Boole (induttive, “ascendenti”), cui corrispondono *dualmente* in TC le funzioni co-ricorsive: $x_{n-1} = f(x_n)$, delle corrispondenti coalgebre (co-induttive, “discendenti”), dove le seconde costituiscono la semantica delle prime.

2. *Verità logica* della relazione di dipendenza causale dell'intelletto umano dalla cosa, attraverso i sensi ("adeguazione dell'intelletto alla cosa", *adaequatio intellectus ad rem*, perché è questa a fondare "misurare" quello: intelletto ← cosa).

Esiste dunque nella dottrina tommasiana della verità ontologica una "composizionalità" (cfr. nota 37) delle relazioni intelletto/cosa/intelletto nei due *versi* in cui queste relazioni si possono costituire, perché hanno sempre nella "cosa" il termine comune. I due versi sono:

1. *Ontologico-discendente*, intelletto divino → cosa → intelletto umano;
2. *Epistemologico-ascendente*, intelletto umano → cosa → intelletto divino

Usando il linguaggio della TC, verità ontica e logica costituiscono dunque, per la molteplicità delle cose e degli intelletti, due categorie di verità, in relazione *duale* l'una all'altra per l'inversione delle *direzioni* (freccie) e dell'*ordine* delle composizioni (intelletto-cosa; cosa-intelletto). Il fatto tuttavia che, sebbene specularmente, a frecce invertite, condividono la medesima struttura formale – sono cioè "omomorfe" – giustifica la definizione di esse come due componenti della *verità ontologica*.

Non per nulla, come dimostrato altrove³⁸, su questa dualità fra verità ontica e logica, Tommaso fonda la sua dottrina essenziale del *bicondizionale ontologico* (\rightleftharpoons) in quanto distinto dal *bicondizionale logico* (\leftrightarrow) della tautologia³⁹, come connettivo fondamentale nella teoria della dimostrazione propria della metafisica e dell'ontologia. In altri termini, in ontologia, l'implicazione *logica* ($\square (p \rightarrow q)$: "necessariamente p implica q , ovvero è impossibile che la premessa p sia vera la conseguenza q sia falsa") si fonda sull'implicazione *causale* o *ontica*, "a frecce e composizioni invertite", dei rispettivi denotati reali dei due asserti ($\square (p \leftarrow q)$: "necessariamente se esiste l'effetto q esiste la causa p , ovvero è impossibile che l'effetto q esista, senza che la causa p esista"). Nei termini della TC, le due implicazioni sono *dualmente equivalenti*, ovvero: $p \rightleftharpoons q$: è vera l'una *se e solo se* è vera l'altra. In altri termini, siamo di fronte alla nozione-chiave che consente la *fondazione causale* di una *legge ontologica* (fisica e metafisica), quella che l'ontologia naturalistica aristotelica affermava, e che la cosmologia evolutiva contemporanea suppone.

Questo, infatti, è anche ciò che Maritain cercava, e Fabro affermava, senza averne ambedue gli strumenti logico-formali per giustificare questa loro teoria. Potevano solo usare "il principio di autorità" rifacendosi alla dottrina del *Doctor Communis* Tommaso. Ma il principio di autorità dell'*ipse dixit* è buono nella teologia di scuola (e nelle ideologie), ma non ha alcun valore nelle scienze, né filosofiche, né matematiche, né naturali, né tantomeno in una teologia formalizzata, accessibile a tutti. Ovviamente, sempre se vogliamo far uscire la teologia stessa dal "recinto del gregge" degli aderenti a una certa fede, e reintrodurla nell'areopago scientifico post-moderno di una "ragione estesa", come auspicato dal Papa Emerito Benedetto XVI. Ovvero, se vogliamo usare il linguaggio più "ecclesiologico" ("sociologico" per i non-credenti) di Papa Francesco, per far uscire i cristiani e la loro cultura verso le "periferie esistenziali", in questo caso dei non-credenti che popolano il mondo della scienza. Ovviamente, non per convertirli, ma per presentare loro una fede che

³⁸ Cfr. BASTI, «L'ontologia formale del "realismo naturale"», *cit.*, p. 277ss.

³⁹ P.es., quando diciamo "l'acqua bolle *se e solo se* è a cento gradi" possiamo leggerla come equivalenza logica nel senso che sembra che le due proposizioni abbiano un contenuto semantico equivalente. Chiaro però che se le vediamo dal punto di vista del contenuto causale (semantica ontologica) questa equivalenza cade nel senso che è la temperatura dell'acqua a esser causa del bollire e non viceversa, proprio come quando diciamo "arriverò a scuola in orario, *se e solo se* prendo l'autobus alle 8.00". Il bicondizionale logico dell'equivalenza (\leftrightarrow), non è quello del bicondizionale ontologico della *necessitazione causale* (\rightleftharpoons). Questa distinzione non si può esprimere formalmente nella semantica della teoria degli insiemi standard, mentre si può esprimere formalmente nella logica della TC in quanto definibile anche su insiemi non-standard, come vedremo in seguito. È questo il motivo per cui, per la logica moderna, non si può esprimere formalmente la nozione di "causa prima", come Kant per primo si accorse con la sua critica alla metafisica naturalistica basata sulla causalità e quindi alla teologia naturale aristotelico-tomista.

non offenda la loro intelligenza. Un “buon pastore” deve occuparsi anche di loro, delle “pecore forti” intellettualmente, che attualmente facciamo tutte scappare dai nostri recinti “ontoteologici” !

Tornando all’oggetto di questo lavoro, si vede subito la differenza con l’epistemologia leibniziana e quindi kantiana, dove a partire dall’analiticità della tautologia (legge) logica $p \leftrightarrow q$, essa viene “riempita” di contenuto empirico (sintetico), dando luogo a quello che Kant definirà “un giudizio sintetico a priori”, che è la radice di ogni ontologia *concettualista*, dove è l’epistemologia a fondare l’ontologia (realismo concettualista) e non viceversa (realismo naturalista).

Un fatto però dev’essere subito chiaro per capire l’intima connessione della TC con il resto della logica: la nozione di “dualità” non è affatto una novità in *logica* com’era ben noto anche ai logici medievali. Si pensi solo alla dualità espressa dalle famose “leggi di De Morgan” (fra il connettivo del prodotto (*et*), \wedge , e della somma logica (*vel*), \vee , fondamentali in teoria della dimostrazione, oppure fra il quantificatore universale (*per tutti*) \forall , e quello esistenziale (*per qualche almeno uno*) \exists . Né, tantomeno, la nozione di “dualità” è nuova in *matematica*, e in *fisica*⁴⁰. La potenza della TC è quella di poter far risaltare con lapalissiana evidenza grazie al suo formalismo queste analogie – propriamente “omomorfismi” – fra diverse strutture logiche appartenenti, magari da secoli o addirittura millenni, a campi diversi del sapere. Quello che è notevole per noi è che le condizioni formali da soddisfare *in generale* per la TC per una fondazione duale della verità in semantica – il concetto di “equivalenza duale” fra categorie, come vedremo subito – sono soddisfatte alla lettera nella teoria di Tommaso appena illustrata, della “composizione duale” della verità onto-logica e della conseguente fondazione duale del bi-condizionale ontologico.

Dal punto di vista della filosofia naturale, queste nozioni sono fondamentali per una giustificazione rigorosa, su base naturalistica, di un’ontologia duale materia-forma, e del suo corrispettivo matematico-sperimentale energia-informazione, sintetizzato nel famoso motto di uno dei maggiori fisici teorici del ‘900, John Archibald Wheeler dell’Università di Princeton: *it from bit*⁴¹. Ovvero, ogni ente fisico (*it*) è costituito di materia e informazione (*bit*). Tale ontologia è cioè basata su una giustificazione causale (*dinamica* in fisica) delle forme e dell’informazione e perciò su una fondazione della *verità locale* delle leggi matematiche della fisica. Esse, infatti, in base alla cosmologia evolutiva, non valgono per tutto l’universo, ma in quelle parti/epoche in cui la loro esistenza è causalmente giustificata. Anche qui, di nuovo, è Wheeler ad aver sintetizzato la questione con la provocativa domanda che fa da titolo a un suo famoso saggio: “È la cosmogonia la legislatrice della fisica?”⁴². P.es., al big-bang non esistevano le leggi della fisica nucleare, né dell’elettromagnetismo, o le leggi della fisica atomica, o quelle della chimica e della biologia. Esse sono divenute “reali” man mano che le diverse entità che queste leggi governano sono “causalmente” venute all’esistenza nell’evoluzione del nostro universo. Ciò pone ai fisici teorici l’ineluttabile questione del fondamento causale delle leggi matematiche della fisica, visto che non ne possiamo più supporre, platonicamente, la loro assolutezza atemporale come la fisica moderna ha fatto per quattro secoli⁴³.

⁴⁰ Circa la nozione di dualità in logica, essa è talmente fondamentale se non altro per il ruolo preponderanti delle leggi di De Morgan in teoria della dimostrazione, che ogni buon manuale di logica ne parla. Invece, per un altrettanto fondamentale centralità della dualità in matematica e in fisica si può approfittare del godibilissimo saggio di sintesi al riguardo scritto da uno dei più grandi matematici del XX secolo, Medaglia Field per la matematica M. F. Atiyah. Cfr. MICHAEL F. ATIYAH, «Duality in mathematics and physics», in Institut de Matemàtica de la Universitat de Barcelona, Curs Riemann (2007-2008) <<https://www.fme.upc.edu/ca/la-facultat/publicacions/col-leccio-conferencies-FME/curs-riemann-2007-2008-volum-V>> [accessed 29 September 2015].

⁴¹ Cfr. JOHN ARCHIBALD WHEELER, «Information, physics, quantum: The search for links», in *Complexity, entropy, and the physics of information*, a cura di WOJCIECH H. ZUREK, Addison-Wesley, Redwood City, CA, 1990. Cfr. anche due più recenti raccolte di saggi sull’argomento, con contributi scritti da fisici, matematici e filosofi della scienza fra i più famosi: *Information and the nature of reality. From physics to metaphysics*, a cura di Paul Davies e Niels Henrik Gregersen, Cambridge UP, Cambridge, 2010; e: *A computable universe. Understanding and exploring nature as computation. Foreword by Sir Roger Penrose*, a cura di Hector Zenil, World Scientific Publishing, Singapore-Hackensack, NJ-London, 2013.

⁴² Cfr. C. M. PATTON E JOHN ARCHIBALD WHEELER, «Is physics legislated by cosmogony?», in *Quantum gravity*, a cura di C. J. ISHAM, R. PENROSE E D. W. SCIAMA, Clarendon Press, Oxford, 1975, pp. 538-605.

⁴³ Cfr. p.es., il saggio di Paul Davies pubblicato nella raccolta citata alla nota precedente: PAUL DAVIES, «Universe from bit», in *Information and the nature of reality, cit.*, pp. 65-91 e più recentemente il saggio di filosofia della natura, tutto dedicato a questo

Per concludere questa parte, dal punto di vista teologico e antropologico, la dottrina tommasiana della “composizionalità” della verità evidenzia così la differenza con la dottrina neo-platonica che invece affermava la relazione diretta intelletto divino – intelletto umano, nei due versi della relazione. Con due problemi ben chiari nella mente di Tommaso e di tutti noi. Nel verso discendente, ciò significa la negazione *dell’automomia dell’intelletto umano* nella conoscenza della verità; nel verso ascendente, l’affermazione che alcuni uomini, gli “illuminati”, possano accedere direttamente alla mente di Dio, dottrina che alla base del “clericalismo”, tanto nella tradizione cattolica, come in quella islamica e di tutte le religioni “istituzionalizzate”. Per Tommaso, invece, la conoscenza di Dio mai avviene *direttamente*, ma sempre *indirettamente*, attraverso le cose.

Infatti, per quanto detto, l’unica relazione *diretta* che lo spirito umano può e deve avere con l’Assoluto – come ogni altra cosa realmente esistente – è quella come con la causa ultima della sua *esistenza*. Solo questa relazione, infatti, per quanto riguarda l’uomo, non è lesiva della dignità e dell’uguaglianza delle persone umane, ma viceversa le fonda. Vediamo allora, sinteticamente, come la reinterpretazione della logica nei termini della TC può aiutarci concettualmente e formalmente a universalizzare la dottrina tommasiana della verità, al di là delle appartenenze di scuola.

Per esemplificare quanto qui abbiamo detto e così introdurci alla sezione seguente, sintetizzando al massimo e usando un simbolismo minimo che giustificheremo subito, limitiamoci alla sola predicazione per generi e specie in biologia. La dottrina della doppia componente logica e ontica della verità significa che è ontologicamente vero che “tutti i cavalli sono mammiferi”, *se e solo se* “la specie naturale dei cavalli e causalmente inclusa nel genere naturale dei mammiferi”.

Ora, come vedremo subito, le due parti, logica e ontica di un siffatto bicondizionale ontologico, possono essere espresse in TC usando il principio di *equivalenza duale* fra l’operatore algebrico (logico) di “appartenenza”, \in , e quello coalgebrico di coappartenenza, \ni , preso in un’interpretazione causale. Ovvero:

$$\text{cavallo} \in \text{mammifero} \leftarrow \overset{\ni}{=} \text{cavallo} \ni \text{mammifero}$$

Dove il nuovo simbolo “ \leftarrow ” sottoscritto al bicondizionale ($\overset{\ni}{=}$) sta per un “funtore”, ovvero per un morfismo che “manda” una struttura nell’altra, così da giustificare l’identità di forma, *l’omomorfismo* fra la struttura causale a destra e la struttura logica a sinistra. Nel caso di Tommaso, seguendo la terminologia di Cornelio Fabro, il funtore rappresenta perfettamente la relazione di *partecipazione predicamentale* dell’individuo alla specie e dalla specie al genere che determina la categoria di tutte le verità ontologiche nel formalismo della TC, corrispettivo fisico-ontologico della *partecipazione trascendentale* dell’ente all’Essere Sussistente a livello metafisico-teologico⁴⁴. Cerchiamo di capire cosa questo significhi, introducendoci con un po’ di pazienza in alcune nozioni-base della TC.

3.2 DUALITÀ SEMANTICA E VERITÀ

3.2.1 DALLA TEORIA DEGLI INSIEMI ALLA TEORIA DELLE CATEGORIE (TC)

Per un’introduzione alle nozioni elementari della TC rimandiamo all’ottima sintesi di S. Abramsky e N. Tzevelekos⁴⁵, ambedue dell’Università di Oxford, scritta appositamente per neofiti della

tema, di un altro fisico teorico molto famoso, Lee Smolin, scritto in collaborazione con il filosofo brasiliano Roberto Mangabeira Unger: ROBERTO MANGABEIRA UNGER E LEE SMOLIN, *The Singular Universe and the Reality of Time: A Proposal in Natural Philosophy*, Cambridge UP, Cambridge UK, 2015.

⁴⁴ Per queste distinzioni, si veda il già citato PANIZZOLI, *Ontologia della partecipazione*, cit.

⁴⁵ S. ABRAMSKY E N. TZEVELEKOS, «Introduction to categories and categorical logic», in *New structures for physics. Lecture Notes in Physics*, 813, a cura di BOB COECKE, Springer, Berlin-New York, 2011, pp. 3-94.

materia – fisici e filosofi innanzitutto – ed a cui ci riferiamo. Qui offriamo solo una sintetica esposizione di alcune nozioni utili ai nostri scopi.

Come abbiamo già detto la TC è stata ampiamente sviluppata soprattutto negli ultimi trent'anni in logica, matematica, informatica teorica e, più recentemente in fisica teorica, come un efficace strumento di analisi formale per individuare relazioni e “sommiglianze” fra strutture logiche e matematiche, astratte e applicate, che altri strumenti meno raffinati non consentono di individuare. Il cuore della TC rispetto all'ordinaria teoria degli insiemi, che è stata per quasi due secoli l'unico strumento metalogico e metamatematico con cui indagare queste relazioni, è che la TC si pone a un livello più astratto di analisi, in quanto i suoi oggetti fondamentali non sono “elementi” di cui gli insiemi sono costituiti, ma “freccette”, quelle che in teoria degli insiemi sono denotate come “funzioni”. Cerchiamo di capire questo punto fondamentale.

Nella teoria degli insiemi, le funzioni, $y = f(x)$, sono concepite come relazioni orientate o “freccette” (\rightarrow) che “mappano”, pongono in corrispondenza, ovvero “mandano” (\mapsto) elementi x di un insieme (dominio), su elementi y di un altro insieme (codominio). P.es., in teoria degli insiemi, la funzione (predicato) “essere il doppio di”, $y = 2x$, definita sugli interi è interpretata come una mappa *iniettiva*. Ovvero, una corrispondenza “uno-a-uno”, ma dove *non tutti* gli elementi del codominio sono raggiunti da frecce (Cfr. Figura 2), fra l'intero insieme dei numeri interi (negativi e positivi: $\dots, -2, -1, 1, 2, \dots$) che qui abbiamo denotato con X , e l'insieme dei numeri interi pari ($\dots, -4, -2, 2, 4, \dots$) che è un sottoinsieme degli interi e che qui abbiamo denotato con Y . Tutte le frecce che connettono uno ad uno gli elementi dei due insiemi mantengono quindi la distinzione degli elementi stessi. Se però definiamo la funzione (predicato) “essere quadrato di”, $y = x^2$, sui numeri reali, con il codominio definito esclusivamente sui reali positivi, la relazione diventa *suriettiva*: “al minimo uno-a-uno” (ovvero, una suriettiva ammette relazioni “molti-a-uno”: Cfr. Figura 2), in quanto tutti gli elementi del codominio sono raggiunti da almeno una freccia, ma più di un elemento del dominio può puntare allo stesso elemento del codominio. La relazione dunque *non mantiene* la distinzione fra gli elementi. Infatti, a ogni coppia di numeri uno positivo, l'altro negativo (p.es., $1, 1$; $-2, 2$; $-3, 3$; \dots) del dominio, corrisponde un solo numero quadrato ($1; 4; 9; \dots$) nel codominio. Ciò che è importante per i nostri scopi, è ricordare che è possibile ottenere in generale una relazione *biunivoca*, dove abbiamo cioè una corrispondenza biunivoca “uno-a-uno” nei due sensi fra *tutti* gli elementi del dominio e del codominio della relazione (avremo cioè, un *omomorfismo* che è anche un *isomorfismo*) componendo due funzioni. Ovvero facendo sì che il codominio dell'una sia il dominio dell'altra e viceversa (cfr. Figura 2).

Per passare alla logica, la biunivocità della relazione fra insiemi è alla base della cosiddetta “equivalenza estensionale” fra asserti, espressa nel cosiddetto “assioma di estensionalità” nella logica dei predicati, alla base di tutta la *logica matematica* insiemistica. Se due predicati sono definiti su domini di elementi (insiemi/classi) equivalenti – ovvero hanno la medesima estensione, p.es., “essere acqua” e “essere H_2O ” – essi sono considerati “identici” e quindi possono essere “sostituiti l'uno all'altro” senza che il significato dei rispettivi asserti cambi. Infatti, in aritmetica, per fare un altro esempio, noi diciamo che “5 è uguale a 2 più 3”, anche se di per sé è solo equivalente. L'assioma di estensionalità, come sappiamo, non è vero in *logica filosofica*. L'acqua del Battesimo, per esempio, non è la semplice H_2O : ha tanti altri significati non esprimibili col linguaggio della chimica⁴⁶, per cui sostituire “ H_2O ” ad “acqua” nelle formule battesimali, renderebbe insensato il discorso. La logica filosofica – ovvero la logica assiomatica che si può usare per formalizzare le discipline umanistiche, in quanto distinte dalle discipline matematiche – è essenzialmente una lo-

⁴⁶ I vari significati che la comunità dei credenti attribuisce all'acqua battesimale così che abbia senso dire “Signore benedici quest'acqua, affinché coloro che rinasceranno in essa...” sono elencati nei brani che precedono questa formula finale della preghiera di benedizione dell'acqua, dove l'acqua battesimale viene connotata (descritta) come simbolizzante l'acqua primordiale della creazione su cui aleggiava lo Spirito Divino, come l'acqua del diluvio, l'acqua del Mar Rosso, l'acqua che sgorga dalla roccia nel deserto, l'acqua del Giordano e, finalmente, l'acqua che sgorga dal costato trafitto del Cristo. L'acqua del Battesimo, insomma, *non è solo* H_2O , anche se *deve* esserlo, pena la nullità del Battesimo.

gica modale, *intensionale* e non estensionale⁴⁷. Fra l'altro, questo problema è la radice teoretica del fallimento del famoso tentativo del cosiddetto "tomismo analitico"⁴⁸ che, usando la logica di G. Frege essenzialmente estensionale, non riesce a rendere formalmente il significato di molteplici dottrine tommasiane, innanzitutto la sua dottrina dello "essere come atto"⁴⁹, per il quale, infatti, Fabro ha coniato il neologismo di "*esse intensivo*", per distinguerlo da quello estensionale della logica matematica e, nella fattispecie, della logica leibniziana e quindi fregeana. Vediamo in che modo la TC può aiutare a formalizzare la logica in uno schema teorico che include tanto la logica matematica e filosofica, senza negarne le differenze.

3.2.2 ALCUNE NOZIONI ELEMENTARI DI TEORIA DELLE CATEGORIE (TC)

Il punto di partenza è che in TC gli oggetti fondamentali non sono "elementi" nel senso insiemistico del termine. In TC essi sono comunque interpretati *sempre* come domini-codomini di "freccette" o "morfismi" – "funzioni" nel caso di insiemi. In tal modo una *categoria* è "qualsiasi struttura in logica o matematica con morfismi che preservano la struttura". Ogni *categoria* è dunque costituita da:

- Una collezione di "oggetti", A, B, C, \dots ;
- Una collezione di "freccette" o "morfismi", f, g, h, \dots ;
- Due collezioni di "mappe" **dom**, **cod** che assegnano a ciascuna freccia il suo "dominio" (punto di partenza) e il suo "codominio" (punto di arrivo) di oggetti;
- Per ogni tripla di oggetti, A, B, C , una *mappa di composizione* $A \xrightarrow{f} B \xrightarrow{g} C$, scritta come $g \circ f$ (o talvolta: $f; g$), dove B è codominio di f e dominio di g ;
- Per ogni oggetto A , un *morfismo riflessivo* che ha lo stesso oggetto come dominio e codominio, $A \rightarrow A$, e dunque costituisce una *relazione di identità*, Id_A .

In tal modo sono altrettante categorie alcune fondamentali strutture logiche e matematiche (denotate col termine inglese): **Set** (insiemi e funzioni); **Grp** (gruppi e omomorfismi); **Top** (spazi topologici⁵⁰ e funzioni continue); **Pos** (insiemi parzialmente ordinati (*partially ordered sets*) e funzioni monotone (=sempre crescenti o sempre decrescenti)); **Vect** (spazi vettoriali definiti su campi numerici e funzioni lineari); etc.

I morfismi tra categorie si definiscono col nome di *funtori*, F , ovvero operazioni che mappano oggetti e freccette da una categoria **C** all'altra **D**, $F: \mathbf{C} \rightarrow \mathbf{D}$, in modo *da preservare composizioni e identità*. In tal modo fra le due categorie esiste un *omomorfismo* o *identità di struttura*, ovvero una relazione *biiettiva* "uno-a-uno", che è sia iniettiva che suriettiva, fra oggetti e morfismi che arriva fino *all'isomorfismo* (*homomorphism up to isomorphism*), cioè fino alla biunivocità delle biezioni nelle due direzioni fra *tutti* gli elementi dei due insiemi. L'equivalenza (\leftrightarrow) fra insiemi totalmente o parzialmente ordinati è infatti un classico esempio di isomorfismo⁵¹. Generalmente, un funtore F è

⁴⁷ Cfr. due ottimi manuali di logica modale quale G. E. HUGES e M. J. CRESSWELL, *A new introduction to modal logic*, Routledge, London, 1996²; e SERGIO GALVAN, *Logiche intensionali. Sistemi proposizionali di logica modale, deontica, epistemica*, Franco Angeli, Milano, 1991. Per un'introduzione alla "logica filosofica", cfr. l'ormai classico JOHN P. BURGESS, *Philosophical logic (Princeton foundations of contemporary philosophy)*, Princeton UP, Princeton NJ, 2009.

⁴⁸ Si veda il manifesto di questo approccio: GERTRUDE E. M. ANSCOMBE e PETER T. GEACH, *Three Philosophers: Aristotle, Aquinas, Frege*, Blackwell Pub., Oxford, 1996 (2002²).

⁴⁹ Cfr., l'articolo pubblicato in un numero monografico, da me curato insieme con A. Strumia e C. Testi, della rivista *Divus Thomas* dal titolo: "*Fides et ratio*: analitici, continentali e tomisti" di BRIAN J. SHANLEY, «Tomismo analitico», *Divus Thomas*, 24-3 (1999), 79-92. Sulla questione, cfr. anche GIANFRANCO BASTI, *Filosofia della Natura e della Scienza. Vol. I: I Fondamenti*, Lateran University Press, Roma, 2002, pp. 290-99.

⁵⁰ Gli spazi topologici sono spazi in cui tutte le trasformazioni avvengono "senza strappi", torsioni incluse (si pensi ai famosi "nastri di Möbius, per esempio). Gli ordinari spazi geometrici sono spazi topologici cui è aggiunta una metrica, sono cioè spazi topologici metrici.

⁵¹ Questa precisazione è importante perché nel caso di omomorfismi fra strutture infinite (si pensi alle infinite catene di inclusioni fra insiemi non-benfondati e quindi "non totalmente ordinati", in quanto esempi di insiemi non-standard) possiamo avere omomorfismi non isomorfi, ovvero identità che non sono equivalenze, identità *intensionali* e non *estensionali*. P.es., quando parlo dell' "umanità" non sto parlando dell'insieme standard degli uomini, perché altrimenti starei parlando solo di quelli *attualmente esistenti*, mentre esiste un'infinità di uomini *non-più/non-ancora esistenti* per cui l'identità umana (espressa dal termine "umanità") ancora si appli-

covariante, ovvero mantiene il verso delle frecce e l'ordine delle composizioni. Quindi:
 se $f : A \rightarrow B$, allora $FA \rightarrow FB$; se $f \circ g$, allora $F(f \circ g) = Ff \circ Fg$; e se id_A , allora $Fid_A = id_{FA}$.

Le due categorie, \mathbf{C} , \mathbf{D} , sono però ugualmente omomorfe fino all'isomorfismo se il funtore G che le connette è *controvariante* ovvero inverte il verso delle frecce e l'ordine delle composizioni, l'unico morfismo a rimanere invariato essendo quello dell'identità, $G: \mathbf{C} \rightarrow \mathbf{D}^{op}$. Quindi:

se $f : A \rightarrow B$, allora $GB \rightarrow GA$; se $f \circ g$, allora $G(g \circ f) = Gg \circ Gf$; ma se id_A , allora $Gid_A = id_{GA}$.

Attraverso la nozione di funtore controvariante, possiamo introdurre perciò la nozione di *dualità di categorie*. Ovvero data una categoria \mathbf{C} e l'endofuntore $E: \mathbf{C} \rightarrow \mathbf{C}$, un funtore, cioè, che pone in relazione strutture appartenenti alla medesima categoria, l'applicazione controvariante di questo funtore su tutti i morfismi e le composizioni legherà la categoria \mathbf{C} alla sua opposta \mathbf{C}^{op} , cioè, $E^{op}: \mathbf{C} \rightarrow \mathbf{C}^{op}$. Ciò significa che esiste un *omomorfismo fino all'isomorfismo* fra \mathbf{C} e \mathbf{C}^{op} attraverso E . Su queste basi è possibile dimostrare l'*equivalenza duale* fra categorie, in simboli: $\mathbf{C} \rightleftharpoons \mathbf{C}^{op}$.

La dualità in TC è pertanto la corrispondenza fra la proprietà della categoria \mathbf{C} e quelle della sua opposta. In logica, è evidente che si può così formalizzare nel modo più generale la teoria della verità come *corrispondenza* inclusa la teoria tommasiana della verità come *adaequatio* nei due versi della relazione compositiva intelletto-cosa-intelletto, illustrata in §3.1.2. Più specificamente, nella semantica della TC la dualità come tale significa che dato un asserto α definito nella categoria \mathbf{C} , scambiando dominio e codominio di ogni morfismo come pure l'ordine delle composizioni fra morfismi, si può ottenere un asserto duale al primo, α^{op} , nella categoria \mathbf{C}^{op} . Cioè α è vero *se e solo se* α^{op} è vero. In altri termini, la dualità come tale è l'asserto che *la verità/falsità è invariante* sotto queste operazioni di scambio sugli asserti, essi cioè sono *dualmente equivalenti*. In simboli: $\alpha \rightleftharpoons \alpha^{op}$, come distinto dall'ordinaria equivalenza della tautologia logica: $\alpha \leftrightarrow \beta$.

3.2.3 POSSIBILE FORMALIZZAZIONE IN TC DELLA TEORIA DELLA VERITÀ COME ADEGUAZIONE

Da queste nozioni-base di TC appare subito come la dottrina tommasiana della verità che *in linea di principio* non si poteva esprimere e quindi comprendere nella logica moderna a base insiemistica, dai suoi prodromi leibniziani in poi, può invece esprimersi e rendersi comprensibile *in linea di principio* nella logica della TC. Tutto ciò ci apparirà immediatamente evidente non appena avremo approfondito alcune nozioni di TC introdotte in precedenza. Si tratta in particolare della compositività dei morfismi quando abbiamo a che fare con *omomorfismi biiettivi* (mappe “uno-a-uno” fra *tutti* gli elementi di dominio-codominio) legati a *equivalenze duali*. In generale, in teoria degli insiemi è noto che possiamo ottenere una biiettività componendo una iniettiva con una suriettiva. Senza fare riferimento a formule ciò si può intuire immediatamente dalla seguente figura:

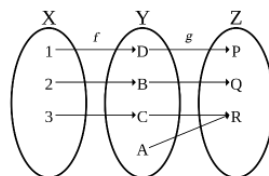


Figura 2. Biiettività (uno-a-uno per tutti) della relazione fra i punti degli insiemi X e Z mediante composizione delle funzioni f (iniettiva: uno-uno, ma non per tutti) e g (suriettiva: al minimo uno-a-uno).

ca. È chiaro che le “essenze” o “nature” come, appunto “l’umanità” sono tutte identità *intensionali*, non-estensionali in questo senso. Senza approfondire oltre, queste precisazioni sono importanti perché consentono di definire su insiemi non-standard le *logiche modali*, ovvero logiche che hanno a che fare con oggetti e relazioni potenzialmente esistenti, cioè strutture infinite di inclusioni fra insiemi non ancora “dispiegate” (*unfolded*), dove gli insiemi “dispiegati” sono insiemi “parzialmente ordinati” o “attualmente esistenti”. La “logica filosofica” si distingue dalla logica matematica “standard” perché, appunto, costituita da logiche *intensionali* e non *estensionali*. Come si vede la TC è così in grado di abbracciare sia la logica filosofica che quella matematica.

Nella figura si vede chiaramente che si può ottenere la biiettività (uno-a-uno) della relazione fra i punti degli insiemi X e Z mediante composizione $g \circ f$, delle funzioni f (iniettiva) e g (suriettiva) che hanno nell'insieme Y , rispettivamente, il dominio e il codominio. Naturalmente in TC, dove l'endofunctor comune a tutte le iniettive prende il nome di *monomorfismo* e quello comune alle suriettive prende il nome di *epimorfismo*, ciò resta vero anche se invertiamo il verso delle frecce, da Z a X e l'ordine delle composizioni, da $g \circ f$ a $f \circ g$. Y cioè sarà il dominio di g e il codominio di f . Dove occorre notare che l'inversione dell'epimorfismo inverte anche il "verso" delle suriettive che diventano relazioni le quali, invece di ammettere relazioni multi-a-uno, ammettono relazioni uno-a-molti. Il che è perfettamente coerente con la nozione di "causa prima", metafisicamente o fisicamente intesa, come vedremo subito.

In questa luce diventa addirittura lapalissiano constatare che questa struttura formale della *dualità categoriale* è quella della dottrina metafisica della dualità *fra le categorie delle verità ontiche e delle verità logiche* di Tommaso, basata sull'epimorfismo (morfismi suriettivi) della causalità dall'unica causa alle molte cose (verità ontica), e sul monomorfismo (morfismi iniettivi) della dipendenza causale dei singoli atti intellettivi umani dalle singole cose (verità logica). Che la categoria delle relazioni cose/intelletti umani sia caratterizzata da un monomorfismo nei due versi delle relazioni è dimostrato dall'affermazione di Tommaso, ripetuta più volte nelle sue opere e in particolare nel *De Veritate* che esistono tante verità logiche quanti sono gli intelletti⁵². Dove le cose sono certamente molte più degli intelletti e quindi si tratta di relazioni iniettive, nel verso *epistemologico* (l'intelletto che si adegua alla cosa nel singolo atto cognitivo), o nell'altro *ontologico*: la cosa che agendo causalmente sull'intelletto attraverso i sensi è condizione necessaria dell'adeguamento dell'intelletto alla cosa stessa, come abbiamo già spiegato (Cfr. 3.1.2).

Con tutto ciò, però abbiamo mostrato (più che dimostrato: la dimostrazione richiederebbe almeno una prima formalizzazione della teoria tommasiana che ho appena sviluppato altrove), solo la fattibilità in linea di principio di una formalizzazione in TC della teoria tommasiana della verità ontologica come *dualità* tra componente logica e ontica. Per completare il quadro – se vogliamo dare ragione dell'intuizione di Maritain al riguardo – occorre applicare la TC alla logica e all'ontologia contemporanee delle scienze logiche e naturali, scienze cognitive incluse. Per questo occorre mostrare qualcosa circa l'uso sistematico della dualità algebra-coalgebra nell'orizzonte contemporaneo di queste scienze.

3.2.4 DUALITÀ ALGEBRA-COALGEBRA IN FISICA E IN LOGICA MATEMATICA

Una categoria estremamente interessante per la matematica, l'informatica, la logica e la fisica moderne è la categoria delle algebre, **Alg**. Le algebre costituiscono una categoria perché ogni algebra \mathcal{A} , può essere definita come una *struttura definita su insiemi*, caratterizzabile con un endofunctor che proietta tutte le possibili combinazioni (prodotto cartesiano) dei sottoinsiemi dell'insieme di partenza su cui l'algebra è definita sull'insieme stesso, ovvero $\mathcal{A} \otimes \mathcal{A} \rightarrow \mathcal{A}$. Questa categoria è fondamentale per la matematica, perché la matematica moderna è cominciata con l'inizio del programma di ricerca dell'algebrizzazione della geometria ad opera di Descartes. Esso è continuato con l'invenzione del calcolo infinitesimale ad opera di Newton e Leibniz che proprio grazie all'algebrizzazione cartesiana della geometria ha potuto trovare una soluzione al secolare problema della "quadratura delle curve", che aveva bloccato lo sviluppo della fisica-matematica greca a partire da Archimede. È fondamentale per la fisica moderna perché, generalmente, ogni sistema fisico,

⁵² "La verità che è nell'intelletto divino è una soltanto, dalla quale derivano nell'intelletto umano molteplici verità come da un unico volto derivano molteplici sue immagini in uno specchio. (...) Le verità che sono nelle cose sono invece molteplici, quanto le loro entità (*rerum entitates*) (...). Se pertanto prendiamo la verità propriamente detta secondo cui tutte le cose sono principalmente vere, in questo modo tutte le cose sono vere di una sola verità, cioè della verità dell'intelletto divino, ed in questo senso né parla Anselmo nel suo libro sulla verità. Se invece prendiamo la verità propriamente detta secondo cui le cose sono dette vere secondariamente, in questo modo di più oggetti veri esistono più verità, ed anche di un solo oggetto vero esistono più verità in diverse anime" (*In de Ver.* I, 4co. Corsivi miei).

in quanto modellizzato/modellizzabile matematicamente, è isomorfo a (ovvero può essere rappresentato con) una determinata algebra. È fondamentale per l'informatica e la logica moderne perché qualsiasi espressione della logica delle proposizioni può essere rappresentata (è isomorfa con) una formula numerica di logica equazionale – generalmente espressa in una numerazione binaria 1/0 – in un'algebra di Boole.

L'altra categoria interessante per noi perché fondamentale nella logica della TC quella delle coalgebre, **Coalg**. Generalmente, infatti, una coalgebra può essere caratterizzata come una struttura definita su insiemi il cui endofunctor proietta dall'insieme di partenza sui coprodotti dell'insieme stesso, ovvero $\mathcal{A} \rightarrow \mathcal{A} \otimes \mathcal{A}$. Malgrado le apparenze, però, un'algebra non è in generale “duale”, nel senso controvariante del termine, alla relativa coalgebra. Questo è il caso, per esempio di una fondamentale categoria di algebre in fisica, quella delle *algebre di Hopf*, **HAlg**, ampiamente usate per rappresentare sistemi dinamici, sia in meccanica classica che in meccanica quantistica (QM). Ogni *HAlg* è essenzialmente una bi-algebra dove – dovendo rappresentare sistemi energeticamente “chiusi” – dove i co-prodotti della coalgebra commutano fra di loro come i prodotti dell'algebra perché possono essere definiti sulla stessa base. Esiste cioè una completa “simmetria” – in meccanica classica legata al principio di azione-reazione – fra un'algebra di Hopf e la sua coalgebra così che esse risultano *equivalenti* (covarianti) e non *dualmente equivalenti* (controvarianti). In questo senso ogni algebra di Hopf, in quanto bi-algebra, è anche definita “auto-duale” ovvero isomorfa a se stessa.

Naturalmente, è possibile definire un'equivalenza duale fra algebra e coalgebra mediante un'applicazione controvariante di un medesimo funtor Ω , particolarmente importante laddove non ha senso supporre che i coprodotti della coalgebra commutino perché definiti su una stessa base. Ovvero: $\mathbf{Coalg}(\Omega) \rightleftharpoons \mathbf{Alg}(\Omega)^{\text{op}}$, le due strutture sono cioè controvarianti, con una primalità delle coalgebre perché più generali in quanto non limitate dal “teorema fondamentale” dell'algebra a trattare con morfismi che sono solo polinomi (p.es., i polinomi di Newton). Due sono gli esempi significativi per noi di questa dualità. Uno in fisica, l'altro in matematica.

Partiamo dalla fisica, laddove la controvarianza del funtor ha una naturale giustificazione fisica nell'inversione della freccia-energia legata al principio del bilancio termico fra sistema e ambiente (bagno termico). In sostanza, il I Principio della Termodinamica. In un sistema dinamico aperto, infatti, dove l'algebra rappresenta il sistema e la coalgebra il suo bagno termico, per esempio nelle cosiddette “teorie di campo termico” inclusa la QFT, non ha senso rappresentarle sulla stessa base e quindi supporre la commutatività di prodotti-coprodotti. In altri termini, viene rotta la simmetria sferica di un'algebra di Hopf, viene cioè “deformata”, proprio come quando comprimiamo un palloncino, e dove il parametro di deformazione di solito è denotato con q . Di qui la definizione, in QFT di due categorie *dualmente equivalenti*: quella delle algebre e delle coalgebre “ q -deformate” di Hopf, dove q è un parametro termico (temperatura) che corrisponde ad un “angolo” della trasformazione di Bogoliubov T , ovvero di quello che in QFT si definisce come “operatore” di creazione/annihilazione di particelle (domini di coerenza di fase) dal VQ. T costituisce così il funtor controvariante che lega le due in QFT. In simboli: $q\text{-HCoalgT} \rightleftharpoons q\text{-HAlgT}^{\text{op}}$ ⁵³. La dualità per ciascuna algebra-coalgebra – ovvero per ciascun sistema di QFT e il suo intrinseco bagno termico – in questo caso è rappresentata dal “raddoppio dei gradi di libertà” che già conosciamo.

Un'altra applicazione della dualità algebra-coalgebra riguarda i filosofi e l'informatica teorica. Infatti, è ben noto fin dai tempi di Leibniz e dall'uso conseguente dei famosi diagrammi di Venn per rappresentare sillogismi, che la semantica di un calcolo di logica dei predicati e più in generale

⁵³ È significativo che il formalismo matematico algebra-coalgebra sia stato originariamente sviluppato in QFT, in maniera del tutto indipendente dalla TC. Cfr. il testo-base di questo approccio: MASSIMO BLASONE, PETR JIZBA E GIUSEPPE VITIELLO, *Quantum field theory and its macroscopic manifestations. Boson condensation, ordered patterns and topological defects*, Imperial College Press, London, 2011.

delle proposizioni è basata sui relativi insiemi denotati dalle proposizioni. In soldoni e usando l'esempio già fatto al termine della sottosezione precedente, è vero che: “tutti i cavalli sono mammiferi” – nel linguaggio formale della logica dei predicati: “per tutti gli x se x è cavallo, allora x è mammifero” – se e solo se l'insieme (classe) dei cavalli è *incluso logicamente* nell'insieme (classe) dei mammiferi. In altri termini, al connettivo logico “se... allora” (\rightarrow, \supset) *corrisponde formalmente* a (“è reso vero da logicamente”) l'operatore insiemistico “include” (\subseteq). Tutto ciò ha dato luogo allo sviluppo del programma di ricerca, che ha caratterizzato gli inizi della logica matematica nei secoli XVII-XIX, di interpretare la logica formale come “un'algebra della logica”. Programma cominciato con la *Charcteristica Universalis* di Leibniz e poi continuato da alcuni fra i più importanti nomi della logica moderna in particolare del XIX secolo: De Morgan, Boole, Peirce, Schröder... Infatti, ciò che caratterizza un'algebra di Boole è che, essendo definita su interi espressi in numerazione binaria (0,1), da una parte, qualsiasi espressione valida (formalmente vera) del calcolo delle proposizioni può essere tradotta in un'espressione numerica booleana (= *logica equazionale*). D'altra parte, e per lo stesso motivo, essa si può “costruire induttivamente per ricorsione” gli insiemi numerici su cui è definita e quindi, “valutata semanticamente”, “verificata”. Infatti, l'insieme dei naturali dell'aritmetica può costruirsi, come è noto dall'antichità, usando iterativamente ricorsivamente l'operatore $n + 1$. Le funzioni ricorsive, della forma generale, $x_{n+1} = f(x_n)$, dove quindi il passo successivo della computazione ha come dominio il codominio del passo precedente costituiscono un esempio fondamentale di *composizionalità* (continuità) di funzioni. Il che, fra l'altro, giustifica il fatto che le algebre di Boole costituiscano una categoria in TC.

Inutile dire che con tutto ciò siamo alle basi dell'informatica che sembra realizzare il sogno leibniziano del *calculemus*. “Sembra” soltanto, però, perché è ben noto fin dal “problema di Hume” sull'induzione enumerativa (l'impossibilità di giustificare per induzione enumerativa l'esistenza degli universali logici) che, ricorsivamente, si possono costruire solo insiemi *finiti*, insufficienti per la semantica della logica che necessariamente ha a che fare con oggetti *infiniti*, in tal caso, infatti manca il “minimo limite superiore” dove fermarsi⁵⁴. Nel linguaggio della matematica ciò si dice affermando che non si possono dare *funzioni ricorsive generali*, definite cioè sull'intero (infinito) insieme dei naturali, come il secondo teorema di incompletezza di Gödel dimostra – in questo anticipato dal teorema di Löwenheim-Skolem e dal teorema di Tarski. In soldoni, il “numero di Gödel”, il simbolo numerico con cui denotare un insieme di numeri ricorsivamente costruito (definito), proprio come con “cavallo” denotiamo concettualmente l'insieme dei cavalli, non può appartenere all'insieme numerico che denota. In altri termini, possono esistere solo *funzioni ricorsive parziali*, definite cioè su sottoinsiemi dell'insieme dei naturali. Per dirlo aristotelicamente coll'argomento del “terzo uomo”, perché la logica è sempre quella, “l'umanità non è un uomo”, o nei termini dell'umorismo britannico di Russell nel descrivere il suo famoso paradosso, “l'insieme delle teiere non è una teiera”.

L'uso combinato di questi tre teoremi, di Gödel, di Löwenheim-Skolem e di Tarski – di cui gli ultimi due, sebbene dimostrati temporalmente prima, costituiscono altrettanti lemmi del primo – se filosoficamente giustificano l'affermazione che la mente umana ha capacità *infinite* che la macchina non ha, è perché “obbligano” la semantica formale a fondarsi su una logica del secondo ordine. Tutto ciò sempre dal punto di vista filosofico, ha però un'amara contropartita. Il calcolo logico dei predicati del second'ordine e oltre, come Gödel aveva in precedenza dimostrato, è intrinsecamente *incompleto*, non può cioè *dimostrare* vero tutto ciò che la logica non formalizzata afferma essere vero. Una verità incontrovertibile sintetizzata nel famoso adagio di Gödel: “ciò che possiamo conoscere è molto più di quanto possiamo dimostrare”. Questo, significa, però esporre intrinsecamente

⁵⁴ Intuitivamente ciò è noto fin dall'invenzione del metodo delle esaustioni da parte di Eudosso nell'Accademia platonica, ovvero il raggiungimento della “circonferenza” moltiplicando all'infinito i lati di un poligono iscritto. Esso funziona, infatti, se platonicamente supponiamo il cerchio già esistente. Se, infatti, provassimo a “costruirlo”, moltiplicando ricorsivamente i lati del poligono, quando ci fermiamo, visto che bisognerebbe estendere la procedura all'infinito? Viceversa, se il limite è già dato: basta che la differenza vada a zero, come Newton dimostrerà con la sua famosa nozione di “serie infinita convergente” alla base del calcolo.

la semantica formale a un grado più o meno alto di *arbitrarietà* – costituiscono cioè quelle che altrove ho definito “le radici forti del pensiero debole”⁵⁵. Costituiscono cioè una giustificazione più psicologica che reale, ma spesso adottata in letteratura, del relativismo e del nihilismo imperante, nonché del fideismo ontoteologico denunciati da Heidegger.

Complementariamente, dal punto di vista informatico, tutto ciò significa che non è possibile costruire automi e/o algoritmi efficienti, la cui semantica si confronta con sequenze infinite di dati (*data stream*), tipo ambienti reali che variano continuamente in maniera imprevedibile, oppure basi di dati che si accrescono continuamente in maniera esponenziale (*big-data*), ovvero costituite da flussi di dati come quelli di internet o dalle reti di comunicazione. Più in generale, tutto ciò significa che l’informatica non può cimentarsi in linea di principio con problemi *semantici* in generale. Qualcosa che può far gioire chi, abbastanza ingenuamente, ha paura che le macchine sostituiscano gli uomini, o su cui specula chi – profondamente in mala fede, se viene dall’informatica –, vuol far credere questo all’opinione pubblica. Qualcosa invece che dovrebbe mettere paura a tutti se fosse davvero così, perché significherebbe che, dato l’enorme sviluppo che l’automazione ha in tutti i campi della nostra società e che sempre di più avrà nel prossimo futuro, non è possibile in linea di principio – ed è quindi inutile svilupparli o pretendere che siano sviluppati con i relativi costi – avere sistemi automatici, o più in generale modelli matematici, in grado di auto-correggersi per l’accadere di eventi imprevedibili, compreso il caso di dover applicare *autonomamente* principi etici generici ad eventi individuali altrettanto imprevedibili. Il che, ovviamente, può far molto comodo a chi questi sistemi li usa e li gestisce per garantirsi una sorta di impunità morale (pseudo-)scientificamente giustificata⁵⁶. Il fatto che invece le logiche modali e quindi anche quelle deontiche dell’etica e del diritto, possano essere rappresentate coalgebricamente, toglie in linea di principio queste pseudo-giustificazioni alla volontà “politica” nel senso deterioro del termine, di questi sviluppi della logica, della filosofia formale e dell’informatica teorica anche in questa direzione.

3.2.5 DUALITÀ ALGEBRA-COALGEBRA IN FILOSOFIA: LOGICA MODALE COME LOGICA COALGEBRICA

Dai tre vicoli ciechi, logico, informatico e, finalmente, filosofico, che l’aver confinato la semantica formale *esclusivamente* a logiche del secondo ordine implica – moderna contropartita dell’iperuranio platonico –, si può uscire se usiamo in semantica formale il principio di dualità semantica fra algebra e coalgebra legate dall’applicazione controvariante di un unico funtore, con tutti i limiti, ovviamente, che questo porta con sé.

Tre sono i passi fondamentali che hanno portato a questo sviluppo in logica della TC:

1. La dimostrazione nell’ormai lontano 1936 di un importante teorema da parte del matematico americano Marshall Stone che dimostrò l’isomorfismo fra una logica di Boole B e un particolare spazio topologico, lo spazio di Stone $S(B)$ ⁵⁷. Essi formano due categorie *dualmente equivalenti* (controvarianti). Per i nostri scopi questo teorema dimostra definitivamente che la semantica booleana, non ha bisogno di logiche del second’ordine, perché non ha bisogno di *insiemi totalmente ordinati*, ma solo di *insiemi parzialmente ordinati* anche per calcolare su (intervalli di)

⁵⁵ GIANFRANCO BASTI E ANTONIO LUIGI PERRONE, *Le radici forti del pensiero debole. Dalla metafisica, alla matematica, al calcolo.*, Il Poligrafo and Lateran UP, Padua-Rome, 1996.

⁵⁶ Per rendersi conto di tutto ciò basta navigare sul sito del recentemente costituito *Future of Life Institute* (www.futureoflife.org) e per non rimanere solo alla superficie giornalistica delle questioni, scaricarsi il documento sulle “priorità di ricerca per una robusta e benefica intelligenza artificiale (IA)” (http://futureoflife.org/static/data/documents/research_priorities.pdf) dove ci si potrà confrontare sulle sfide che lo sviluppo dell’IA pone a logici, informatici e filosofi. A onor del vero, occorre dire che l’uso sistematico della TC e della filosofia formale, non solo per lo sviluppo di “una robusta e benefica IA”, ma anche in fisica fondamentale – due campi peraltro strettamente legati mediante il programma di ricerca sui computer quantistici – è prerogativa essenziale della ricerca europea (in particolare le università di Oxford, Amsterdam e, in Italia, Pisa, Bologna, Salerno e, almeno per la filosofia, la nostra PUL), mentre sembra essere ignorata negli USA. Dico “sembra” perché cosa stia effettivamente bollendo in pentola nella ricerca avanzata USA in qualsiasi campo, ma soprattutto in questo è, come ben noto, coperto dal segreto di stato.

⁵⁷ Cfr. MARSHALL H. STONE, «The theory of representation for Boolean algebras», *Transactions of the American Mathematical Society*, 40 (1936), 37-111.

numeri reali⁵⁸. Naturalmente su quest'idea occorre sviluppare appropriate teorie *non-standard* degli insiemi, alternative a quella classica.

2. Il secondo passo si deve innanzitutto al genio di un matematico italiano, uno dei più grandi matematici del XX secolo, Ennio De Giorgi, il quale, ai suoi famosi seminari sui fondamenti della matematica alla Scuola Normale Superiore di Pisa dove insegnava, lanciò l'idea, negli anni '70-'80 dello scorso secolo, di teorie assiomatiche degli insiemi "non-standard" senza cioè l'assioma di fondazione (cfr. nota 58)⁵⁹. Si trattava di un'idea particolarmente feconda per la logica, la fisica e l'informatica che ebbe diversi sviluppi, innanzitutto da parte di Marco Forti, suo collaboratore, dell'Università di Pisa, che insieme con Furio Honsell dell'Università La Sapienza di Roma sviluppò la proposta di diverse possibili teorie degli insiemi non-standard basate sul principio di "libera costruzione degli insiemi"⁶⁰. Questa nozione particolarmente feconda ottenne il successo e la notorietà universale che meritava soprattutto nella versione sviluppata ad opera del matematico inglese Peter Aczel, con la sua "teoria degli insiemi non-benfondati" (*non-wellfounded set theory*) che l'applicò immediatamente alla categorie delle coalgebre⁶¹ come semantiche delle rispettive algebre. Infatti, attraverso "l'assioma di anti-fondazione" di Aczel è possibile definire l'auto-inclusione degli insiemi e quindi catene illimitate di inclusioni di insiemi. In tal modo è possibile dimostrare un potente "teorema di coinduzione" per la definizione e la prova di insiemi, attraverso *svolgimento (unfolding)* per inclusione e coappartenenza, che illustreremo fra poco. Esso è *duale* al ben noto e già ricordato "teorema di induzione" per ricorsione per la definizione e la prova *costruttive* di insiemi finiti in algebra, che grazie al principio di dualità può evitare il suo limite finitistico⁶², illustrato intuitivamente nella nota 54. Quando però De Giorgi sviluppò la sua idea iniziale di teoria degli insiemi senza l'assioma di fondazione, aveva ben chiaro anche che, grazie a questa teoria, non solo si sarebbe potuto formalizzare in essa l'informatica teorica e la fisica teorica ben aldilà dei limiti imposti dalla teoria standard degli insiemi, ma anche che si sarebbe potuto formalizzare in essa la stessa logica filosofica. A questo scopo, insieme con un altro grande e compianto matematico del XX secolo, il prof. Edward Nelson di Princeton, scomparso lo scorso anno, e anche con me, abbiamo fondato nel 1996 alla PUL l'Area di Ricerca sui Fondamenti delle Scienze (*International Research Area on Foundations of the Sciences, IRAFS*)⁶³. Nell'idea primigenia di De Giorgi essa doveva essere la controparte "filosofica" dei suoi seminari sui fondamenti della matematica alla Scuola Normale. Purtroppo, il Prof. De Giorgi è scomparso prematuramente, qualche mese prima che l'IRAFS fosse istituita ufficialmente, anche se era di fatto attiva da anni in colloqui mensili col Prof. De Giorgi quando veniva a Roma per i suoi impegni all'Accademia dei Lincei. L'IRAFS

⁵⁸ Il teorema di Löwenheim-Skolem, che bloccò il programma di ricerca dell'algebra della logica, aveva infatti per primo dimostrato come gli insiemi algebrici non sono sufficienti per rappresentare gli insiemi non-numerabili, quelli cioè che non possono essere posti in corrispondenza biunivoca con l'insieme dei naturali (p.es., la totalità dell'insieme dei reali, degli immaginari, di tutti gli insiemi dei sottoinsiemi dei numerabili, etc.). Per questo motivo, tutte le teorie assiomatiche degli insiemi, a cominciare dalla teoria ZF, per garantire comunque l'ordinamento *totale* anche dei non-numerabili, pongono al secondo ordine, un qualche "assioma di fondazione". Nel caso di ZF esso è l'*assioma di regolarità* che impedisce l'auto-inclusione degli insiemi e quindi che si possano dare catene illimitate di inclusioni di insiemi. È chiaro che grazie al teorema di Stone la semantica algebrica non ha bisogno di insiemi totalmente ordinati e quindi di una logica del second'ordine, neanche per calcolare sui reali, visto che esiste un'infinità non numerabile di sotto-insiemi (intervalli) di reali numerabili.

⁵⁹ Per una ricostruzione storica si veda in particolare: DAVIDE SANGIORGI, «Origins of bisimulation and coinduction», in *Advanced topics in bisimulation and coinduction*, a cura di DAVIDE SANGIORGI E JAN RUTTEN, Cambridge UP, Cambridge, UK, 2012, pp. 1-37, spec. pp. 19-23.

⁶⁰ Cfr. MARCO FORTI E FURIO HONSELL, «Set Theory with Free Construction Principles», *Scuola Normale Superiore — Pisa Classe di Scienza, Serie IV*, 10 (1983), 493-522.

⁶¹ Cfr. PETER ACZEL, «Non-wellfounded sets», *CLSI Lecture Notes, vol.14*, 1988;

⁶² Di per sé si deve a Samuel Abramsky, aver sviluppato l'idea che l'informatica teorica, grazie ad una particolare forma di dualità algebra-coalgebra, quella fra algebre modali di Boole e coalgebre modali, ha a che fare con oggetti *finitari*, ovvero come "limiti di successioni di insiemi finiti" coinduttivamente generati mediante l'operatore di coappartenenza, che fornisce "localmente" il limite superiore a procedure ricorsive limitate solo inferiormente (cfr. nota 54).

⁶³ Cfr. <http://www.irafs.org>. Sul sito si trovano anche i manoscritti del Prof. De Giorgi, presentati postumi dal prof. Forti ad un congresso internazionale organizzato da IRAFS alla PUL nel 1998, sulle applicazioni anche filosofiche della sua teoria non-standard sotto il nome di "Ample Theory". Cfr.

così, nei primi anni di attività, si avvale della collaborazione del Prof. Forti, come si può constatare, visitando il sito nella sua parte storica. L'idea però era quanto mai feconda, ma molto al di là delle nostre forze limitate e, come tale, ha portato un essenziale incremento allo sviluppo della logica della TC, applicata anche alla logica filosofica, e quindi alla filosofia formale.

3. Infatti, il terzo passo dello sviluppo della logica della TC riguarda proprio la dimostrazione che, all'intrinseco e ben noto legame esistente fra la logica proposizionale e la logica equazionale definita su un'algebra di Boole, ne corrisponde uno altrettanto intrinseco fra logica proposizionale modale – e quindi anche le logiche intensionali o “logica filosofica” – e la semantica coalgebrica definita su insiemi non-standard. Storicamente, la dimostrazione dell'intrinseca natura coalgebrica delle logiche modali si deve a due fondamentali lavori di Alexander Kurz, dell'Università di Leicester (UK) e Lawrence S. Moss, dell'Università dell'Indiana a Bloomington, entrambi scritti nel 1999, sintetizzati in un successivo lavoro con Yde Venema dell'Università di Amsterdam del 2004⁶⁴. Tutti gli esperti però concordano che il nucleo ispiratore di questo sviluppo si trova in una conferenza del 1988, di eccezionale ricchezza di contenuti, tenuta da Samson Abramsky dell'Università di Oxford⁶⁵, in un Congresso in onore di un altro rappresentante della filosofia formale, Dov M. Gabbay del King's College di Londra, curatore della monumentale raccolta *Handbook of Philosophical Logic* edito da Springer, arrivato ormai al suo XVIII volume, vera “bibbia” della logica filosofica. Ci soffermeremo fra poco sull'essenziale contributo di Abramsky che ci fornisce “l'anello mancante” al nostro scopo di formalizzare nella logica della TC non solo la QFT, ma anche la metafisica naturale a base causale di Tommaso, in particolare la nozione di “inclusione causale” generi-specie prima introdotta. Vorrei ricordare, infine, che grazie a questi essenziali contributi è stato possibile a Jean Rutten, della Radboud University di Nimega, scrivere la teoria della *Coalgebra Universale*, duale della ben nota “Algebra Universale”, come teoria generale dei sistemi, tanto dinamici, quanto computazionali⁶⁶.

Il legame fra teoria degli insiemi non-benfondati e la logica modale consiste nel fatto che esiste un'intrinseca relazione fra catene illimitate di inclusioni di insiemi che vengono progressivamente “svolti” (*unfolded*), e l'operatore modale di “possibilità, \diamond ”. Vuol dire, intuitivamente, che i sottoinsiemi oggetto di “svolgimento” non esistono, per l'assioma di fondazione, “già da qualche parte”, secondo la presupposizione ontologica platonica soggiacente alla matematica moderna. Invece, in qualche modo vengono “generati” coalgebricamente da un operatore modale di “coappartenenza possibile” del sottoinsieme all'insieme che lo include, in simboli: $\langle \ni \rangle$, così, fra l'altro, da dare un senso formale alla nozione tommasiana che gli “effetti esistono in potenza nella causa”, p.es., le specie nel genere. In tal modo, la soddisfazione di certe condizioni che non sto qui a specificare, fa sì che essa divenga una “coappartenenza necessaria”, ovvero $\neg \langle \neg \ni \rangle$, cioè, $[\ni]$, per noi, l'attualizzazione di una specie come appartenente a un genere. Dove le parentesi angolari e quadre, applicate al simbolo di coappartenenza insiemistica “ \ni ”, *duale*, di quello dell'appartenenza insiemistica dell'algebra “ \in ”, sono reminiscenze dei due operatori di possibilità-necessità “ \diamond - \square ” della logica modale standard, ovvero definita su insiemi standard.

Inoltre, essendo gli operatori di co-appartenenza definiti su insiemi non-benfondati, tali insiemi sono in grado di *auto-includersi*, sono quindi caratterizzati da una specifica *identità*, così da costi-

⁶⁴ Cfr. ALEXANDER KURZ, «Specifying coalgebras with modal logic», *Theoretical computer science*, 210 (2001), 119-38; LAWRENCE S. MOSS, «Coalgebraic logic», *Annals of Pure and Applied Logic*, 96 (1999), 277-317; ID., «Erratum to “Coalgebraic logic”. [Ann. Pure Appl. Logic 96 (1999) 277-317]», *Annals of Pure and Applied Logic*, 99 (1999), 241-59; CLEMENS KUPKE, ALEXANDER KURZ E YDE VENEMA, «Stone coalgebras», *Theoretical computer science*, 327 (2004), 109-34.

⁶⁵ SAMSON ABRAMSKY, «A Cook's Tour of the Finitary Non-Well-Founded Sets (original lecture: 1988)», in *Essays in honor of Dov Gabbay. Vol. I*, a cura di S. ARTEMOV E ALTRI, Imperial College Publications, London, 2005, pp. 1-18.

⁶⁶ Cfr. JAN J. M. RUTTEN, «Universal coalgebra: a theory of systems», *Theoretical computer science*, 249 (2000), 3-80. Per una ottima sintesi di tutto quanto detto in questa sottosezione, cfr. YDE VENEMA, «Algebras and co-algebras», in *Handbook of modal logic*, a cura di PATRICK BLACKBURN, FRANK, JOHAN F.A.K. VAN BENTHEM E FRANK WOLTER, Elsevier, Amsterdam, 2007, pp. 331-426.

tuire formalmente il *dominio attuale* di un predicato, una “classe” dell’ordinario calcolo logico dei predicati, senza riferimenti ad “assiomi di comprensione” della logica standard dei predicati (Frege). Dal punto di vista dell’ontologia tomista, ciò significa che nel caso di generazione per co-appartenenza di domini individuali $\{x\}$, la relazione di auto-inclusione consente di formalizzare la nozione tomista di “ritorno completo su se stesso” (*reditio completa ad semetipsum*) che caratterizza un individuo o “sostanza prima” (la sua “inseità”), in quanto appartenente a (perché generata da) una determinata *specie* o natura. Nel caso di domini a più individui, $\{\{x\},\{y\},\{z\}\}$, la relazione di auto-inclusione consente di formalizzare la nozione di “sostanza seconda”, o *specie*, in quanto appartenente a (perché generata da) un determinato *genere*. Siamo cioè di fronte alla possibilità di giustificare per la prima volta nella modernità un calcolo modale “ontologico” – di fatto uno “svolgimento” (*unfolding*) progressivo di potenzialità attivo-passive, cioè *causali*.

D’altra parte, la semantica modale standard suppone necessariamente, una logica del second’ordine, come di fatto la logica modale viene (veniva) esclusivamente insegnata in tutte le facoltà di filosofia⁶⁷. Viceversa, l’operatore di necessitazione giustificato coalgebricamente come “svolgimento per co-appartenenze progressive”, implica che esso sia “indicizzato”. Ovvero, non valga astrattamente per tutti i mondi possibili – questo è il limite di non usare una semantica del second’ordine –, ma solo da un certo livello di “svolgimento” in poi, da quando cioè il dominio di oggetti (mondi) cui si riferisce è stato “svolto” (“venuto all’esistenza attuale”, in termini ontologici). A questo punto, siamo in grado di giustificare pienamente il bicondizionale ontologico di cui abbiamo dato un esempio al termine di §3.1.2: la classe dei cavalli (“esser cavallo”) appartiene alla classe dei mammiferi (“essere mammifero”), *se e solo se* al genere dei mammiferi coappartiene la specie dei cavalli, ovvero:

$$\underbrace{\text{cavallo} \in \text{mammifero}}_{\text{Verità Logica}} \xleftarrow{=} \underbrace{\text{cavallo} \ni \text{mammifero}}_{\text{Verità Ontica}} \quad \text{Part. Predic.}$$

La relazione (funtore) di partecipazione predicamentale⁶⁸ come fondamento metafisico del bicondizionale ontologico ($\xleftarrow{=}$) – nel nostro caso: “per tutti gli x , se x è cavallo, allora x è mammifero è vero se e solo se il genere dei cavalli include la specie dei cavalli” –, è un’interpretazione ontologica della nozione di “morfismo limitato” (*bounded morphism*: $\xleftarrow{=}$) fra modelli nella semantica coalgebrica della TC e quindi nella semantica relazionale fra modelli di Kripke in logica modale. Una nozione fondamentale, come sottolineato da tutti gli autori, perché è il corrispondente nelle logiche non-standard del bicondizionale semantico delle logiche standard (\Leftrightarrow).

Il fatto che si tratti di un morfismo funtorialmente “limitato” è legato alla stratificazione del processo di “svolgimento”, ovvero al costituire il limite di una successione di inclusioni. Il che giustifica pienamente lo scopo ultimo del lavoro di Abramsky che stiamo qui commentando, il quale nell’introduzione evidenzia che esso consiste nel dimostrare che, in teoria della computabilità, non si ha a che fare né con oggetti finiti, né con oggetti infiniti – che era il vicolo cieco in cui la logica standard aveva posto la semantica nella modernità –, ma oggetti *finitari* (*finitary*) ovvero come “limiti di successioni di finiti”. Ma proprio per questo, conclude Abramsky, in una teoria della computabilità fondata coalgebricamente non si ha a che fare, a livello fondazionale, con nessun “gioco dell’imitazione” di Turing. Insomma, proprio come, l’aver abbandonato l’esclusività di logiche del

⁶⁷ Cfr., nel caso delle facoltà italiane, l’ottimo manuale dell’amico Sergio Galvan, che ha insegnato alla PUL, è un esempio dell’approccio standard: SERGIO GALVAN, *Logiche intensionali. Sistemi proposizionali di logica modale, deontica, epistemica*, Franco Angeli, Milano, 1991. Nella nostra facoltà alla PUL, non casualmente è questo il manuale del corso di Logica II, mentre gli studenti anche del I Ciclo, vengono introdotti nel corso di Logica III, come gli studenti della specialistica, ad alcuni rudimenti dell’approccio coalgebrico alle logiche modali, visto che stiamo preparando studenti per il futuro e non per il passato. Soprattutto, quando in questo futuro potremo rendere di nuovo presenti, grazie a questo approccio, tante ricchezze del nostro passato remoto, che la saccenza del passato prossimo della modernità, pretendeva di relegare nel dimenticatoio di teorie “superate” dal suo sedicente “progresso”.

⁶⁸ Nozione che così formalizzata assume una connotazione precisa. Infatti, mediante il principio di coappartenenza mediante svolgimento progressivo, siamo posti di fronte alla generazione di domini di predicati.

second'ordine in semantica rende inutile una fondazione concettualista della logica (il riferimento all'infinità attuale della mente: per Tommaso questa infinità è solo virtuale), per lo stesso motivo non c'è bisogno di perseguire alcun mito, prometeico o faustiano a seconda dei gusti, di "intelligenza artificiale" per consentire agli artefatti di calcolare, anche semanticamente. Il paradigma di universalità del calcolo di Turing basato sul "gioco dell'imitazione" è perfettamente formalizzabile in TC, ma non viceversa! La logica della TC si basa su un principio di "Universalità Coalgebrica"⁶⁹

Da questo punto di vista, in ontologia formale, dato che il funtore in questione è la relazione causale di partecipazione che fonda l'omomorfismo fra le categorie di verità logica e ontica e quindi fra ciascuna verità (verità "locali", dunque nel gergo della TC) logica e ontica, la nozione di finitarietà formalizza il principio fondamentale della metafisica della partecipazione tommasiana che *non si dà regresso all'infinito nella gerarchia delle "cause essenziali"*, ovvero delle implicazioni causali che fondano le essenze (generi-specie) dei diversi enti. Un principio che è fondamentale per la dimostrabilità della causa prima (non di Dio in quanto tale), tanto a livello fisico che metafisico. Tutto ciò significa che l'uso sistematico fatto da me nella prima versione semi-formalizzata in logica modale "stratificata" della metafisica e dell'ontologia della partecipazione nel saggio del 2014 pubblicato su *Divus Thomas*, più volte citato in questo lavoro, ha la sua piena giustificazione formale nella logica della TC e in particolare nella fondazione coalgebrica della logica modale.

In quel saggio, si afferma pure che l'ontologia formale del realismo naturale è anche un ottimo candidato a essere ontologia della cosmologia evolutiva basata sulla QFT. Infatti, il principio di coappartenenza e di coinduzione "stratificato" introdotto da Abramsky e sviluppato in seguito in molteplici lavori di diversi autori, è perfettamente adeguato a giustificare l'evidenza che "è la cosmogonia la legislatrice della fisica". Tuttavia, per collegarci alla QFT, occorre introdurre in questo quadro un ulteriore contributo presente in maniera seminale sempre nel succitato saggio di Abramsky. Infatti, il funtore che definisce la categoria delle coalgebre modali è il cosiddetto "funtore di Vietoris", \mathcal{V} , che di per sé è endofuntore di una particolare categoria di spazi topologici, quelli vettoriali cui, fra l'altro, appartengono anche gli "spazi di Hilbert", ovvero la struttura algebrica fondamentale di tutta la fisica quantistica⁷⁰. Per questo, basta tener presente il risultato ottenuto da Abramsky, alla luce di quello fondamentale di Stone da cui siamo partiti. Nei termini della TC la categoria $\mathbf{S}(\mathbf{B})$ degli spazi di Stone è dualmente equivalente a quella \mathbf{AlgB} delle algebre di Boole. Di conseguenza ogni endofuntore Ω su $\mathbf{S}(\mathbf{B})$ ne induce un controvariante Ω^* su \mathbf{AB} . Quindi in base alla dualità algebre-coalgebre in quanto caratterizzate dall'applicazione controvariante del medesimo endofuntore, le due categorie booleane $\mathbf{CoalgB}(\Omega)$ e $\mathbf{AlgB}(\Omega^*)$ sono dualmente equivalenti, cioè: $\mathbf{Coalg}(\Omega) \rightleftharpoons \mathbf{Alg}(\Omega^*)$. Se applichiamo questo risultato a quello ottenuto da Abramsky, ovvero sostituiamo il funtore \mathcal{V} ad Ω , otteniamo l'altro risultato della dualità equivalente fra coalgebre modali e algebre modali estendibile anche alle booleane. Ovvero: $\mathbf{Coalg}(\mathcal{V}) \rightleftharpoons \mathbf{Alg}(\mathcal{V}^*)$ ⁷¹. Queste due categorie manifestano delle evidenti similarità, che saranno oggetto di studio in un prossimo futuro anche nella nostra università, con le categorie delle coalgebre-algebre di Hopf q -deformate in QFT: $q\text{-HCoalg}(\mathbf{T}) \rightleftharpoons q\text{-HAlg}(\mathbf{T}^*)$. Infatti, il risultato maggiore, evidenziato ormai da diversi anni da Viettiello e dal suo gruppo⁷², del formalismo coalgebrico della QFT rispetto a quello algebrico della QM è che nella prima, nello spazio di Hilbert che rappresenta un sistema quantistico, per il princi-

⁶⁹ Cfr., JAN J. M. RUTTEN, «Universal coalgebra: a theory of systems», *Theoretical computer science*, 249 (2000), 3-80.

⁷⁰ Formalmente, il rapporto fra la categoria degli "spazi di Stone" e la categoria degli "spazi di Hilbert" è molto profondo, in quanto le proprietà caratterizzanti le topologie degli spazi di Stone sono le stesse delle cosiddette C^* -algebre, generalizzazione in teoria dei gruppi degli spazi di Hilbert.

⁷¹ Cfr. VENEMA, «Algebras and co-algebras», cit., pp. 393ss.

⁷² Cfr. GIUSEPPE VITIELLO, «Links. Relating different physical systems through the common QFT algebraic structure», *Lecture Notes in Physics*, 718 (2007), 165-205.

pio del “raddoppio dei gradi di libertà” – in questo caso, il raddoppio degli stati quantistici che formano la base ortonormale, le dimensioni, dello spazio di Hilbert –, ogni stato del sistema è intrinsecamente associato, *entangled*, con uno stato del bagno termico. Questo evidenzia che in QFT è *la dinamica a determinare (indurre) la base dello spazio di Hilbert non l’osservatore come in QM*⁷³, secondo un’ontologia tipicamente concettualista come quella (kantiana) della meccanica classica. Di nuovo, è solo l’inserimento del formalismo fisico-matematico della QFT nel quadro più ampio della TC – ed in questo siamo in perfetto accordo con Abramsky e il suo gruppo – a fondare questi ulteriori e decisivi sviluppi in computazione quantistica, un altro dei settori-chiave per lo sviluppo futuro delle nostre società. Ne ricordo solo uno cui il Papa ha dedicato la sua ultima enciclica *Laudato si*: la questione ecologica.

Il paradigma newtoniano di scienza, basato su sistemi isolati dall’ambiente, ha avuto come effetto secondario, certamente non voluto da chi lo ha concepito, ma nondimeno da esso derivato, di sviluppare una scienza e una tecnologia in cui gli oggetti *dovevano essere studiati e progettati indipendentemente dall’ambiente*: era il modello matematico e di calcolo a richiederlo. Il nuovo paradigma di scienza che si impone oggi, a cominciare dalla fisica che è sempre stata “la madre di tutte le scienze”, ribalta la prospettiva, sia dal punto di vista fisico fondamentale, sia dal punto di vista del calcolo e dei suoi fondamenti logico-algebrici. Possiamo sperare così di ottenere rappresentazioni molto più “realistiche” e “intrinsecamente ecologiche” coll’uso di questo nuovo paradigma “duale” di verità, ma anche di computabilità.

4 CONCLUSIONE

La nozione di “cambio di paradigma”, come sappiamo proprio dal lavoro di Th. Kuhn che l’ha introdotta con grande fortuna nel dibattito contemporaneo, è strettamente legata alla comunità scientifica che, in un periodo di transizione, certifica con le sue strutture universalmente riconosciute che il cambio di paradigma sta avvenendo, orientando in questo modo la ricerca e la stessa divulgazione scientifica. È quanto sta succedendo praticamente in questi giorni con la più prestigiosa di queste strutture l’Accademia Reale Svedese delle Scienze che assegna i Premi Nobel. Il sei ottobre del 2015 l’Accademia ha ufficialmente annunciato che il Premio Nobel per la fisica del 2015 è stato assegnato ai fisici: Takaaki Kajita, dell’Università di Tokyo in Giappone e Arthur B. McDonald della Queen’s University di Kingston in Canada. Il motivo è di aver dimostrato sperimentalmente – sviluppando un’originaria intuizione teorica di una delle glorie della fisica italiana del ‘900, Gillo Pontecorvo – che il neutrino cambia natura ed è quindi dotato di massa, confutando in tal maniera il *Modello Standard*, se inteso come fisica fondamentale della materia. Esso resta valido, ma per “spiegare” il 5% della materia dell’universo, essendo il resto costituito dai nomi puramente evocativi di “materia oscura” e “energia oscura”. Con ciò si decreta ufficialmente il passaggio alla cosiddetta “fisica oltre il Modello Standard” e, con questo, il passar oltre il paradigma newtoniano di scienza, se ricordiamo lo stretto legame già illustrato fra Modello Standard e la condizione asintotica dei metodi perturbativi per isolare artificialmente il sistema dalle interazioni, per separare, cioè, particelle e campi di forze. Le parole usate dall’Accademia Reale Svedese nel comunicato stampa ufficiale per i Nobel in Fisica del 2015 sono infatti le seguenti:

⁷³ Ed infatti la funzione d’onda di Schroedinger della QM, (equivalente alla rappresentazione sotto forma di matrice di Heisenberg cui il formalismo degli spazi di Hilbert si riferisce) non è un *oggetto dinamico* come l’onda di un campo di forze della QFT, ma un *oggetto statistico*, rappresentazionale. Di qui tutta la letteratura sterminata che né consegue sul problema dell’oggettività delle rappresentazioni della fisica quantistica. In pratica: quando prepariamo un esperimento di QM definendo noi la base dello spazio di Hilbert che rappresenta il sistema, nelle successive misurazioni, cosa stiamo “misurando” la realtà o la nostra rappresentazione di essa? In altri termini, la QM segue un’ontologia concettualista proprio come la meccanica classica seguiva l’ontologia concettualista kantiana, come evidenzia l’interpretazione *relazionale* della MQ dove cioè la relazione con l’osservatore è “intrinseca” al sistema quantistico rappresentato C. ROVELLI, «Relational quantum mechanics», *Int. J. Theor. Phys.*, 35 (1996), 1637–1678.

Per la fisica delle particelle si tratta di una scoperta storica. Il suo Modello Standard dei più interni comportamenti della materia è stato incredibilmente di successo⁷⁴, poiché ha resistito a tutte le prove sperimentali per oltre vent'anni. Tuttavia, poiché esso richiede che i neutrini siano senza massa, le nuove osservazioni hanno mostrato chiaramente che il Modello Standard non può essere la teoria completa dei costituenti fondamentali dell'universo. (...) Ora gli esperimenti continuano e un'intensa attività è in corso in tutto il mondo, al fine di catturare neutrini ed esaminare le loro proprietà. Ci si attende che nuove scoperte sui loro più nascosti segreti cambino la nostra attuale comprensione della storia, della struttura e del destino futuro del nostro universo⁷⁵.

Credo che tutto questo sia sufficiente a giustificare il titolo del nostro saggio. Infatti, l'intuizione di J. Maritain di legare lo sviluppo della filosofia moderna della natura al cambio di paradigma ontologico ed epistemologico, dalla fisica aristotelico-tomista della *cognitio certa per causas* alla *cognitio certa per leges* della meccanica di Newton, rende conto di un qualcosa di fondamentale che non appartiene solo al nostro passato, ma anche al nostro futuro. Che appartenga anche al nostro presente dipende essenzialmente da noi filosofi che in quanto custodi di una tradizione, dobbiamo essere in grado non solo di divulgarla, ma anche di renderla accessibile *dall'interno del dibattito scientifico contemporaneo*. La formalizzazione della filosofia ha anche questo scopo, oltre che un intrinseco valore per la filosofia in quanto tale.

Un altro Premio Nobel, stavolta della chimica (1977) Ilya Prigogine, che con il concetto di "struttura dissipativa" aveva anticipato tante nozioni, che con la QFT trovano un quadro teorico fondamentale di giustificazione, disse una volta al compianto Mons. Pietro Rossano, allora rettore della nostra Università, di essere sconvolto da un fatto. Lui, premio Nobel e non credente, aveva avuto il coraggio di affermare, più volte, anche nel suo diffusissimo testo di divulgazione filosofico-scientifico dal titolo più che evocativo⁷⁶, che l'affermarsi del nuovo paradigma cui lui stesso stava dando contributi essenziali, significava il recupero dell'ontologia aristotelica della natura, contro quella newtoniana. Come mai, allora, nessuno nelle Università Pontificie sembrava accorgersene?. Mons. Rossano che aveva realizzato che io me ne ero accorto, visto che citavo continuamente i lavori di Prigogine, mi invitava ad andare avanti su questa strada.

Questo riferimento a Prigogine ci è utile, per concludere questo lavoro. Prigogine, nell'introduzione al succitato libro, riportava, per illustrare questo cambio di paradigma, un'immagine di Alfred N. Whitehead, il matematico algebrista che con il filosofo Bertrand Russell aveva scritto i *Principia*, e che con la sua filosofia della natura, il famoso *Process and Reality*, anticipava tante nozioni poi sviluppate nella logica della TC. Whitehead diceva che i grandi cambi culturali – la nozione di "paradigma" non si era ancora affermata – sono come i rivolgimenti tettonici della crosta terrestre: uno strato geologico viene sommerso da un rivolgimento, per poi riapparire al rivolgimento seguente. Mai, insomma, affermare che i grandi pensatori sono "superati", come raccomandava Heidegger! Giovan Battista Vico parlava di "corsi e ricorsi" con un incessante "processo a spirale" della storia. D'altra parte è noto che una società e una cultura senza passato non hanno futuro. L'importante, ripeto, è che i filosofi di quella società e di quella cultura, che soli hanno la visione sufficiente a comporre il passato col futuro, lavorino sul presente, aggiornandosi continuamente.

⁷⁴ Successo decretato dalla stessa Accademia con l'assegnazione del Nobel 2013 per la fisica a François Englert e a Peter W. Higgs per la loro teoria, sperimentalmente confermata nel 2012 allo LHC del CERN di Ginevra, del "bosone di Higgs", anello mancante del Modello Standard.

⁷⁵ Cfr., http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2015/press.html (Consultato il 18/10/2015). È inutile dire, ma è bene ricordare che la QFT è in grado di fornire un modello fisico-matematico della nuova fisica del neutrino, basata sul carattere intrinseco delle fluttuazioni del VQ per giustificare i "cambi di natura" del neutrino dotato di massa, come altrettanti "transizioni di fase" del campo neutrinico. Un modello recentemente proposto da Vitiello e dal suo gruppo. Cfr., MARIA VITTORIA GARGIULO, MAIRI SAKELLARIADOU E GIUSEPPE VITIELLO, «Doubling of the algebra and neutrino mixing within noncommutative spectral geometry», *Eur. Phys. Journ. C*, 74 (2014), 2695.

⁷⁶ ILYA PRIGOGINE E ISABELLE STENGERS, *La nuova alleanza. Metamorfosi della scienza*, trad. di P. D. Napolitani, Einaudi, Torino, 1999.

