

Basti G., L'ontologia formale del "realismo naturale", cosmologia evolutiva e partecipazione dell'essere, *Divus Thomas* 117-2(2014), 229-334.

L'ONTOLOGIA FORMALE DEL "REALISMO NATURALE", COSMOLOGIA EVOLUTIVA E PARTECIPAZIONE DELL'ESSERE

GIANFRANCO BASTI¹

1. INTRODUZIONE

In diversi saggi precedenti, a partire da un "programma di ricerca" lanciato proprio su questa Rivista², avevo sottolineato come l'ontologia formale del Realismo Concettuale (RC) dell'amico e collega Nino B. Cocchiarella, Professore Emerito di Logica dell'Università dell'Indiana a Bloomington (USA), si prestava bene ad una prima formalizzazione dell'ontologia naturalista aristotelica nella forma del Realismo Concettuale Naturalista (RCN)³, anche se col limite – appunto – del *concettualismo* che costituiva il punto di partenza del suo approccio. Inoltre, avevo sempre affermato che, sia il RC, che la sua evoluzione RCN non erano una formalizzazione sufficiente dell'impianto logico-ontologico che soggiace alla tommasiana metafisica della partecipazione "trascendentale" (dell'ente allo *esse*) e "predicamentale"

¹ Ordinario di Filosofia della Natura e della Scienza, Facoltà di Filosofia, Pontificia Università Lateranense (basti@pul.it).

² Cfr. GIANFRANCO BASTI, «Metafisica, metalogica e nuove prospettive della filosofia», *Divus Thomas*, 24 (1999), 13-52; ID., «Analogia, ontologia e problema dei fondamenti», in *Analogia e autoreferenza*, Marietti 1820, Milano-Genova, 2004, pp. 159-236; ID., «Ontologia formale: per una metafisica post-moderna», in *Il problema dei fondamenti. Da Aristotele, a Tommaso d'Aquino, all'ontologia formale*, a cura di A. STRUMIA, Cantagalli, Siena, 2007, pp. 193-228; ID., «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 A. ALES BELLO, F. ALFIERI E S. MOBEEN, Laterza, Bari, 2011, pp. 107-388.

³ NINO B. COCCHIARELLA, *Formal Ontology and Conceptual Realism*, Springer Verlag, Berlin-New York, 2007.

(dell'individuo alla specie e della specie al genere)⁴.

Questo mio saggio, che è debitore anche al notevole lavoro di analisi sulle due predette nozioni fatto nella tesi di dottorato di D. Francesco Panizzoli proprio su queste due nozioni, e recentemente pubblicata⁵, mantiene la promessa di un'evoluzione dello RCN di Cocchiarella nella forma di un Realismo Naturale (RN), fondato su un'ontologia possibilista a base non-concettualista, ma "oggettualista" di tipo *causale*, ovvero su un inizio di formalizzazione della nozione tommasiana di "partecipazione" (per queste distinzioni, cfr. infra §2.1). Quello che è significativo è che RN non si presta solo a fornire una formalizzazione della partecipazione tommasiana, nell'attuale orizzonte della *filosofia formale* – in quanto distinta dalla *filosofia analitica* dello scorso secolo⁶ – ma anche

⁴ Cfr. C. FABRO, *La nozione metafisica di partecipazione secondo S. Tommaso d'Aquino*, Vita e Pensiero, Milano, 1939., C. FABRO, *Partecipazione e causalità*, SEI, Torino, 1961. Ambedue i volumi sono stati recentemente ristampati, nel benemerito progetto curato dalla Editrice del Verbo Incarnato di editare le Opere Complete di P. Fabro, rispettivamente come

⁵ F. PANIZZOLI, *Ontologia della partecipazione. Verso un'ontologia formale della metafisica della partecipazione di Tommaso d'Aquino*, Aracne, Roma, 2014.

⁶ In Italia ancora non siamo adusi a distinguere fra le due, come già si fa da più di un decennio nei paesi anglosassoni. In soldoni, *la filosofia analitica* partiva dalla nozione wittgensteiniana di filosofia come "terapia logico-linguistica" per liberare le teorie da inconsistenze, prima usando la logica-matematica dei *Principia (Tractatus)*, poi riconoscendo la diversità delle regole logiche nei diversi tipi di teorie ("giuochi linguistici"). In ogni caso, però, tale approccio spesso costringeva le teorie nel "letto di Procuste" di regole che non gli appartenevano, giungendo così a risultati insoddisfacenti, come nel caso proprio della tommasiana teoria dello *esse ut actus* nel caso del "Tomismo Analitico" (Cfr. al riguardo il bel saggio di B. J. SHANLEY, «Tomismo analitico», *Divus Thomas (Numero Monografico): "Fides et Ratio: analitici, continentali e tomisti"*, 24 (1999), 79-92, in un numero monografico di questa rivista, curato da A. Strumia, C. Testi e me stesso. Nulla di tutto questo nel caso della *filosofia formale* (ontologia formale, epistemologia formale, deontica formale, etc.) il cui scopo è viceversa quello di formalizzare le teorie filosofiche – ed in genere le teorie prodotte dalle varie discipline umanistiche – evidenziandone la logica (spesso la logica modale) usata, con due scopi principali. Innanzitutto, studiare l'implementabilità informatica di tali formalismi per simulare al computer compiti semantici – e questo spiega l'esplosione esponenziale di studi in

un'ontologia formale dell'attuale *cambio di paradigma* in fisica fondamentale legato alla *Quantum Field Theory* (QFT), in quanto distinta e irriducibile alla *Quantum Mechanics* (QM). Ed infatti, in questa veste ho pubblicato in inglese una prima versione di **RN**. La QFT sta, infatti, mietendo successi (e Premi Nobel) uno dopo l'altro – dall'unificazione elettro-debole, alla scoperta del "bosone di Higgs", all'ancor più recente scoperta di "onde gravitazionali" legate all'energia del vuoto quantistico (per una spiegazione di questa nozione, cfr. §3.2) – che cambiano radicalmente il nostro modo moderno di guardare alla natura, legato al paradigma newtoniano di scienza, l'altro grande mentore del trascendentalismo kantiano. Soprattutto, la cosmologia evolutiva basata sulla QFT, poiché mostra come le stesse leggi fisico-matematiche della natura siano un prodotto dell'evoluzione e quindi abbiano un fondamento *causale*, richiede l'abbandono dell'identificazione moderna leibniziana fra necessità logica e causale, e quindi un'inversione della fondazione newtoniano-kantiana della necessità causale su quella logica, per ritornare alla molto più "fisica" fondazione della necessità logica su quella ontologica e dunque causale. Uno stravolgimento teorico che ha portato, per esempio, i fisici teorici più attenti, incluso Roger Penrose, a tentare di fondare una "teoria causale degli insiemi", come accenneremo in seguito.

Per questo, dopo aver mostrato nella Sezione 2 di questo lavoro il cuore della distinzione fra l'ontologia formale di **RCN** e di **RN** (§2.1), faccio vedere come **RN** può ambire ad essere l'ontologia formale della QFT, come **RCN** della QM, secondo le esplicite intenzioni di Cocchiarella, esattamente come il concettualismo dell'atomismo logico di Carnap e l'ontologia

questo campo negli ultimi dieci anni. Secondariamente, rendere confrontabili in maniera scientificamente consistente le varie teorie, facendole dialogare fra di loro in maniera rigorosa, non importa quanto distanti siano culturalmente o storicamente i loro autori. Di qui nasce l'uso della filosofia formale come strumento insostituibile di dialogo interculturale e interdisciplinare fecondissimo. Questo lavoro vorrebbe esserne un esempio. Per chi voglia rendersi conto in maniera introduttoria della ricchezza estrema di analisi così prodotta, lo invito a sfogliare i ben sedici (!) volumi al momento pubblicati dello *Handbook of Philosophical Logic* che useremo spesso in questo saggio. Cfr. *Handbook of Philosophical Logic. Second Edition, Voll. 1-16*, a cura di D. GABBAY E F. GUENTHNER, Springer, Berlin-New York, 2001-2014.

dell'atomismo fisico newtoniano (§2.2).

Nella Sezione 3 del lavoro mi dedicherò a un'illustrazione sommaria del cambio di paradigma in atto nella fisica fondamentale legato alla QFT, dalla fisica sub-atomica e atomica (fisica quantistica), per poi passare, a livello macroscopico (fisica a molti corpi) – dove di per sé la QFT ha mietuto e miete i successi teorici, ma soprattutto sperimentali più rilevanti, praticamente ogni giorno –, alla fisica dei materiali, alla chimica, alla biologia, alle neuroscienze, per arrivare fino alla cosmologia, non solo teorica, ma anche osservativa di precisione⁷. Queste ultime sono legate alle misure sulla radiazione di CMB (*Cosmic Microwave Background*), la cosiddetta “luce del Big-Bang” che ha portato, sembra – perché si tratta di misurazioni recentissime – non solo all'osservazione di “onde gravitazionali” per la prima volta nella storia dell'umanità, come previsto dalla relatività, ma onde prodotte dall'energia del vuoto, come previsto dalla QFT.

Nella Sezione 4 mi dedicherò ad una presentazione semi-formale del RN, a partire dalla critica di Quine alla pretesa di C. I. Lewis che la sua modalizzazione dell'implicazione materiale, alla base della moderna Logica Modale (LM) assiomaticizzata, possa essere interpretata, come da lui affermato, non solo come una formalizzazione dell'*implicazione logica*, ma anche come un'adeguata formalizzazione dell'*implicazione metafisica*. Essa, infatti, non è in grado di dire nulla sulle entità e sulle loro *relazioni reali* che costituiscono i referenti dei due asseriti posti in *relazione logica* d'implicazione metafisica. La risposta a questa critica, come vedremo, è suggerita dall'Aquinate con la sua teoria dell'*implicazione inversa* e della sua modalizzazione (è impossibile che un effetto sia senza la sua causa), come logica della *necessitazione reale* (causale) nei processi di *generazione di forma* (causalità formale), in quanto opposta alla logica della *necessitazione logica* basata sulla implicazione materiale e la sua modalizzazione, in matematica e in fisica matematica. La formalizzazione di un'ontologia basata su questa geniale intuizione – ovvero, l'ontologia formale del RN – si concluderà con un'applicazione di essa all'*epistemologia formale*, da dove apparirà la conferma di un'altra dottrina di Tommaso. E cioè l'analogia di proporzionalità

⁷ Cfr. anche quanto avevo anticipato in un altro articolo pubblicato recentemente su questa rivista: G. BASTI, «Dualità, epigenesi, intenzionalità: dal mente-corpo al persona-corpo», *Divus Thomas*, 115 (2012), 29-89.

fra la struttura formale della relazione di partecipazione e quella della relazione di referenza per asserti veri.

Per concludere questa introduzione, vorrei riportare qui, senza molti commenti che si possono trovare altrove⁸, la tavola delle possibili ontologie, antiche e moderne, in base ai diversi nessi di predicazione – in quanto distinta dalla semplice relazione di “appartenenza” a classi e/o a insiemi della logica – e quindi ad altrettante teorie degli universali, elaborata da Cocchiarella, ma supposta e riadattata spesso da me in molti lavori, questo incluso. Possiamo distinguere fra almeno tre tipi di ontologie e quindi di predicazione, con l’ultima suddivisa in altre quattro:

1. *Nominalismo*: gli universali predicabili sono ridotti a espressioni predicative di un dato linguaggio che, *mediante le sue regole d’uso convenzionali*, determina le condizioni di verità delle proposizioni nel loro uso referenziale (Sofisti, Abelardo, Quine, ...).
2. *Concettualismo*: gli universali predicabili sono espressioni di *concetti mentali*, cosicché sono le *regole del pensiero* che determinano le condizioni di verità delle proposizioni nel loro uso referenziale (Kant, Husserl, Cocchiarella...).
3. *Realismo*: gli universali predicabili sono espressioni di *proprietà e relazioni* che esistono indipendentemente dalle capacità linguistiche o mentali nel:
 - a. *Dominio logico*, abbiamo così il *realismo logico*, dove le *relazioni logiche* determinano le condizioni di verità delle proposizioni nel loro uso referenziale (Platone, Frege...)⁹;
 - b. *Dominio fisico*, abbiamo così le ontologie del cosiddetto *realismo naturale* o “naturalismo”. A sua volta il naturalismo può essere di due tipi:

⁸ Cfr. NINO B. COCCHIARELLA, «Logic and Ontology», *Axiomathes*, 12 (2001), 117-50; BASTI, «Ontologia formale», *cit.*

⁹ Un esempio recente di realismo logico può trovarsi nel libro di U. Meixner, U. MEIXNER, *Axiomatic formal ontology*, Springer Verlag, Berlin-New York, 2010. Dello stesso Autore, cfr. anche ID., *The theory of ontic modalities*, Ontos Verlag, Frankfurt, 2007.

- *Atomismo*: senza generi naturali, dove le *regole logico-matematiche* determinano le condizioni di verità delle proposizioni nel loro uso referenziale (Democrito, il Wittengstein del *Tractatus*, l'Atomismo Logico (AL) di Carnap...)
- *Essenzialismo*: con generi naturali, dove le *relazioni reali fra cose* (cause) determinano le condizioni di verità delle proposizioni nel loro uso referenziale (Aristotele, Tommaso, Kripke, RN...).

La principale differenza fra i due tipi di naturalismo è che

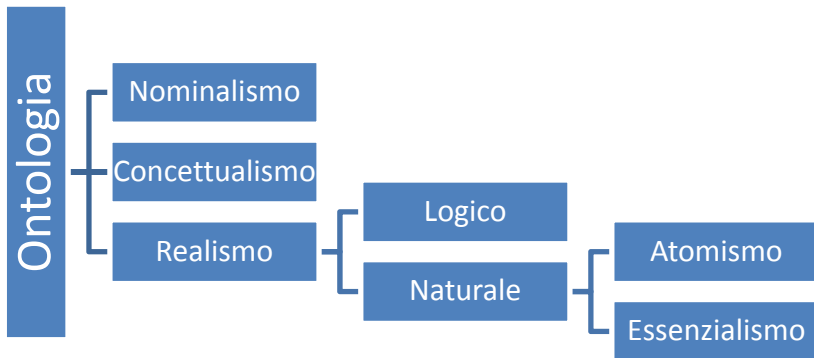


Tavola 1. Schema delle principali ontologie secondo la filosofia formale.

l'essenzialismo ammette la *referenza generale e non solo individuale*. Ammette, cioè, la capacità di riferimento extra-linguistico di nomi comuni a generi naturali (generi-specie) (p.es., "animale", "mammifero", "cavallo", etc.), e non solo di nomi propri a individui (p.es., "questo cane, Fido"), mentre l'atomismo non lo ammette. Conseguentemente, l'essenzialismo è capace di distinguere fra diverse modalità *de re* – attuale e virtuale – sia di individui che di generi naturali, ambedue *realmente* (causalmente) e non logicamente fondate. Al contrario, l'atomismo riduce le modalità *de re* a quelle *de dicto*, e quindi la necessità causale a quella logica – da cui la sua connotazione come AL. Vedremo come l'AL sia l'ontologia propria del paradigma newtoniano di scienza moderna.

2. DALL'ONTOLOGIA FORMALE DI RCN A QUELLA DI RN

2.1. Predicazione concettuale e naturale nelle due ontologie a confronto

In un famoso saggio sulla semantica modale dei predicati o Logica Modale Quantificata (LMQ) J. W. Garson afferma:

Una delle più significative differenze fra le trattazioni semantiche della LMQ riguarda il dominio di quantificazione. Alcuni sistemi quantificano su oggetti, mentre altri quantificano su ciò che Carnap definiva “concetti individuali”. Il secondo approccio è più generale, ma anche più astratto e più difficile da motivare¹⁰.

La generalità del *concettualismo* dipende dal fatto che dal Rinascimento in poi – e più precisamente dall'opera di Suarez in poi, cioè dall'abbandono del naturalismo aristotelico anche da parte della Scolastica¹¹ – il *possibilismo* in ontologia suppone il *concettua-*

¹⁰ JAMES W. GARSON, «Quantification in modal logic», in *Handbook of Philosophical Logic. Second Edition, Vol. III*, a cura di D. GABBAY E F. GUENTHNER, Springer, Berlin-New York, 2001, p. 271.

¹¹ Cfr. al riguardo quanto ho affermato nel mio voluminoso saggio, BASTI, «Ontologia formale», cit.. In esso faccio notare come il fatto che E. Husserl, differentemente dalla sua discepola E. Stein, non parlasse nella sua ontologia formale di “entità” (*entitas*), ma di “oggettualità” (*Gegenständlichkeit*) costituiva il punto di arrivo di quel percorso moderno, cominciato con Suarez. Con l'aver egli quasi impercettibilmente sostituito al trascendentale tommasiano della *res* – ovvero dell'ente in quanto dotato di una determinata *essenza* – quello che caratterizzerà il trascendentale della modernità, l'*obiectum*. Infatti, senza la possibilità di parlare di “possibilità causale” una volta abbandonato il naturalismo aristotelico-tomista, resta solo la “possibilità concettuale” che fa della possibilità ontologica dell'essenza un prodotto di qualche mente, della Mente Divina, o, più coerentemente, di una soggettività trascendentale, come con Kant e Hegel. Di qui l'equivalenza fra “concettualismo” e “possibilismo” ontologico, col conseguente non piccolo problema di distinguere fra *ens*, *res*, *obiectum* e, soprattutto, *verum*. Siccome, poi, non si può dare *obiectum* senza *subiectum* è chia-

lismo in semantica. Quindi essere *oggettualista* nella semantica della LMQ implica l'essere *attualista* in ontologia. Così, immediatamente dopo, nel medesimo saggio, Garson ci ricorda qual'è il motivo profondo per cui si usano le *logiche libere* – le logiche dove si usano quantificatori senza presupposizione esistenziale – nelle interpretazioni attualiste della LMQ, come quella di Hayaki che useremo più oltre.

L'assunto di partenza nelle semantiche della logica quantificata è che ogni costante (diciamo g) si riferisce a un oggetto del dominio di quantificazione. (...) Quindi, dall'identità provabile $\langle g = g \rangle$ uno potrebbe derivare $\langle \exists x (x=g) \rangle$ per Generalizzazione Esistenziale. Se g sta per "Dio", allora $\langle \exists x (x=g) \rangle$ si legge "Dio esiste" [ma anche "l'unicorno esiste", se g denotasse "l'unicorno"]¹².

Vedremo dopo come nell'ontologia formale di **RN** si può usare una LMQ "oggettualista" e un'ontologia *possibilista* senza alcun bisogno di logiche libere per evitare paradossi come quello evidenziato da Garson. Nell'ontologia di **RN**, infatti, non si usa l'auto-identità come condizione necessaria e sufficiente per giustificare l'esistenza degli elementi di **V**, la classe universale della

ro che si trova in questo scivolamento semantico dalla *res* all'*obiectum* il fondamento di quello che Fabro definisce il *trascendentale moderno* – il soggetto trascendentale delle filosofie di Descartes e Kant – in contrapposizione al *trascendentale classico* dello *ens* e dei suoi termini equivalenti di *entitas*, *unum*, *res*, *aliquid*, *verum* e *bonum* della tavola tommasiana dei trascendentali, posta all'inizio del *De Veritate*, I, 1c. Ciò dunque che nella nozione di *res* era l'essenza nella sua potenzialità, composta con l'attualità dello *esse*, che poneva la costituzione metafisica dello *ens* all'intersezione di due causalità (partecipazioni), "trascendentale" dello *esse* e "predicamentale" dell'essenza, nella nozione rinascimentale-moderna di *obiectum* diviene un'essenza nella sua potenzialità puramente mentale. Eventualmente in Dio, come era nelle "buone intenzioni" della Scolastica suareziana, ma senza nessuna necessità logico-ontologica di quest'ultima attribuzione, come da Spinoza in poi diventerà chiaro mediante l'identificazione *Deus sive Natura*, unita a un'esistenza puramente fattuale (il *Dasein* kantiano).

¹² *Ivi*, p.267. Parentesi quadre mie, anche se si tratta di un esempio che subito dopo fa anche Garson.

teoria (cfr. *infra* in §4.4.8 il duplice Assioma di Fondazione Ontologica **AFO**₁₋₂ nella presentazione semi-formale di **RN**).

Alla luce della precedente discussione risulta più evidente dove si trovi la ricchezza (un'ontologia *possibilista*) ed insieme la debolezza (la sua interpretazione *concettualista*) dell'ontologia di **RCN** di Cocchiarella. In effetti, la strategia di definire in forma consistente (non-contraddittoria) differenti tipi di predicazione – concettuale, naturale, distinguendo fra predicazioni di generi e proprietà naturali, etc. – con i relativi operatori modali, basandosi su altrettanti “tagli” dello spazio delle predicazioni possibili in un insieme massimale di Henkin di formule consistenti, conferisce una grande ricchezza espressiva alla semantica dell'ontologia formale di **RCN**. Questa strategia è stata così riassunta da Cocchiarella stesso:

Proprio come un predicato può essere preso come ciò che sta per un concetto, oppure come ciò che sta per una proprietà o una relazione naturali, così una variabile predicativa (argomento di un quantificatore in una logica di ordine superiore al primo, *N.d.R.*) può essere presa come ciò che ha, sia concetti predicabili, sia proprietà o relazioni naturali, come suoi valori. La differenza fra gli universali nell'uno o nell'altro ordine si riflette non in una differenza fra due tipi di costanti o di variabili predicative – dove l'uno sta per concetti e l'altro per proprietà e relazioni naturali –, ma nel genere di referenza (di più alto ordine) espresso mediante opportuni quantificatori predicativi, cioè quantificatori che hanno per argomento variabili predicative e che determinano le condizioni per le quali una costante predicativa può sostituirsi a una variabile predicativa. In questo modo, la differenza è riflessa non in una differenza di variabili, argomento di quantificatori predicativi, ma in una differenza fra i quantificatori predicativi stessi, cioè nei tipi di concetti referenziali per i quali stanno i quantificatori¹³.

È dunque possibile distinguere in **RCN**, ma anche in **RN**, una *doppia significazione*, “naturale” e “concettuale” dello stesso predicato, simbolizzato in una *doppia indicizzazione* dei quantificatori predicativi – ovvero, di quantificatori che hanno per loro argo-

¹³ N. B. COCCHIARELLA, «Predication in conceptual realism», *Axiomathes*, 23 (2013), p. 317.

mento la stessa variabile predicativa, nel loro uso concettuale o naturale, rispettivamente:

1. $(\forall F^j)(\exists x_1, \dots, (\exists x_j)F(x_1, \dots, x_j))$: significato *concettuale* (cioè, il predicato F significa un concetto). I quantificatori sono senza indice, perché la significazione naturale è il *caso normale* nel **RCN**.
2. $(\forall^n F^j) \diamond^c (\exists^e x_1, \dots, (\exists^e x_j)F(x_1, \dots, x_j))$: significato *naturale*. Cioè, \forall^n significa che la variabile predicativa F , argomento del quantificatore, denota una proprietà naturale. \exists^e significa che l'insieme finito di variabili individuali, x_1, \dots, x_j , argomenti del quantificatore, denotano un insieme di enti naturali *attualmente* esistenti. \diamond^c significa che l'operatore modale di possibilità deve essere inteso nel senso *aletico-ontico* di possibilità "causale", *reale* e non *logica*.

In altri termini – ma qui ci riferiamo essenzialmente all'ontologia di **RN** dove quanto qui affermiamo è formalmente giustificato a differenza di **RCN** – dipende da un'appropriata concomitanza causale se il predicato F è soddisfatto da un insieme d'individui attualmente esistenti. Se, per esempio, la F sta per il predicato "essere dinosauro", è evidente che non può essere soddisfatto da alcun individuo attualmente esistente. Al contrario, al tempo in cui era soddisfatto, alcuni milioni di anni fa', nessun individuo attualmente esistente avrebbe potuto soddisfare il predicato "essere lucertola", mentre è un fatto che oggi lo sia. Questo non significa che i dinosauri oggi, come le lucertole ieri, non abbiano il valore di *realtà biologiche*, dato che sono potenzialmente realizzabili in natura, mediante l'appropriato concorso causale. In altri termini, sono ambedue *specie* dello stesso *genere* dei rettili, attualmente esistente in natura sotto differenti specie a tempi diversi. Cioè appartengono a diverse specie perché sono prodotti da diversi concorsi causali, anche se appartengono allo stesso genere, perché condividono qualche comune "antenato", cioè lo stesso concorso causale prima della sua "ramificazione" in due differenti specie.

Questo, invece, non è il caso di animali mitologici come "l'araba fenicia", che sempre risorge dalle sue ceneri. Essa mai, né nel passato, né al presente, né in futuro, potrà essere realizzata in una matrice di possibilità causali, perché ha una natura *mitologica*, e non *biologica*¹⁴. In termini naturalistici, "l'araba fenice" come

¹⁴ Cocchiarella ha sviluppato un'ontologia formale concettualista degli og-

“l’unicorno”, come qualsiasi animale mitologico, sono tutti prodotti di una causalità *mentale* e non biologica.

A questo punto tuttavia, dobbiamo rispecchiare anche nel simbolismo la più profonda differenza già così introdotta fra l’ontologia di **RCN** e quella di **RN**. Infatti, anche nel **RN** noi manteniamo la doppia indicizzazione e dunque la doppia referenza “attualista”, $\langle \forall^e F - \exists^e F / \forall^e x - \exists^e x \rangle$, e “possibilista”, $\langle \forall F - \exists F / \forall x - \exists x \rangle$, dei quantificatori, ma con una differenza radicale. La quantificazione possibilista in **RN** si riferisce a una *potenza causale* e non a una *facoltà concettuale* come in **RCN**, a causa dei due differenti *assiomi di fondazione* dei domini predicativi – “l’assioma di comprensione” non-ristretto, versione concettualista dell’*assioma di specificazione* di ZFC in **RCN**, *versus* allo “assioma di fondazione ontologica” in **RN** – su cui i relativi calcoli logici predicativi sono fondati.

Di conseguenza, sia **RCN** che **RN** mantengono la teoria della doppia significazione (referenza) “naturale” e “concettuale” dello stesso predicato, con la doppia indicizzazione dei relativi quantificatori, dal momento che, come io stesso ho suggerito a Cocchiarella, essa ha un comune antenato nella semantica dell’Aquinata¹⁵. Tuttavia in **RN** – come in Tommaso – il “caso

getti di fantasia che non possiamo discutere qui, anche perché profondamente diversa da quella che potremmo sviluppare nella nostra ontologia di **RN**. Cfr. COCCHIARELLA, *Formal Ontology*, cit., pp. 163-66.

¹⁵ Cocchiarella, in effetti, cita gentilmente me e il mio saggio (Cfr. COCCHIARELLA, *Formal ontology*, cit., p.275, n.3 e GIANFRANCO BASTI, «Analogia, ontologia e problema dei fondamenti», in *Analogia e autoreferenza*, Marietti 1820, Milano-Genova, 2004, pp. 159-236), riconoscendo come la doppia significazione ha nell’Aquinata il suo predecessore nella teoria della predicazione categoriale *in prima et secunda intentione*. Una teoria che si opponeva nel Medio Evo a quella di Pietro Abelardo (1079-1142) della *doppia esistenza* degli universali nella realtà naturale e nella mente umana, ripresa nell’età moderna nella dicotomia ontologica della fenomenologia fra l’ordine *intenzionale* della coscienza e l’ordine *naturale*. Dove Tommaso ed io non siamo d’accordo con Cocchiarella è nella primazia dell’ordine concettuale sui quello naturale. Infatti, ciò che per Tommaso viene significato *in prima intentione* è l’oggetto/proprietà naturali, mentre *in secunda intentione* viene significato l’oggetto/proprietà concettuale o mentale. Formalizzando in **RN** vedremo che non si tratta di una differenza da poco, ma fa riferimento ad una pro-

normale" è la predicazione *naturale* non quella *concettuale*. Così la quantificazione senza indice $\langle \forall F- \exists F / \forall x- \exists x \rangle$, si riferisce in **RN** alla predicazione *naturale*, mentre è necessaria un'appropriata indicizzazione in *m* – che sta per "mentale" e cioè $\langle \forall^m F- \exists^m F / \forall^m x- \exists^m x \rangle$ – per la relativa predicazione *concettuale*, basata, naturalmente, su un'appropriata forma di causalità naturale che caratterizza l'agente cognitivo umano, quella *mentale*, quella dell'*intellectus* nella terminologia di Tommaso.

2.2. La pretesa rilevanza cosmologica dell'ontologia del RCN e il suo limite concettualista

Ciò che rende interessante **RCN** è la sua pretesa di fornire l'ontologia formale della Meccanica Quantistica (QM) e quindi l'ontologia adatta al *cambio di paradigma* legato alla cosmologia evolutiva contemporanea. Infatti, la sua ontologia possibilista potrebbe applicarsi ai diversi generi di oggetti fisici e/o biologici che sono solo *potenzialmente esistenti* nel concorso delle cause naturali all'interno di uno dei possibili universi. In questo modo, siffatti generi e i suoi membri possono essere resi attualmente esistenti o attualmente estinti (cioè resi di nuovo solo potenzialmente esistenti) in differenti celle spazio-temporali, all'interno dell'universo – o, addirittura, all'interno di un dato universo entro la generale evoluzione del multi-verso.

Questa però è solo una pretesa dichiarata, ma non fondata nel **RCN**, a causa del suo pregiudizio concettualista che indebolisce intrinsecamente l'ontologia di **RCN** e il suo uso degli operatori modali causali, $\langle \Box^c / \Diamond^c \rangle$, che sono di fatto degli arbitrari (ipotetici) "tagli" nello spazio delle infinite possibilità della sua LMQ concettualista. Cocchiarella è perfettamente conscio di questa intrinseca limitazione del suo **RCN**, ma il pregiudizio moderno concettualista che lega indissolubilmente concettualismo e possibilismo non sembra a lui lasciare alcuna via di scampo. Ecco cosa dice Cocchiarella al riguardo, sull'impossibilità che possa esistere un **RN** non concettualista:

A tal proposito, non vi è alcun principio generale di compren-

fonda diversità rispetto al calcolo logico e dunque all'ontologia soggiacenti a **RN** e a **RCN**.

sione che è valido nel realismo naturale (RN) nel modo in cui il Principio di Comprensione (CP_λ)¹⁶ è valido nel realismo concettuale naturale (RCN). Le proprietà e le relazioni naturali non sono formate o costruite a partire da altre proprietà e relazioni per mezzo di operazioni logiche. Ma questo non significa che nessuna proprietà o relazione naturale possa essere specificata nei termini di una formula complessa, cioè una formula in cui compaiono costanti logiche. Questo significa che una siffatta specificazione non può essere validata solo su basi logiche, ma deve essere presa come *un'ipotesi contingente* sul mondo¹⁷.

Tesi fondamentale del nostro lavoro è dimostrare, invece, che in RN è possibile definire un "assioma di specificazione" – quello che Cocchiarella, con una terminologia oramai obsoleta, chiama "principio generale di comprensione" in ZFC. Infatti, è molto difficile accettare che un'ontologia formale di RN possa essere basata su un *posit ipotetico*. Com'è possibile, in altri termini interpretare come "ipotesi" le strutture formali di un calcolo logico? Le ipotesi possono riguardare al massimo i *modelli empirici*, cioè le interpretazioni di un calcolo formale su un determinato *dominio di misure*. Quando parliamo però di "ontologia formale" i modelli cui facciamo riferimento nella sua *semantica formale* non possono essere empirici, ma fondati su procedure altrettanto formali di *costruzione e/o deduzione*. Ed è altrettanto chiaro che, per un'ontologia formale che pretende di essere quella di una *cosmologia evolutiva* la procedura al riguardo non può che essere *costruttiva*, capace cioè di fondare causalmente l'emergenza di generi di entità sempre più complesse nell'uni-(multi-)verso fisico, a partire da altre più semplici e meno complesse. È evidente perciò che quella di RCN *non può essere* un'ontologia formale dell'attuale cosmologia evolutiva.

In sintesi, ciò che manca in RCN è un principio formale di *co-*

¹⁶ Cioè, il classico assioma di comprensione nella sua formulazione "non ristretta" all'interno della teoria degli insiemi di Zermelo-Fraenkel con Assioma di Scelta (ZFC), arricchita dell'operatore λ di Church per connettere le variabili in ciò che vengono definiti i cosiddetti oggetti λ -astratti, corrispondenti, in questa logica che è quella usata da Cocchiarella nel suo RCN, a ciò che, cognitivamente, chiamiamo "concetti".

¹⁷ COCCHIARELLA, *Formal Ontology*, cit., p. 280.

struzione di proprietà e relazioni naturali a partire da altre più fondamentali, più semplici e generali, ovvero una sorta di “calcolo formale ontologico”, effettivamente un *principio formale costruttivo di domini di relazioni causali* e non logiche. Una siffatta limitazione è consistente anche con l’altro *posit* tipico del RC e quindi del RCN, secondo il quale, differentemente dal realismo logico e dall’atomismo logico (AL) nessun *principio di rigidità (PR)*, nessun principio di identità “per tutti i mondi possibili”, è giustificabile nel RC e nel RCN. Dove, usando le stesse parole di Cocchiarella, **PR** può essere definito come “la *stipula* che una data proprietà F è coestensiva a tutti i mondi possibili” dell’universo W di una determinata semantica e/o ontologia formali. Ovvero,

$$\mathbf{PR}: \quad \Box(\forall F)(\exists G)\left(\text{Rigid}(G) \wedge (\forall x_1) \dots (\forall x_j) \left[F(x_1 \dots x_j) \leftrightarrow G(x_1 \dots x_j) \right] \right)$$

Questa impossibilità nel RCN è un’altra conseguenza dell’impossibile coesistenza nel RCN della Logica Modale (LM) **KT4 (S4)**, intesa in RCN come LM degli operatori modali causali (ontologia fisica), con la LM **KT5 (S5)** della ontologia metafisica, supposta da **PR**. In altri termini, un’ontologia formale adatta a un realismo modale naturale, capace di confrontarsi con la cosmologia evolutiva estesa all’evoluzione delle medesime leggi fisiche, parallela alla progressiva emergenza di generi di oggetti fisici (classi di equivalenza) che esse regolano, ha bisogno di una versione causale di **PR**, diciamo **PR^c**. Esso sarà basato su un *principio di stipulazione causale*, fondato a sua volta su una particolare relazione di accessibilità R fra mondi possibili che soddisfi alle proprietà formali di una relazione di stipulazione S (intransitiva-asimmetrica-ariflessiva, cfr. § 4.4), che consente un annidamento, secondo una struttura “arborea”, quella degli “alberi evolutivi”, degli operatori modali causali e dei relativi quantificatori, ovvero:

$$\Box_n^c / \Diamond_n^c \text{ e } \forall_n / \exists_n \text{ con } n \geq 0$$

Tutto questo consente lo sviluppo di una gerarchia di sistemi **S5 secondari (= KD45 annidati)** e quindi di **PR^c stratificati**, dunque un “principio di rigidità stratificato” (**PRS**) (cfr. §4.5.2), evidentemente usando una LM costituita di **KD45 annidati** secondo, però, un’interpretazione *ontica*, e non usualmente deontica e/o epistemica della LM **KD45**. In tal caso, il **PRS** equivalente al **PR** del realismo logico (e/o dello AL), è il **PRS** di livello fondamentale $\langle n = 0 \rangle$, ovvero il livello propriamente *metafisico*, dei *summa*

genera o delle categorie metafisiche. Esse includono causalmente (e non logicamente), attraverso un appropriato *assioma di fondazione ontologico* (AFO₁₋₂, vedi § 4.4), tutti gli altri livelli di generi naturali (generi/specie) di enti fisici sempre più complessi, appartenenti a livelli ontologici di necessità/universalità sempre meno inclusivi. Dal punto di vista della semantica formale, è chiaro che qui siamo di fronte a una semantica di mondi possibili di *ordini superiori al primo*, e non del solo *primo ordine*, come quella originaria di Kripke.

Cocchiarella ha dunque ben ragione nel concludere la sua analisi del PR affermando che “la necessità/possibilità fisiche non sono le stesse della necessità/possibilità metafisiche” (*ivi*, p.133). Dove noi non siamo per nulla d'accordo con lui, è nella sua ulteriore affermazione che solo il realismo logico e dunque S5 può fornire alla metafisica una LM adeguata. Infatti, è evidente che il realismo logico, e in particolare la sua versione naturalista dello AL, costituisce l'ontologia formale della fisica newtoniana-galileiana, nella misura in cui essa può essere considerata una sorta di “conferma empirica” della metafisica platonica, contro il naturalismo della metafisica aristotelica, come ha affermato A. V. Koyré nella sua famosa ricostruzione storica delle origini della fisica moderna¹⁸.

È, invece, altrettanto evidente che l'attuale cosmologia evolutiva costituisce un cambio proprio nel paradigma newtoniano di scienza moderna. La nostra tesi è che l'ontologia formale di RN, per mezzo del principio costruttivo della “stipulazione causale annidata” di un uni-(multi-)verso di mondi possibili, può essere la metafisica appropriata – la metafisica della partecipazione dello *esse* come evoluzione “necessaria” dell'altrimenti aporetico naturalismo aristotelico – di un siffatto nuovo paradigma nella cosmologia moderna.

Vedremo, in particolare nella conclusione di questo lavoro, come la medesima struttura formale può applicarsi, sia a una ontologia della causalità *fisica* universale, sia a un'ontologia *metafisica della causa prima*. Nel primo caso, supponendo un sostrato materiale comune a tutti gli enti fisici, tale causalità costituisce il fondamento dell'articolazione generi-specie (essenze) degli enti naturali, secondo uno schema prettamente aristotelico – quella

¹⁸ Cfr. A. V. KOYRÉ, *Studi galileiani*, trad. di Maurizio Torrini, Einaudi, Torino, 1976 (1939).

che Cornelio Fabro definiva come *partecipazione predicamentale*. Nel secondo caso, l'azione causale riguarda lo stesso *sostrato materiale*, costituendo così il fondamento della totalità del reale, secondo lo schema delle prime quattro vie all'esistenza di Dio, quelle che non supponendo la natura intelligente della Causa Prima. In una parola, quella che Fabro definiva come *partecipazione trascendentale dello "esse"*. Ciò che è meraviglioso di questo approccio è che, essendo la LM di RN un sistema **KD45 annidato**, esso, oltre ad una interpretazione ontica quale quella qui offerta, ha una naturale interpretazione deontica.

Nei termini di Tommaso, che commenteremo nella conclusione di questo saggio (cfr. §5), la causalità fisica nei processi di generazione (educazione) di forme, o "causalità formale" del *propter quid* ha la medesima struttura della "causalità intenzionale" del *quod debeat esse* e quindi del *propter finem*, o "causalità finale". Insomma, quella conclusione delle prime quattro vie che distingue fra "causa prima" e il *quod dicunt esse Deum* che, viceversa, è la supposizione da cui parte la quinta – cioè la supposizione che la Causa Prima sia "intelligente" –, ha una giustificazione formale diretta nell'ontologia di RN che rende giustizia alla genialità di Tommaso. In tal modo, si può porre fine alla stucchevole contrapposizione ideologica fra "evoluzionismo" e "finalismo" che in questi ultimi decenni, con l'affacciarsi dell'ipotesi del "multiverso", si è estesa dalla biologia, all'intera cosmologia evolutiva. D'altra parte è Tommaso stesso – oltre che nella modernità Leibniz – a rivendicare la possibilità che l'azione creatrice divina non debba essere necessariamente limitata all'universo attuale.

Cerchiamo dunque di vedere quali sono le tesi teoreticamente più rilevanti per i nostri scopi della cosmologia evolutiva e del cambio di paradigma nella scienza moderna che essa comporta, rispetto all'originario paradigma newtoniano.

3. UN CAMBIO DI PARADIGMA NELLA FISICA FONDAMENTALE

3.1. "La cosmogonia è la legislatrice della fisica?"

Forse ai più ancora sfugge che in questi anni stiamo vivendo un profondo cambio di paradigma nella fisica fondamentale lega-

to soprattutto al probabile destino infausto delle cosiddette *teorie di supersimmetria*. Ultimamente, però questa vicenda sta uscendo dalla torre d'avorio dei fisici teorici e sta raggiungendo il livello divulgativo. Infatti, la più prestigiosa rivista di divulgazione scientifica al mondo, *Scientific American*, è uscita nel numero di maggio 2014 con una copertina che è tutta un programma dal titolo volutamente drammatico: *Una crisi in fisica. Se la supersimmetria non va avanti, gli scienziati hanno bisogno di una nuova strada per spiegare l'universo*, con l'articolo principale dal titolo "Supersimmetria e la crisi in fisica"¹⁹. In sintesi il problema consiste nel fatto che, alle alte energie raggiunte da LHC (*Large Hadron Collider*) al CERN di Ginevra e che hanno portato a una prima conferma sperimentale dell'esistenza della "particella di Higgs", non abbiamo trovato traccia alcuna delle particelle supersimmetriche previste dalla versione cosiddetta "naturale" delle teorie di supersimmetria. La speranza dei fisici teorici è che, attraverso l'aggiornamento attualmente in corso di LHC per portarlo alla sua massima potenza – probabilmente la più alta mai raggiungibile con una simile tecnologia di acceleratore – si possano trovare queste prove sperimentali attualmente mancanti. Il dubbio, però, serpeggia.

Ciò che gli autori dell'articolo non dicono, ma solo insinuano dipingendo in forma drammatica la situazione di "instabilità dell'universo" che deriverebbe da una simile falsificazione sperimentale, probabilmente definitiva, dell'ipotesi matematica della supersimmetria, è che in tal caso bisogna rivedere i fondamenti stessi della fisica teorica, abbandonando una volta per sempre l'approccio epistemologico rappresentazionale kantiano e ontologico platonico che soggiace all'approccio newtoniano-galileiano di tutta la fisica moderna. Quell'approccio, cioè, che lega la stabilità dei sistemi fisici, universo incluso, all'*immutabilità delle leggi matematiche della fisica* – chi non ricorda il mitico, appunto, detto kantiano de "il cielo stellato sopra di me..." – per muoversi nella direzione di un approccio epistemologico realista e ontologico aristotelico, che fonda la stabilità relativa dei sistemi fisici e quindi la stessa esistenza delle sue leggi matematiche ad un *concorso causale*. Se vogliamo, ad una spiegazione *dinamica* dell'esistenza dell'universo e delle sue leggi.

¹⁹ Cfr. J. LYKKEN E M. SPIROPULU, «Supersymmetry and the crisis in physics», *Scientific American*, 310 (2014), 34-39.

Questo è il cuore di un'approccio basato sulla QFT e non sulla QM alla fisica fondamentale e che, a livello cosmologico – e non solo a livello macroscopico con tutta l'enorme mole di conferme sperimentali nella fisica dei materiali e non solo a livello microscopico con la scoperta della particella di Higgs e la conferma del cosiddetto *modello standard* – potrebbe aver ricevuto un'altra, epocale conferma sperimentale, avvenuta anch'essa recentemente, con la scoperta delle tracce di "onde gravitazionali" nella radiazione cosmica di fondo a microonde (CMBR, *Cosmic Microwave Background Radiation*)²⁰.

La scoperta, annunciata da John Kovac del Centro di Astrofisica dello Harvard-Smithsonian Center e dal suo gruppo nel marzo 2014, è stata fatta usando il telescopio BICEP2 (*Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization*, 2) in Antartide, finalizzato a trovare fenomeni di polarizzazione-B nella "luce" della CMBR, cioè delle "increspature" dovute a delle "torsioni" del campo elettromagnetico in essa, che potrebbero derivare solo dall'effetto di distorsione sullo spazio-tempo dell'universo da parte del campo gravitazionale prodotto dall'energia del vuoto (cfr. §3.2). Ovvero, delle "onde gravitazionali", generate durante la cosiddetta "inflazione primordiale", ben prima dell'esistenza della CMBR stessa, prima cioè che l'universo potesse cominciare ad irradiare energia elettromagnetica, circa 380.000 anni dopo il "big-bang". Tale scoperta è stata resa possibile puntando BICEP2 su particolari zone della CMBR, candidate a mostrare fenomeni di polarizzazione-B, grazie alle mappe straordinariamente precise della CMBR che il progetto europeo "Planck" ha reso disponibili. Tale scoperta, però, è troppo recente per essere accettata come definitiva dalla comunità dei fisici. Essa ha, ovviamente, bisogno di altre conferme sperimentali, come si sottolinea anche al termine del citato articolo di Cowen, a partire dal confronto con le altre "mappe di polarizzazione della luce" della CMBR ottenute dallo stesso progetto "Planck", ad oggi (Maggio 2014) non ancora rese pubbliche, e che, dunque, Kovac e il suo gruppo non hanno potuto consultare, al tempo delle loro osservazioni²¹.

²⁰ Cfr. R. COWEN, «Telescope captures view of gravitational waves», *Nature*, 507 (2014), 281-83.

²¹ Di tali ulteriori conferme dalle non ancora disponibili "mappe di polarizzazione" di Planck, mi ha parlato recentemente, in una comunicazione privata, uno dei protagonisti di questa vicenda. Si tratta del fisico italiano

D'altra parte questa scoperta, se doppiamente confermata dalle osservazioni di Kovac e/o dalle nuove "mappe di polarizzazione" di Planck, provocherebbe un vero e proprio "terremoto" in fisica teorica, o per dirla con le scherzose parole di Max Tegmark del MIT di Boston, delle "pulizie di primavera" – la scoperta di Kovac, ripetiamo, è stata pubblicata nel Marzo 2014 – nel campo dei modelli di cosmologia teorica attualmente disponibili, visto che, secondo Tegmark, "quasi tutte verrebbero eliminate"²². Per esempio, verrebbe eliminata l'ipotesi dell' "universo ciclico" formulata negli scorsi anni da Paul Steinhardt, del Dip. Di Fisica della Università di Princeton – un altro amico, che venne a presentare la sua teoria, prima ancora della pubblicazione del suo libro²³, nel 2002 in un convegno da me organizzato alla PUL²⁴ –, anche se, come egli stesso ha affermato, non è detto che una correzione della teoria non potrebbe portare a giustificare nel suo modello la produzione della radiazione gravitazionale oggetto della scoperta. Viceversa, tale scoperta confermerebbe l'ipotesi cosmologica della cosiddetta "inflazione caotica" formulata trent'anni fa' da Andrei Linde dell'Università di Stanford, uno

– e amico – Enrico Bersanelli del Dip. Di Fisica dell'Università di Milano, inventore e realizzatore dello strumento di osservazione a bassa frequenza montato sul satellite del Progetto Planck, cui si deve l'eccezionale precisione delle misurazioni della CMBR che Planck ha ottenuto. Egli mi ha confermato che tali verifiche ulteriori delle rilevazioni di BICEP2 sono in corso proprio in questi mesi.

²² Questo e i successivi commenti sulla scoperta di Kovac derivano da interventi pronunciati in un Convegno al MIT, convocato il giorno dopo l'annuncio della scoperta di Kovac, per commentare l'evento. Cfr. RON COWEN, «Gravitational-wave finding causes 'spring cleaning' in physics. Big Bang findings would strengthen case for multiverse and all but rule», in *Nature | News* <<http://www.nature.com/news/gravitational-wave-finding-causes-spring-cleaning-in-physics-1.14910>> [accessed 18 April 2014].

²³ P. J. STEINHARDT E N. TUROK, *Endless Universe: beyond the big bang*, Doubleday, New York, 2007.

²⁴ Il testo dell'intervento di Steinhardt è disponibile online. Cfr., PAUL STEINHARDT, «The endless universe. A brief introduction to the cyclic universe», in *IRAFS Portal* <http://www.irafs.org/irafs_1/cd_irafs02/texts/steinhardt.pdf> [accessed 18 April 2014]

dei fondatori, insieme con lo stesso Steinhardt, della “teoria dell’inflazione”, ma dove appunto, a differenza del modello di Steinhardt, la produzione delle onde gravitazionali era prevista.

Non sarebbero, invece, eliminate le cosiddette “teorie di stringa”, ma come ha sottolineato la fisica teorica della Stanford Eva Silverstein e lo stesso Linde ha confermato, essa avvantaggerebbe alcune di queste teorie, compatibili con questo tipo di fenomeni. In ogni caso, la scoperta delle “onde gravitazionali” proverebbe sperimentalmente, per la prima volta, che la stessa forza gravitazionale ha un’origine quantistica dalla QFT – la cosiddetta “gravità quantistica” –, oltre che fornire un’ulteriore prova sperimentale della cosiddetta “teoria dell’inflazione primordiale” di cui la stessa esistenza della CMBR costituisce ad oggi la prova osservativa fondamentale. L’inflazione primordiale sarebbe avvenuta 10^{-37} secondi dopo il “big bang”, ad energie dell’ordine di 10^{16} gigaelettronvolt, le energie in cui le tre forze quantistiche fondamentali – le due “nucleari”, l’energia “forte” e l’energia “debole”, e l’energia “elettromagnetica” – erano indistinguibili, così che la scoperta delle “onde gravitazionali” nella CMBR aprirebbe una finestra in energie che sono “tre trilioni di volte” (3×10^{12} , 3 mila miliardi o 3 milioni di milioni) maggiori di quelle accessibili mediante LHC, le energie che hanno portato alla scoperta della “particella di Higgs”.

Ovviamente, la scoperta delle onde gravitazionali e del ruolo chiave dell’energia del vuoto per la teoria della gravitazione quantistica, avrebbero un’altra vittima illustre in cosmologia teorica. Le già ricordate teorie di super-simmetria, visto che la scoperta delle onde gravitazionali confermerebbe l’ipotesi alternativa del multiverso, almeno nella versione di Linde degli “universi paralleli”, nell’attesa che Steinhardt fornisca la promessa integrazione del campo gravitazionale del vuoto, nella sua teoria “seriale” del multiverso, quella dello “universo ciclico”.

La mancata scoperta delle particelle supersimmetriche in LHC, se confermata anche dopo l’upgrade di LHC – che ridurrebbe di un ordine di grandezza 10^{11} , invece di 10^{12} , il suo *gap* dalla finestra sulle altissime energie che la scoperta delle onde gravitazionali nella CMBR ha aperto – farebbe, però, una vittima ancora più illustre dal punto di vista dell’ontologia fisica. Si tratta, come accennato più sopra, della visione moderna, newtoniana-platonica, della natura. Una visione dove la stabilità dell’universo deriverebbe dall’universalità immutabile (assolutezza) delle leggi matematiche della fisica, *a priori*, rispetto

all'esistenza dell'universo stesso e alla sua evoluzione.

Nel nuovo quadro, invece, la stabilità dell'universo sarebbe una *meta-stabilità*. Deriverebbe, cioè, da un valore di soglia fra stato stabile e instabile dell'universo e avrebbe dunque un carattere di *contingenza*. Da un punto di vista ontologico, sarebbe legata, cioè, a quella forma di "causalità universale" legata all'"energia del vuoto", nel quadro teorico della QFT. Di questa contingenza il già citato articolo di *Scientific American* fornisce una evidenza volutamente "drammatizzata", anche se, sostanzialmente esatta attraverso il seguente grafico – con uno scopo divulgativo, chiaramente.

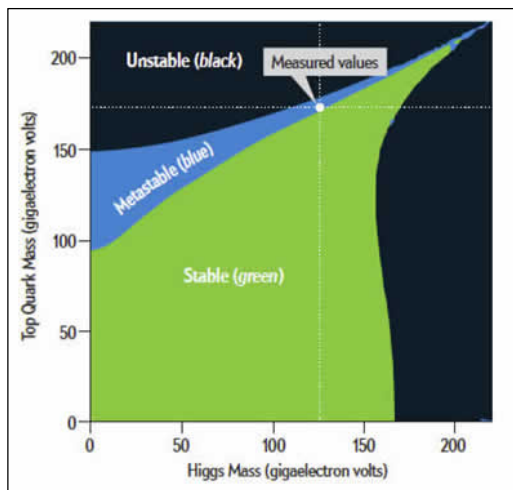


Figura 1

Come si vede, la massa relativa al bosone di Higgs è stata misurata a un valore di circa 130 GeV che, se combinata alla massa del quark top fa sì che il campo relativo di Higgs non sia completamente stabile, ma *metastabile*. Ciò significa che le fluttuazioni dell'energia del vuoto potrebbero farlo decadere a energie più basse, il che annichilirebbe l'attuale universo. La drammatizzazione giornalistica consiste nel fatto che, in ogni caso, questo non potrebbe avvenire se non fra alcuni miliardi di anni. Viceversa, se la supersimmetria fosse vera questo stabilizzerebbe il campo di Higgs.

Credo che tutto questo esemplifichi al meglio cosa significa

avere una fisica in cui la stabilità è legata all'immutabilità *logica* delle leggi matematica della fisica – il "cielo stellato di Kant" –, e una fisica in cui la stabilità è legata alla *contingenza* di una causalità fisica – quella universale dell'energia del vuoto –, ovvero per sintetizzare con l'espressione tommasiana di questa contingenza, al concorso di cause fisiche *per sé necessarie* a che un determinato effetto accada e sia stabile nel tempo, ma *in sé contingenti*, in quanto quelle cause potrebbero essere impedito, prima o dopo, dal concorso di altre cause. Tutto questo è formalizzato nella nostra ontologia di RN, come vedremo più sotto.

Così, forse la sintesi migliore dell'attuale cambio di paradigma nella fisica fondamentale è la risposta positiva alla questione formulata nel titolo di questa sotto-sezione. Essa, infatti, era il titolo di un saggio che anticipava di molto gli attuali sviluppi, scritto nel 1975 da J. A. Wheeler and C. M. Patton e pubblicato nel primo dei volumi di una serie fortunata della Università di Oxford sulla cosiddetta "gravità quantistica", di cui ci siamo occupati finora²⁵.

Questa rivoluzione si è, di fatto, sviluppata negli scorsi decenni a partire dal cosiddetto "approccio informazionale" (*information theoretic approach*) alla fisica quantistica, controparte di una ontologia duale che considera l'energia e l'informazione come due grandezze fisiche fondamentali in fisica e cosmologia – o, per essere più esatti, concepisce l'informazione come composta da una duplice componente reciprocamente irriducibile, *energia* e *ordine*, come vedremo. Il collegamento teorico con quanto detto finora deriva dal fatto che come amava dire Einstein, in una fisica dove non esiste "impredicibilità" non esisterebbe neanche "sorpresa", e quindi non ha alcun senso distinguere fra "energia" e "informazione". Un evento, se completamente, predicibile non aggiunge informazione alle condizioni iniziali rispetto a cui era stato calcolato, proprio come in matematica, un teorema rispetto ai suoi assiomi.

Così, l'approccio informazionale alla fisica quantistica è cominciato con l'idea di R. Feynman che tutta la fisica potrebbe essere simulata da un calcolatore quantistico²⁶, sintetizzato nel

²⁵ Cfr. C. M. PATTON e J. A. 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.

²⁶ Cfr. R. FEYNMAN, «Simulating physics with computers», *Int. J. Theor. Phys.*, 21 (1982), 467-488.

famoso principio ontologico dello *it from bit* del maestro e mentore di Feynman, il già citato J. A. Wheeler²⁷. Le successive pietre miliari dello sviluppo di questo approccio sono, innanzitutto, la dimostrazione da parte di D. Deutsch dell'universalità delle computazioni di una Macchina di Turing Quantistica (MTQ)²⁸, e quindi lo sviluppo da parte di C. Rovelli di una *teoria relazionale* della MQ, dove si afferma esplicitamente che l'informazione trattata dalla MQ è *informazione di Shannon*, puramente statistica e quindi *sintattica*²⁹. Una rassegna aggiornata degli sviluppi di un siffatto approccio informazionale alla fisica fondamentale può trovarsi nel recente volume collettivo curato da H. Zenil³⁰, con contributi, fra gli altri, di R. Penrose, C. Hewitt, G. J. Chaitin, F. A. Doria, E. Fredkin, M. Hutter, S. Wolfram, S. Lloyd, oltre lo stesso D. Deutsch.

Dell'approccio informazionale alla fisica fondamentale ne esistono comunque diverse versioni³¹ che possiamo ridurre sostanzialmente a due:

1. La prima è relativa al classico approccio "infinetico", proprio della *fisica matematica*, alla nozione di informazione nella QM. Tipico di questo approccio è il concetto di *evoluzione unitaria* della funzione d'onda, con la connessa *infinita quantità d'informazione* che essa conterrebbe, resa disponibile in differenti localizzazioni spazio-temporali della storia dell'universo dal meccanismo della *decoerenza* della funzione d'onda. Ogni sistema fisico esistente deriverebbe così da una particolare decoerenza attraverso l'interazione della funzione d'onda con l'ambiente. Infine, essenziale per quest'approccio è di supporre l'esistenza di un *osservatore esterno* (*information for whom?*)

²⁷ Cfr. J. A. WHEELER, «Information, physics, quantum: The search for links», in *Complexity, entropy, and the physics of information*, a cura di W. H. ZUREK, Addison-Wesley, Redwood City, CA, 1990, p. 75.

²⁸ Cfr. D. DEUTSCH, «Quantum theory, the Church-Turing principle and the universal quantum computer», *Proc. R. Soc. Lond. A*, 400 (1985), 97-117.

²⁹ Cfr. C. ROVELLI, «Relational quantum mechanics», *Int. J. Theor. Phys.*, 35 (1996), 1637-1678.

³⁰ Cfr. *A computable universe. Understanding and exploring nature as computation. Foreword by Sir Roger Penrose*, a cura di H. Zenil, World Scientific Publishing, Singapore-Hackensack, NJ-London, 2013.

³¹ Per una lista aggiornata, cfr. C. FIELDS, «If Physics Is an Information Science, What Is an Observer?», *Information*, 3 (2012), 92-123.

per la fondazione della nozione e della misura d'informazione che è considerata, sì una grandezza fondamentale, ma non generata *dinamicamente* dalla realtà fisica, bensì dalla preparazione della misura quantistica che si sta operando. Per dirlo nei termini della nostra tassonomia delle possibili ontologie, ci muoviamo nell'ontologia *concettualista* tipica dell'epistemologia newtoniana e kantiana alla scienza moderna. L'informazione in QM si riduce così alla nozione e alla misura d'informazione di Shannon, puramente *sintattica*, com'è dimostrato da Rovelli nel succitato saggio. Fra i rappresentanti più significativi di questo approccio infinitistico all'evoluzione unitaria della funzione d'onda, che ricorda molto da vicino la metafisica spinoziana della natura, vorrei qui citare solo il fisico tedesco H. D. Zeh³² e il fisico svedese, insegnante al MIT di Boston, M. Tegmark³³.

2. Il secondo approccio, quello oggi emergente, è di tipo "finitistico", basato su una fondazione *matematico-fisica* (non *fisico-matematica*) della nozione e delle misure d'informazione³⁴, presa come una grandezza fisica fondamentale generata *dinamicamente* mediante il meccanismo delle infinite Rotture Spontanee di Simmetria (RSS) del "vuoto quantistico" (VQ) e dove, dunque, gioca un ruolo-chiave il III Principio della Termodinamica. Questo approccio è dunque legato essenzialmente alla QFT e non alla QM, anche per la possibilità che la prima offre, a differenza della seconda, di abbracciare in unico, coerente, quadro teorico, legato appunto al principio della RSS del VQ, campi che vanno dal microfisico, al macrofisico fino al cosmologico³⁵.

³² Cfr. H. D. ZEH, «Wave function: 'it' or 'bit'?», in *Science and Ultimate Reality*, a cura di JOHN D. BARROW, PAUL C. W. DAVIES E CHARLES L. HARPER JR. , Cambridge UP , Cambridge, MA, 2004, pp. 103-20; ID., «Quantum discreteness is an illusion», *Foundations of Physics*, 40 (2010), 1476-93.

³³ Cfr. specialmente: M. TEGMARK, «How unitary cosmology generalizes thermodynamics and solves the inflationary entropy problem», *Phys. Rev. D*, 85 (2012), 123517 <<http://arxiv.org/pdf/1108.3080.pdf>>.

³⁴ Cfr. P. DAVIES, «Universe from bit», in *Information and the nature of reality. From physics to metaphysics.*, a cura di P. DAVIES E N. H. GREGERSEN , Cambridge UP , Cambridge, 2010, pp. 65-91.

³⁵ M. BLASONE, P. JIZBA E G. VITIello, *Quantum field theory and its macroscopic manifestations. Boson condensation, ordered patterns and topological defects* ,

3.2. Dalla QM alla QFT in fisica fondamentale

La novità della QFT, rispetto non solo alla QM, ma all'intera fisica moderna, è la nozione di VQ che abbiamo già incontrato più volte discutendo delle "onde gravitazionali" che la sua energia produrrebbe, fondamentale in QFT, e che costituisce il vero ponte fra fisica quantistica e fisica classica, un ponte che la QM non è in grado di giustificare. La nozione di VQ è, infatti, l'unica possibile spiegazione a livello fondamentale, microscopico, del *terzo principio della termodinamica*, in genere formulato come segue: "l'entropia di un sistema si avvicina ad un valore costante nella misura in cui la temperatura si approssima allo zero". Di fatto fu il chimico Walter Nernst, per questo insignito del Premio Nobel, a scoprire che per una data mole di materia – effettivamente un insieme di un numero di Avogadro di molecole o di atomi – per temperature assolute vicine allo 0 assoluto in gradi Kelvin (-273°C), T_0 , se la connessa variazione di entropia ΔS non raggiungesse un valore costante, acquisirebbe un valore infinito (si dividerebbe per 0). Infatti:

$$\Delta S = \int_{T_0}^T \frac{\partial Q}{T} = \int_{T_0}^T C \frac{dT}{T} = C \ln \frac{T}{T_0}$$

Dove Q è la quantità di calore trasferita al sistema e C è la capacità calorica della mole, cioè la quantità totale di energia che bisogna fornire alla mole per incrementare di un grado la sua temperatura. Nernst ha così dimostrato che se si vuole evitare questa catastrofe, occorre supporre che C non è costante, ma si annulla nel limite $T \rightarrow 0$, come T^3 , così da rendere ΔS finita come ha da essere. Ciò significa però che vi è una non-corrispondenza fra la variazione del contenuto di energia di un corpo e il supplemento di energia dall'esterno. Possiamo evitare questo paradosso se si suppone che questa misteriosa sorgente "interna" di energia sia il vuoto – di qui il concetto di "energia del vuoto". Esiste cioè un'inevitabile fluttuazione dei costituenti elementari della materia, così che lo 0°K (-273°C) assoluto non possa essere mai raggiunto. La conclusione è che *non possiamo più concepire alcun corpo fisico come isolato*.

Il VQ diviene un ponte che connette fra di loro tutti gli oggetti. Non può esistere alcun corpo isolato, così che l'attore fondamentale in fisica non è più l'atomo, ma il campo, cioè le distribuzioni nello spazio di atomi che variano nel tempo. Gli atomi divengono "i quanti" di questo campo di materia, allo stesso modo che i fotoni sono i quanti del campo elettromagnetico³⁶.

Per questa scoperta, che elimina una volta per sempre dall'ontologia della fisica moderna la nozione di "corpi inerti isolati" della meccanica newtoniana, Walter Nernst è un chimico che è uno dei fondatori della fisica quantistica moderna. Di fatto, invero, nella letteratura corrente la nozione di VQ non è considerata come propria della QFT, ma appare normalmente in testi di QM, come se fra QM e QFT non vi fosse alcuna differenza fondamentale. Viceversa, dal punto di vista teorico, esiste una profonda differenza fra i due approcci

Il cuore teorico di tale differenza può essenzialmente ridursi alla critica del pregiudizio, ancora imperante fra la stragrande maggioranza dei fisici e quindi nell'opinione pubblica dell'interpretazione della QFT come una "seconda quantizzazione" rispetto alla QM. Ciò fa sì che si continui a parlare di QM anche quando, di per sé, si fa riferimento a nozioni proprie della QFT. Questa lettura della QFT è, però, inconsistente perché in QFT *non vale* il classico teorema di Stone-Von Neumann³⁷, che è invece alla base della QM. Questo teorema afferma che, per sistemi con un numero finito di gradi di libertà, il che è sempre vero per sistemi della QM, le rappresentazioni delle relazioni di commutazione canoniche sono tutte *unitariamente equivalenti l'una rispetto all'altra*, così da giustificare l'uso esclusivo dell'informazione di Shannon nella QM – le differenze fra elementi equivalenti possono essere solo sintattiche, mai semantiche.

Viceversa³⁸, nei sistemi della QFT i gradi di libertà non sono finiti, "quindi esistono infinite rappresentazioni non-equivalenti

³⁶ E. DEL GIUDICE, R. PULSELLI E E. TIEZZI, «Thermodynamics of irreversible processes and quantum field theory: an interplay for understanding of ecosystem dynamics», *Ecological Modelling*, 220 (2009), 1876.

³⁷ JOHN VON NEUMANN, *Mathematical foundations of quantum mechanics*, Princeton UP, Princeton, NJ, 1955.

³⁸ Cfr. BLASONE, ET. AL., *Quantum field theory*, cit., pp. 18. 53-96.

delle relazioni canoniche di commutazione (bosoni) e di anti-commutazione (fermioni)". Infatti, attraverso il principio della RSS nello stato fondamentale esistono *infinite* (*non-numerabili*) *condizioni di VQ*, tutte compatibili con lo stato fondamentale stesso. Inoltre, questo non vale solo nel *dominio relativistico* (microscopico), ma anche si applica al dominio non-relativistico dei sistemi a molti corpi della materia condensata, quindi nel *dominio mesoscopico e macroscopico*, fino alle scale del dominio *megaloscopico* dei fenomeni e dei sistemi cosmologici. La scoperta delle "onde gravitazionali" nella CMBR esemplifica al meglio questo fatto (cfr., sopra §3.1).

Infatti, a partire dalla scoperta, negli anni '60 del secolo scorso, delle correlazioni a lungo raggio, generate dinamicamente e mediate dai cosiddetti *bosoni di Nambu-Goldstone*³⁹ (NG), e quindi del loro ruolo nelle cosiddette *teorie di gauge* grazie al "campo di Higgs", la scoperta di questi *modi collettivi*, o *domini di coerenza di fase* dei campi di forza, ha cambiato profondamente il quadro di riferimento della fisica fondamentale. Tutte le teorie di *grande unificazione*, da quella della *forza elettro-debole*, a quella recentissima che include anche la *forza forte*, grazie alla conferma sperimentale del "bosone di Higgs" – scoperte costellate dalla concessione di un numero impressionante di Premi Nobel della fisica negli ultimi trenta anni –, hanno nella QFT e nei "condensati" (= densità definita) di bosoni NG, che caratterizzano univocamente un dominio di coerenza di fase del campo, la loro chiave di volta.

Ciò che spesso si dimentica, anche se finalmente se ne sta prendendo coscienza, come spiegato alla sottosezione precedente, è che anche il quadro matematico-teorico di riferimento ne risulta sconvolto. Innanzitutto, lo studio dei modi collettivi appare come un'alternativa effettiva al paradigma newtoniano della *teoria della perturbazione* e quindi al suo postulato fondamentale della *condizione asintotica*. In questo modo, il principio della RSS del VQ risulta essere alla base della teoria del campo termico, nonché dello studio dei fenomeni di transizione di fase in una molteplicità di problemi a tutte le scale, inclusi i fenomeni-chiave, nella fisica dello stato condensato, della formazione di difetti nei processi di rottura della simmetria in sistemi fuori dall'equilibrio, caratteriz-

³⁹ Cfr. J. GOLDSTONE, "Field Theories with Superconductor Solutions", *Nuovo Cimento*, 19 (1961), 154–164; J. GOLDSTONE, A. SALAM E S. WEINBERG, «Broken Symmetries», *Physical Review*, 127 (1962), 965–970.

zati dalla presenza di un parametro d'ordine. In una parola, lo studio delle cosiddette "strutture dissipative" rese famose dall'opera di un altro Premio Nobel della fisica, I. Prigogine, nella termodinamica dei sistemi auto-organizzanti in chimica e biologia.

Il quadro teorico che ne emerge per l'ontologia naturalistica è dunque profondamente differente da quello dell'*atomismo newtoniano*, almeno quanto la nozione newtoniana di "vuoto meccanico" è differente da quella di "vuoto quantistico". Il paradigma ontologico di sistema fisico non è più dunque quello della particella isolata nel vuoto meccanico (= atomismo), di cui l'AL di Carnap costituisce la controparte nell'ontologia formale. In QFT nessun sistema fisico, neanche a livello microscopico della fisica quantistica è concepibile come isolato (energeticamente "chiuso"), poiché è sempre in interazione con il suo sottofondo di fluttuazioni del vuoto, ovvero con la condizione di VQ che include in sé tutto l'uni-(multi-)verso e tutti i sistemi fisici che lo(i) compongono. In una parola, "la QFT può essere definita come una teoria quantistica intrinsecamente termica"⁴⁰. La meta-stabilità del campo di Higgs illustrata più sopra ne è un'evidenza (cfr. **Figura 1**).

Naturalmente, a causa del carattere intrinseco del bagno termico in esso, un sistema di QFT recupera in questo modo la sua caratteristica hamiltoniana, perché in ogni caso occorre che sia soddisfatta la condizione di bilancio energetico negli scambi fra il (sotto-)sistema e il suo bagno termico ($\Delta E = 0$), matematizzato mediante il principio del *doubling*, ovvero del "raddoppio dei gradi di libertà" (RGL) del sistema nella sua totalità, e quindi del "raddoppio delle algebre" per rappresentarlo matematicamente⁴¹.

La più evidente differenza fra QM e QFT è così l'interpretazione fisica profondamente differente del *principio d'indeterminazione di Heisenberg* e della correlata dualità particella-onda che caratterizza la fisica quantistica. Mentre, dunque, il principio di indeterminazione in QM si enuncia come:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Dove x , nell'esempio classico in QM dell'elettrone nell'atomo, è la posizione e p è la quantità di moto della particella, e \hbar è la costante di Planck normalizzata sulla circonferenza. Nella QFT,

⁴⁰ BLASONE, ET. AL., *Quantum field theory*, cit., p. ix.

⁴¹ Cfr. GIUSEPPE VITIELLO, *Lecture Notes in Physics*, 718 (2007), 165-205.

invece, la stessa relazione si legge come:

$$\Delta n \Delta \varphi \geq \hbar$$

Dove n è il numero di quanti del campo di forza e φ è la *fase* del campo. Se ($\Delta n = 0$), φ è indefinita, così che ha senso non considerare la forma d'onda in favore del comportamento individuale tipo-particella. Al contrario, se ($\Delta \varphi = 0$), n è indefinito perché un numero estremamente alto di particelle sta oscillando insieme con una fase ben definita, cioè all'interno di un dato dominio di *coerenza di fase*. In questo caso, sarebbe un non-senso descrivere il fenomeno nei termini di comportamento di particelle individuali, poiché prevalgono i modi collettivi del campo di forze.

Insomma, nella QM l'incertezza, e quindi la dualità particella-onda è *fra due rappresentazioni*, tipo-particella e tipo-onda, perché viene concepita come dipendente da insuperabili limitazioni del processo di misura, p.es., nel caso classico dell'elettrone nell'atomo, fra posizione q e quantità di moto p . In ogni caso, la funzione d'onda di De Broglie-Schrödinger in QM non è espressione di qualche entità dinamica come un campo di forze, ma semplicemente espressione di due modi, necessariamente differenti e reciprocamente irriducibili, di *rappresentare* (misurare) un fenomeno quantistico. Quindi, un approccio ontologico di tipo concettualista, come quello del RCN di Cocchiarella, è in linea di principio perfettamente adeguato – come Cocchiarella stesso afferma – a fungere da ontologia formale della QM, proprio come un'ontologia concettualista di tipo kantiano lo era per la meccanica classica newtoniana.

Al contrario, in QFT la *dualità è fra due entità dinamiche*: il campo di forze fondamentale e le particelle quantistiche, con o senza massa, associate a quel campo di forze che sono semplicemente i quanti di quel campo. In tal modo, l'*entanglement* quantistico non implica alcuna relazione fra particelle, come nella QM, ma semplicemente è espressione del carattere unitario di uno stato coerente (coerenza di fase) di un campo di forze. In altri termini, per usare un'espressione molto forte del fisico italiano Marcello Cini, la funzione d'onda di Schrödinger non è altro che "un rozzo ricoprimento statistico di una struttura molto più fine della natura dinamica della realtà".

3.3. I sistemi quantistici come “sistemi aperti” in QFT e la nozione di informazione

3.3.1. *La QFT come fisica fondamentale delle strutture dissipative in chimica e biologia*

Naturalmente, a causa del carattere intrinseco del bagno termico, conseguenza della fondazione quantistica del terzo principio della termodinamica discusso all’inizio della sotto-sezione precedente, un sistema quantistico in QFT può recuperare il suo classico carattere hamiltoniano soltanto se considerato insieme al suo inseparabile bagno termico, a causa della necessità di soddisfare comunque la condizione di bilancio energetico ($\Delta E = 0$), matematicamente formalizzato dal principio del RGL e quindi dal “raddoppio delle algebre” (algebre di Hopf) fra i due sottosistemi, fra un algebra (sistema quantistico) e la sua coalgebra (bagno termico) mediante l’inversione del vettore-energia fra i due⁴². Diviene così possibile definire in QFT operatori termodinamici come “entropia” e “energia libera” e tener conto del ruolo dinamico che essi svolgono nei diversi sistemi studiati dalla QFT.

Dal punto di vista ontologico, la nozione di correlazioni a lungo-raggio, mediate da differenti condensati di bosoni NG, e la relativa nozione di transizione di fase in termini di costituzione dinamica di differenti domini di coerenza di fase come altrettante condizioni di RSS dello stato fondamentale del VQ, dà nuova luce alla nozione di Schrödinger d’informazione come *neghentropy* in fisica fondamentale.

Infatti, a livello relativistico microscopico, una coerenza di fase si propaga con una velocità dell’ordine c^2/v , dove c è la velocità della luce, e $v \ll c$ è la velocità di propagazione del segnale energetico. Il che spiega perché i fenomeni di *entanglement* in fisica quantistica non violino minimamente c , in altri termini, non vi è nessun fenomeno di trasmissione di materia (massa o energia) a velocità super-luminale perché l’energia viaggia comunque a una velocità $v \ll c$. Quindi, la costituzione dinamica di un dominio di coerenza di fase, per mezzo di una RSS del VQ (= correlazioni a lunga distanza), al suo stato fondamentale (senza aggiunta di energia dall’esterno), oltre che a giustificare quel “cambio di sca-

⁴² Cfr. G. VITIELLO, *Lecture Notes in Physics*, 718 (2007), 165-205.

la" che caratterizza la cosiddetta *emergenza* di un sistema complesso, per ciò stesso corrisponde termodinamicamente alla definizione di una *canalizzazione ottimale* per la successiva propagazione a velocità sub-luminale dell'energia aggiunta al sistema dall'ambiente. Questa si propagherà con velocità $v \ll c$, portando fuori il sistema dal suo stato energetico fondamentale, fornendo, in linea di principio, una spiegazione fisica-fondamentale alla nozione fenomenica di "condizione di stabilità fuori dall'equilibrio", proprio come quella di "canalizzazione ottimale dell'energia" mediante coerenza di fase fornisce, sempre in linea di principio, una spiegazione di fisica fondamentale all'altra nozione fenomenologica di *auto-organizzazione* nei sistemi complessi. Per questo la QFT può, in linea di principio, spiegare la fisica fondamentale di quella nozione collettiva di *struttura dissipativa* con cui I. Prigogine caratterizzava tutti questi fenomeni in fisica macroscopica, i sistemi chimici e biologici innanzitutto⁴³.

Per approfondire il ruolo della QFT nel fornire la fisica fondamentale dei fenomeni bio-chimici, vorrei qui ricordare diversi lavori di un fisico italiano, Emilio del Giudice, recentemente scomparso, ed a cui rimando⁴⁴. Negli ultimi trent'anni egli si era

⁴³ Un esempio intuitivo che tutti conoscono è quello della risonanza, riletto alla luce del III Principio dove tutto oscilla in natura, nulla è fermo. Quando sulla mia chitarra suono la nota di "la" spingendo un tasto sulla corda di "sol", propago dell'energia elastica nell'aria. Questo campo elastico oscillerà con la frequenza caratteristica del "la". Ma dove questa energia si trasformerà in "lavoro", sarà, cioè, termodinamicamente parlando "energia libera" capace di compiere un lavoro? Dove c'è la corda di "la" che già oscilla sulla medesima frequenza, anche se impercettibilmente. Siccome le due oscillazioni sono in fase esse si "sommano" facendo vibrare in maniera percettibile la corda di "la". Dunque è "la coerenza di fase" fra oscillazioni *la relazione d'ordine* in grado di trasformare energia in "energia libera", in neghentropia e dunque in "informazione", informazione "semantica" ovviamente perché solo dove i codici si corrispondono essa assume un "significato" una rilevanza. Ma i domini di coerenza di fase possono cambiare dinamicamente (transizione di fase), in quel caso, allora, la velocità di propagazione di fase diventa essenziale in rapporto alla velocità di propagazione dell'energia...

⁴⁴ Cfr., E. DEL GIUDICE E ALTRI, «Spontaneous symmetry breakdown and boson condensation in biology», *Phys. Lett.*, 95A (1983), 508. ID., «A quantum field theoretical approach to the collective behavior of biological

dedicato soprattutto allo studio dei “domini di coerenza di fase” che riguardano un particolare tipo di campo quantistico di forze, quello del dipolo elettrico, che caratterizza le molecole organiche e quelle dell’acqua, che così vede spiegata il suo ruolo di “matrice della vita” – tutte le biomolecole sono attive solo nell’acqua – , ben conosciuto fin dai tempi più remoti – si pensi a Talete!. In sintesi, grazie alle correnti di dipolo elettrico (non elettromagnetico come nel caso dei ferromagneti) cui ogni biomolecola è sensibile, e che si trasmettono nell’acqua in cui ogni biomolecola è immersa, si possono creare domini di coerenza – i cui “bosoni NG” si chiamano, appunto DWQ (*dipole wave quanta*) – fra biomolecole anche distanti che oscillano in fase (*entanglement*), così da renderle capaci di interagire, e rendere possibili quelle complesse reazioni chimiche – e quelle successioni ordinate di esse – che costituiscono la base delle funzioni biologiche a diversi livelli di organizzazione. Infatti, ogni nuova reazione chimica, resa possibile dall’*entanglement* fra biomolecole anche lontane – ricordiamoci che le forze chimiche, come quelle di Van der Waals, sono tutte a corto raggio – mediante l’instaurarsi di un “dominio di coerenza di fase” e quindi di un “comportamento collettivo”, modifica le frequenze del campo e determina nuovi domini di coerenza di fase. Si rende così possibile una diversa reazione chimica e una successione ordinata di reazioni chimiche, in cui ogni funzione biologica ultimamente consiste. D’altra parte, affidarsi ai soli “processi diffusivi”, casuali, come si fa’ ordinariamente in biochimica, è ci ricorda Del Giudice, insufficiente. Tali processi, ricordiamolo, furono introdotti nell’ultima opera pubblicata dal grande matematico inglese A. M. Turing, prima della sua tragica morte, in un saggio dal titolo quanto mai appropriato⁴⁵ – “Le basi chimiche della morfogenesi” – con cui si è di fatto inaugurata l’era feconda dell’approccio informazionale e computazionale

systems», *Nucl. Phys.*, B251 (1985), 375. ID., «Electromagnetic field and spontaneous symmetry breakdown in biological matter», *Nucl. Phys.*, B275 (1986), 185. E. DEL GIUDICE, G. PREPARATA E G. VITIELLO, «Water as a free electron laser», *Phys. Rev. Lett.*, 61 (1988), 1085. E. DEL GIUDICE, R. PULSELLI E E. TIEZZI, «Thermodynamics of irreversible processes and quantum field theory: an interplay for understanding of ecosystem dynamics», *Ecological Modelling*, 220 (2009), 1874-79.

⁴⁵ Cfr., A. M. TURING, «The chemical basis of morphogenesis», *Phil. Trans. R. Soc. London B*, 237 (1952), 37-72.

nelle scienze biologiche. Ma è stato solo un primo passo.

Affidare, infatti, a un processo diffusivo *casuale* (statistico) la spiegazione delle basi bio-chimiche complesse di una funzione biologica anche elementare, è estremamente dispendioso in termini energetici e temporali, per l'infinito numero di reazioni chimiche spurie cui la casualità del processo diffusivo darebbe luogo nell'ambiente biologico *reale*. I processi diffusivi, cioè, funzionano bene in astratto, nelle condizioni ottimali del laboratorio (proprio come è un prodotto di laboratorio (preparazione di una misura) la funzione d'onda e la sua decoerenza in QM), ma non nelle situazioni reali molto più sfavorevoli, dove occorre un principio dinamico di *fine tuning* che ordini e selezioni i processi – un principio apparentemente, non realmente, finalistico, come l'ontologia formale di RN ci spiega, e come Aristotele e Tommaso per primi si accorsero, nella loro ontologia della morfogenesi. Tale principio dinamico è quello, appunto, di *entanglement*, legato ai domini di coerenza della QFT. Occorre cioè, sintetizzava molto bene Del Giudice, passare in biochimica dalla “cinetica chimica” alla “dinamica chimica”, quello stesso passaggio che più in generale caratterizza il passaggio dalla QM alla QFT, o classicamente, dalla meccanica a base geometrica (cinetica) alle teorie di campo (dinamica). Anche se, è solo l'interpretazione in QFT della nozione quantistica di *entanglement*, che ci ha svelato l'arcano di come possa avvenire una (solo apparente) “azione a distanza” che una teoria di campo sembra supporre, “a distanza”, cioè, solo finché si continua a supporre che ciò che separa i sistemi interagenti è il vuoto meccanico e non quello quantistico – mi si perdoni un'espressione apologetica: da Democrito a Aristotele, insomma.

In sintesi, citando dall'introduzione di un recente volume completamente dedicato alla QFT⁴⁶:

La dinamica quantistica soggiace a tutti quei fenomeni macroscopici che manifestano qualche forma di ordinamento, come superconduttori, ferro-magneti o cristalli. Addirittura le strutture su larga scala dell'universo, come pure l'ordinamento nei sistemi biologici appaiono essere manifestazioni della dinamica microscopica che governa i componenti elementari di questi sistemi. Quindi nella nostra trattazione sulle rotture spontanee

⁴⁶ Cfr., MASSIMO BLASONE, PETR JIZBA E GIUSEPPE VITIELLO, *Quantum field theory, cit.*, p. ix.

di simmetria e dei conseguenti modi collettivi, insisteremo sul fatto che un risultato cruciale è stato riconoscere che la dinamica dei campi quantistici non è confinata al mondo microscopico. Cristalli, ferro-magneti superconduttori, etc. sono sistemi quantistici macroscopici. Essi sono “quantistici” non nel senso triviale che sono fatti di componenti quantistici (come ogni sistema fisico), ma nel senso che le loro proprietà macroscopiche e di cui rende conto il campo del loro caratteristico parametro d’ordine, non possono essere spiegate se non ricorrendo alla soggiacente dinamica quantistica.

L’irriducibilità della QFT alla QM e la possibilità che la QFT possa fornire la fisica fondamentale dello studio della cosiddetta *complessità*, dei sistemi stabili fuori dall’equilibrio e/o delle strutture dissipative, porta a domandarci se la nozione di informazione di Shannon o informazione sintattica che è propria dei sistemi della QM e della loro implementazione della nozione di computer quantistico (cfr. in particolare il fondamentale studio di Rovelli sulla QM), si applichi anche alla QFT. Essa, infatti, tramite la funzione di Wigner, non usa la classica nozione di probabilità su cui l’informazione di Shannon è definita, ma la nozione non-classica di *quasi-probabilità*. Per capire questo punto, però, occorre prima approfondire la nozione di *neghentropia* in QFT, nozione introdotta da Schrödinger in QM.

3.3.2. QFT e la nozione di informazione come neghentropia

Generalmente la nozione d’informazione nei sistemi biologici è sinonimo di quella di *neghentropia*, secondo l’uso originario del termine da parte di E. Schrödinger. Applicata, tuttavia, alla QFT delle strutture dissipative nei sistemi biologici, la nozione di neghentropia non appare correlata solo a quella di *energia libera*, di energia, cioè restituita a un sistema termodinamico che l’aveva dissipata, in modo che esso possa continuare a compiere del *lavoro*, come di fatto Schrödinger suggeriva⁴⁷. La nozione di “neghentropia” – ma più radicalmente, la stessa nozione di “energia libera” – include non solo la nozione di *supplemento di energia* da una seconda sorgente, come la termodinamica, fin dai tempi di Lord Kelvin ci ha insegnato. Essa include anche quella di *organizzazione*

⁴⁷ E. SCHRÖDINGER, *What is life*, Cambridge UP, Cambridge, 1944.

e di *auto-organizzazione*, come l'uso di questa nozione da parte del Premio Nobel per la Medicina e la Fisiologia (1937), Á. Szent-György (1893-1986), per primo ha suggerito⁴⁸. In QFT tale nozione ha un immediato riscontro nella costituzione di domini di coerenza tramite RSS nel VQ a differenti scale spazio-temporali, come l'applicazione della QFT allo studio delle strutture dissipative in biologia ha dimostrato, a partire dai lavori pionieristici di H. Frölich⁴⁹. La nozione di immagazzinamento dell'energia grazie a domini di coerenza a lungo raggio, di cui ci ha parlato Frölich, è stata legata a quella di neghentropia di Schrödinger in una serie di lavori di M. W. Ho, a partire dalla metà degli anni '90⁵⁰.

Ovvero, come sappiamo dalla precedente discussione, la costituzione di domini di coerenza mediante RSS consente alle reazioni chimiche di accadere *a differenti scale spazio-temporali*, con un conseguente rilascio di energia, che allora diviene immediatamente disponibile *quando/dove è necessario*.

Per esempio, il trasferimento dell'energia risonante, legato all'instaurarsi "istantaneo" di un dominio di coerenza fra molecole che oscillano in fase, avviene in tempi dell'ordine di 10^{-14} sec., laddove le vibrazioni molecolari stesse si smorzano, o termalizzano, in tempi fra i 10^{-9} e i 10^1 sec. Quindi, si tratta di un processo altamente efficiente e specifico, determinato dalla medesima frequenza di vibrazione, dato che molecole risonanti si possono "attrarre" l'un l'altra – ovvero, quantisticamente, i loro campi sono in uno stato di *entanglement*. Siffatta nozione di "immagazzinamento locale" di energia è fondamentale a qualsiasi livello di auto-organizzazione dell'organismo, dai costituenti della singola molecola (proteina), alla cellula, al tessuto, sino all'organismo intero.

Tutto ciò completa e rende dinamicamente e quindi fisicamente intellegibile il quadro della termodinamica del vivente, deli-

⁴⁸ A. SZENT-GYÖRGY, *An introduction to sub-molecular biology*, Academic Press, New York, 1960.

⁴⁹ Cfr. H. FRÖLICH, «Long range coherence and energy storage in biological systems», *Int. J. of Quantum Chemistry*, 2 (1968), 641ff., in: *Biological coherence and response to external stimuli*, a cura di H. Frölich, Springer, Berlin, 1988.

⁵⁰ Cfr., in particolare, MAE WAN HO, «What is (Schrödinger's) neghentropy», *Modern Trends in BioThermoKinetics*, 3 (1994), 50-61.

neato a suo tempo da L. Szilard⁵¹ e da L. Brillouin⁵², secondo i quali il “demone di Maxwell” per acquisire l’informazione necessaria a compensare il decadimento entropico dell’organismo, deve consumare energia libera dall’ambiente. Ciò significa aumentare l’entropia globale, secondo i dettami della Seconda Legge della Termodinamica. Tuttavia il quadro va completato in QFT con le evidenze che vengono dalla Terza Legge e su quella “riserva interna” di energia propria di qualsiasi sistema fisico – tanto più rilevante quanto più il sistema è complesso –, ubiquamente resa disponibile dal principio della RSS del VQ. Ciò insomma di cui abbiamo discusso finora in questo lavoro.

Come sappiamo e come ho ricordato in precedenti lavori, anche su questa stessa rivista e ai quali rimando⁵³, tutto ciò avviene, al massimo livello di complessità biologica, anche nella dinamica neurale, e dei cervelli umani in particolare. Più di recente, per illustrare questo punto della RGL applicato nelle neuroscienze, W. Freeman, Giuseppe Vitiello e i loro collaboratori hanno parlato di una sorta di “energia oscura”, al riguardo della riserva estrema di energia “nascosta” nella dinamica del cervello umano che, ripetiamolo, con l’organismo che lo include, occupa il vertice della complessità in natura. Infatti, il cervello ha il 2% della massa del corpo umano, eppure dissipa il 20-25% della sua energia a riposo. Questo dipende dall’estrema densità delle cellule nelle cortece ($10^5/mm^3$), ciascuna con una media di 10^4 connessioni⁵⁴.

Da tutto questo deriva la necessità di un approfondimento della nozione di “informazione semantica” che solitamente viene definita come caratterizzante i sistemi biologici e che recentemente T. W. Deacon ha definito come “informazione di Boltzmann”,

⁵¹ LEO SZILARD, «On the decrease of entropy content in a thermodynamical system by the intervention of intelligent beings», *Behavioral Science*, 9 (1964), 301-10.

⁵² Cfr. L. BRILLOUIN, *Science and Information Theory*, Academic Press, New York, 1962.

⁵³ Cfr. BASTI, «Dualità, epigenesi, intenzionalità», *cit.*.

⁵⁴ Cfr. A. CAPOLUPO, W. J. FREEMAN E G. VITIELLO, «Dissipation of dark energy by cortex in knowledge retrieval», *Physics of life reviews*, 10 (2013), 85-94, e il mio commento: G. 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*, 13 (2013), 97-98.

per distinguerla da quella di Shannon, proprio perché intrinsecamente legata alla nozione fisica di “lavoro”⁵⁵, ponendola in diretta relazione con la nozione di “neghentropia” in QFT appena discussa.

3.3.3. *Informazione semantica in QFT vs. sintattica in QM*

Come ricordato più volte in questo saggio che l’informazione associabile alla computazione in QM è essenzialmente un’informazione di Shannon. Infatti in ambedue i casi l’informazione può essere associata a una rimozione dell’incertezza H , nel senso che “più probabile” e “meno incerto” un evento/simbolo è, meno è informativa (o, psicologicamente, provoca minore “sorpresa”) la sua eventuale occorrenza. Matematicamente, nella “teoria matematica delle comunicazioni” (TMC), l’informazione H , associata all’ i -simo simbolo x fra gli N che compongono l’alfabeto di un dato linguaggio, può essere definita come:

$$H = \sum_{i=1}^N p(x_i) I(x_i) = \sum_{i=1}^N p(x_i) \log \frac{1}{p(x_i)} = - \sum_{i=1}^N p(x_i) \log p(x_i)$$

Dove $p(x_i)$ è la relativa probabilità dell’ i -simo simbolo x rispetto agli N possibili, I è il contenuto informativo associato alla occorrenza del simbolo, che è l’inverso della sua relativa probabilità. Meno probabile è, più informativa è la sua occorrenza. L’uso del logaritmo è solo per garantire che il totale della probabilità dell’insieme di elementi (simboli) considerato sia uguale alla somma della probabilità dei singoli elementi e non del loro prodotto. L’ammontare dell’informazione H ha così la dimensione di un’entropia statistica che è molto vicina all’entropia S della meccanica statistica, ovvero:

$$S = -k_B \sum_i p(x_i) \log p(x_i)$$

Dove x_i sono le possibili configurazioni microscopiche degli individui (atomi e/o molecole) del sistema (microstati) che potrebbero dar luogo allo stato macroscopico (macrostato) del sistema e k_B è la costante di Boltzmann. In base al “principio di corrispondenza” fra meccanica statistica classica e QM, S è equivalente nel limite

⁵⁵ Cfr. T. W. DEACON, *Incomplete nature. How mind emerged from matter*, Norton & Co., New York, 2011.

classico, cioè ovunque la classica nozione di probabilità si applichi, alla definizione di entropia in QM, formulata da Von Neumann nella seguente maniera:

$$S = -k_B \text{Tr}(\rho \log \rho)$$

Dove ρ è una matrice di densità e Tr è l'operatore-traccia della matrice. D'altra parte, storicamente, fu lo stesso Von Neumann a suggerire a Shannon di definire "entropia" la misura statistica d'informazione H che aveva trovato. Invece, fu lo stesso Shannon a definire "l'informatività" o "rimozione d'incertezza" associata all'occorrenza di un simbolo in TMC (e/o di un evento in meccanica statistica classica o in QM, aggiungiamo noi), come soltanto "sintattica" e non "semantica"⁵⁶. Infatti, l'occorrenza del simbolo (evento) appare del tutto *non-interpretata* (indipendente dal contesto) e *ben-formata* (determinata), in base alle *regole fisse* e ad un *alfabeto* altrettanto *fisso* – ovvero, sinteticamente, in base a una *codifica fissa* – che, nel caso fisico, ultimamente si rifanno alle *immutabili leggi* della fisica, e, nel caso linguistico, alle *immutabili leggi* della logica, ambedue del tutto indipendenti dalla "evoluzione" e/o dalla "storia" degli oggetti (oggetti fisici e/o oggetti linguistici) che essi "codificano".

In ogni caso, a partire dai lavori pionieristici di R. Carnap e Y. Bar-Hillel, da una parte⁵⁷, e di uno dei miei maestri, D. M. MacKay, dall'altra⁵⁸, è diventato una sorta di *leit-motiv* in quasi tutti i lavori che trattano della nozione scientifica di informazione nei sistemi biologici e cognitivi, la rivendicazione del carattere *seman-*

⁵⁶ C. E. SHANNON, *The mathematical theory of communication*, Univ. of Illinois Press, Urbana, 1949, p. 3.

⁵⁷ R. CARNAP E Y. BAR-HILLEL, «An outline of a theory of semantic information», in *Language and information: selected essays on their theory and application*, Addison-Wesley, Reading, Ma & London, UK, 1964, pp. 221-74.

⁵⁸ D. M. MACKAY, *Information, mechanism, and meaning*, MIT Press, Cambridge, MA, 1969. La mia tesi di laurea in filosofia, sotto la guida del compianto prof. Vittorio Somenzi, aveva per argomento proprio l'opera di questo discepolo di Wiener, e gli indubitabili rapporti, da lui stesso in molti scritti affermati e personalmente a me confermati in svariati incontri che ebbi con lui prima della sua morte nel 1986, che esistevano, tra la sua teoria semantica dell'informazione applicata alle allora nascenti "neuroscienze cognitive", e la teoria tomista dell'intenzionalità cognitiva.

tico-pragmatico e non puramente sintattico di essa.

In questi ultimissimi anni, il dibattito sulla componente semantica dell'informazione nei sistemi biologici e cognitivi si è andato sviluppando secondo due direttrici principali, sebbene spesso mancanti, malgrado lodevoli eccezioni in studi molto specifici e difficilmente generalizzabili, di quel rigore matematico-formale e di quel fondamento fisico che la TMC, pur nei suoi dichiarati limiti, possiede. In questo senso, la discussione al riguardo possiamo dire si mantenga ancora e abbondantemente a un livello fenomenico, pre-scientifico e spesso "filosofico", se non addirittura ideologico, nel senso deteriore del termine. In ogni caso, le due direttrici in cui si cerca di approfondire la componente semantica dell'informazione nei sistemi biologici e cognitivi, attualmente sono:

1. Un approccio di tipo "bayesiano" al calcolo delle probabilità relative all'entropia informazionale nei sistemi biologici e cognitivi. L'utilità di un simile approccio consiste nel fatto che le probabilità nei termini del teorema di Bayes sono calcolate come aspettative sui dati, in modo che la nuova evidenza ottenuta dai dati (p.es., le frequenze statistiche rilevate) non serva a testare l'aspettazione, come nell'approccio classico, bensì a modificare l'aspettazione medesima. In tal modo l'aposteriori diviene il nuovo a-priori, e così via indefinitamente. Ora, è ben noto che l'approccio bayesiano alla probabilità si presta sia ad una interpretazione *soggettiva* delle probabilità a priori in termini di "credenza" (*belief*), sia a un'interpretazione *oggettiva*, in termini di "plausibilità" (consistenza) rispetto a un insieme di regole. Un approccio bayesiano all'informazione semantica nelle neuroscienze cognitive è quindi, dal punto di vista *statistico*, rappresentativo, ma *non-dinamico*, reale, l'ottimale, in linea di principio, per connettere in un unico *framework* la dimensione soggettiva (cognitiva) con quella oggettiva (neurofisiologica) del significato. In tal senso, afferma A. Clark, in un recente articolo di *review* che pretende di indicare quale sarà il *trend* di sviluppo nei prossimi decenni delle neuroscienze cognitive – e che come tale viene recentemente considerato e suggerito alla lettura da illustri opinion-leader del campo, come l'intramontabile D. Dennett⁵⁹ – afferma specificamente che il futuro della ricerca

⁵⁹ Proprio a questo articolo di Clark ha fatto riferimento D. Dennett, invitando

nel campo può essere riassunto nel principio del “cervello bayesiano” (*Bayesian Brain*):

Le rappresentazioni neurali, se la loro interpretazione in termini di processi predittivi gerarchizzati si dovesse dimostrare corretta, codificano distribuzioni di densità di probabilità in forma di un modello generativo probabilistico, e il flusso inferenziale rispetta i principi bayesiani del bilancio fra aspettative pregresse e nuova evidenza sensibile. Tutto ciò si distanzia di molto dal modo tradizionale di intendere la rappresentazione interna (al cervello, *N.d.R.*) ed è un approccio di cui tutte le implicazioni sono lungi dall’essere comprese⁶⁰.

Ed è molto saggio Clark a manifestare prudenza verso questa bella costruzione che egli condivide con molti degli autori citati nell’ampia bibliografia di questo saggio, e a cui rimando. Infatti, da un punto di vista teorico, il tipo d’informazione semantica che un sistema cognitivo di tipo bayesiano è in grado di trattare è un’informazione legata al principio di *minimizzazione dell’energia libera interna* del sistema, formulato teoreticamente da Karl Friston⁶¹, un fisico prestato alle neuroscienze, e certamente il teorico più rilevante di tutta la scuola di pensiero bayesiana in biologia e neuroscienze. Su misura per lui e il suo lavoro di analisi dei dati di *brain imaging*, è stato costituito, infatti, uno speciale Istituto, lo *Wellcome Trust Center for Neu-*

do alla sua lettura il quasi migliaio di astanti provenienti da tutto il mondo, nella conclusione della sua *plenary speech* inaugurale al Congresso Internazionale organizzato da D. Chalmers a Tucson (AZ) dal 21 al 26 Aprile 2014, sulla “scienza della coscienza” nel ventennale dalla sua prima edizione. Un congresso per questo concepito e realizzato, con centinaia di relatori, spesso molto prestigiosi, e decine di sessioni, come un’occasione di bilancio mondiale del lavoro compiuto e di progettazione del lavoro futuro nelle scienze cognitive – nelle loro molteplici branche, dalle neuroscienze, all’intelligenza artificiale e computazionale, alla psicologia, alla psichiatria, etc. Cfr., *International Conference, “Toward a Science of Consciousness”*, Tucson (AZ), April 21-26, 2014: (<http://consciousness.arizona.edu/>).

⁶⁰ Cfr., A. CLARK, «Whatever next? Predictive brains, situated agents and the future of cognitive science», *Behavioral and Brain Sciences*, 36 (2013), p. 186

⁶¹ K. FRISTON, J. KILNER E L. HARRISON, «A free energy principle for the brain», *J Physiol Paris*, 100 (1–3), 100 (2006), 70–87.

roimaging, all'University College di Londra. Il principio di minimizzazione di Friston si basa sull'idea, che si rifà esplicitamente all'omeostasi di Ashby, che l'organismo nell'adattarsi all'ambiente, e/o il cervello impegnato in compiti percettivi, "rispondono" alla perturbazione/stimolazione dall'ambiente stesso minimizzando questo apporto di energia libera – per questo definita "energia libera variazionale", in quanto definita mediante l'omonimo calcolo – per ri-organizzarsi internamente e quindi adeguarsi alla variazione indotta dall'ambiente – ovvero adeguare l'aspettativa precedente ai nuovi dati, nei termini di un'inferenza di tipo bayesiano. Di qui il ciclo "percezione-azione", che Friston prende in prestito, senza citarlo, da Freeman, come pure prende in prestito, stavolta citandolo come un suo precursore, l'idea di costruire intorno a questo principio, una vera e propria "teoria dei campi neurali".

La differenza fra i due approcci, quello di Freeman-Vitiello e quello di Friston, però non è solo teorica, ma ha un'immediata rilevanza applicativa. Mentre cioè, come rileva Friston stesso, un approccio di teoria di campo di tipo statistico come il suo non è in grado di dire nulla sul lavoro di auto-organizzazione che il sistema ha dovuto compiere per adeguarsi alla variazione, l'approccio di campo della QFT è in grado di indagare, sia matematicamente (Vitiello), sia sperimentalmente (Freeman), sulla struttura-fine del lavoro compiuto dal sistema organismo-ambiente mediante la teoria del *doubling* sistema-bagno termico. Per questo, e ancora molto correttamente, Friston non parla mai di "informazione semantica" quando tratta della misura e della quantità d'informazione che può essere associata al suo principio di minimizzazione dell'energia libera interna o variazionale che dir si voglia, ma si limita ad associare la sua misura di entropia all'informazione di Shannon. Veniamo così al cuore della seconda direttrice dell'attuale sviluppo dell'approccio informazionale alle scienze biologiche e cognitive.

2. La seconda direttrice di sviluppo è costituita da tutti quegli studiosi che rivendicano come nelle scienze biologiche e nelle neuroscienze cognitive sono le nozioni e le misure d'informazione *semantica* e *pragmatica* ad essere rilevanti. Infatti, qui l'informazione riguarda processi complessi di auto-organizzazione in cui sono coinvolti la modifica della *codifica* stessa dei segnali che veicolano informazione (semantica), sia in senso biologico (modifica dei "codici genetici"), che cogni-

tivo (modifica dell'“apparato categoriale”, sia di specie, negli animali, sia individuale, negli umani), generalmente intesa nel senso di un “adeguazione ottimale” (*optimal fitting*) con l'ambiente (pragmatica)⁶². Per i nostri scopi, sia W. Freeman che G. Vitiello hanno evidenziato che in QFT, differentemente dalla QM, risulta particolarmente rilevante il concetto di contenuto di informazione *pragmatica* che, in generale, senza riferimento specifico ad agenti cognitivi, si definisce come il rapporto del tasso di dissipazione di energia potenziale rispetto al tasso di decremento dell'entropia (neghentropia)⁶³, generalmente considerata in letteratura la misura tipica di tutti i sistemi auto-organizzanti, sia naturali che artificiali – come è il caso del laser nell'articolo citato.

Ovviamente, per passare dal concetto d'informazione pragmatica al concetto di informazione semantica occorre fare riferimento alla nozione logica di *verità*, proprio come in pragmatica si fa normalmente riferimento a un criterio di ottimalità. Verità intesa “contenutisticamente”, o appunto, semanticamente come “corrispondenza ai fatti” e non “sintatticamente” come *verità formale*, o tautologia. Ciò che va immediatamente sottolineato qui è che il principio del *doubling* in QFT sembra prestarsi a implementare il concetto d'informazione semantica nel senso della “corrispondenza ai fatti”, anche se non nella sua accezione tarskiana, come invece recentemente qualcuno ha sostenuto⁶⁴. Il principio dina-

⁶² Anche qui la letteratura è sterminata. Per una sorta di campionamento, indico un autore per ciascuno dei tre ambiti appena delineati: M. BARBIERI, *Semantic codes. An introduction to semantic biology*, Cambridge UP, Cambridge, 2003.; T. W. DEACON, *Incomplete nature. How mind emerged from matter*, Norton & Co., New York, 2011.; H. ATMANSPACHER E H. SCHEINGRABER, «Pragmatic information and dynamical instabilities in multimode continuous-wave dye laser», *Can. J. Phys.*, 68 (1990), 728-37.

⁶³ Cfr. ATMANSPACHER E SCHEINGRABER, «Pragmatic information», *cit.*

⁶⁴ Cfr. P. ZINZI, «When humans do compute quantum», in *A computable universe. Understanding and exploring nature as computation*, a cura di HECTOR ZENIL, World Publishing, London-Singapore, 2013, pp. 617-28. La semantica formale Tarskiana suppone la distinzione fra linguaggio e meta-linguaggio, e quindi un'istanza comunque formalista. Il meta-linguaggio, infatti, per soddisfare alla funzione *T* (*truth*) di Tarski deve essere di ordine logico superiore al linguaggio-oggetto cui *T* si applica. Deve cioè “contenere”, nel senso rigorosamente insiemistico del termine, *tutti* i simboli

mico del *doubling*, infatti, se applicato allo studio della base fisica di processi cognitivi, va nel senso non dell'astratta corrispondenza formale fra oggetti (linguistici o meno) staticamente intesi come nella semantica formale, ma dinamicamente nel senso della "doppia saturazione" fra referente e oggetto del riferimento come caratteristico dell'ontologia realista, nell'accezione naturalista del RN e non in quella concettualista del RCN, che pure usa la nozione di "doppia saturazione", ma come relazione esclusivamente fra concetti.

D'altra parte, tralasciando queste considerazioni epistemologiche, la nozione di funzione di Wigner (FW), su cui le probabilità degli stati fisici sono calcolate in QFT, si presta benissimo a formalizzare la nozione di "cambiamento del codice", fondamentale per la nozione di "informazione semantica", differentemente dalla nozione di funzione d'onda di Schrödinger. Questo, non solo perché la prima a differenza della seconda è definita sullo spazio delle fasi del sistema, ma soprattutto perché la FW utilizza la nozione di quasi-probabilità⁶⁵ e non quella statistica classica di probabilità, formalizzata per la prima volta nella teoria assiomatica della probabilità di Kolmogorov⁶⁶.

del linguaggio-oggetto, *tutti* gli oggetti dell'universo su cui i simboli del linguaggio-oggetto sono definiti, nonché l'insieme delle relazioni fra simboli e oggetti. Sembra perciò difficile da sostenere l'impostazione che recentemente, forse spinta da intenti "ecumenici" fra QFT e QM, P. Zinzi ha proposto di interpretare i domini di coerenza in QFT come meta-linguaggio delle decoerenze 'locali' della funzione d'onda in QM. A parte che nessuno dei due oggetti qui posti in siffatta relazione soddisfa i rigorosi criteri logici della definizione tarskiana di *T*, ancora più a monte di questa incongruenza vi è un vero e proprio "errore di categoria". Un dominio di coerenza di fase della QFT si riferisce a un oggetto dinamico quale un campo di forze. La decoerenza di una funzione d'onda si riferisce ad una trasformazione fra due rappresentazioni, sotto forma di funzione d'onda statistica e sotto forma di traiettoria classica, rispettivamente, che riguardano operazioni di misura proprie della QM. Non ha dunque alcun senso parlare di decoerenza nel senso della QM riferito a un dominio di coerenza della QFT.

⁶⁵ Cfr., K. E. CAHILL e R. J. GLAUBER, «Density operators and quasiprobability distributions», *Physical Review*, 177 (1969), 1882-902.

⁶⁶ Cfr., A. N. KOLMOGOROV, *Foundations of the theory of probability. Second English edition.*, trad. di Nathan Morrison, Chelsea Publishing, New York,

Infatti, la nozione di quasi-probabilità non solo viola il terzo assioma della teoria classica perché consente l'uso di *probabilità negative*. Viola anche il quinto assioma, perché regioni integrate sotto determinati valori di aspettazione statistica possono non rappresentare più stati mutuamente esclusivi. In altri termini, la separazione delle variabili in tali distribuzioni non è fissa, ma può variare dinamicamente, come d'altra parte si richiede se si vogliono rappresentare processi di "transizione di fase". Dal punto di vista computazionale, ciò significa che un sistema fisico in QFT è capace di modificare i simboli-base delle sue computazioni, perché nuovi comportamenti collettivi possono emergere da quelli individuali e viceversa. Per questo, il concetto d'informazione associato a una FW appare essere un ottimo candidato a implementare la nozione di "informazione semantica", anche se ulteriori approfondimenti sono necessari.

Ciò che invece sembra chiaro fin da ora è che il concetto d'informazione semantica in QFT, una volta sviluppato, potrebbe essere un ottimo candidato per soddisfare la nozione di *verità contingente (non logica)*, così da sfuggire ai famosi paradossi di Carnap e Bar-Hillel (PCB). Essi dipendono dal fatto che nella loro formalizzazione della nozione di informazione semantica, la loro teoria fa riferimento alla nozione di *verità logica*⁶⁷, e non di *verità contingente*, come fa invece L. Floridi nella sua teoria formale dell'informazione semantica. Essa, allora, appare un'ottima candidata a formalizzare la nozione d'informazione semantica in QFT. Ed infatti, già a un primo esame, la "Teoria dell'Informazione Semantica Forte" (TISF), come Floridi l'ha definita, condivide con la QFT l'uso della medesima nozione di quasi-probabilità⁶⁸. Ciò si presta a interpretare la nozione di *neghentropia* in QFT come reciproca minimizzazione di due entropie, quella del sistema e del suo ambiente (bagno termico) in base al principio del "raddoppio", e quindi come ottimizzazione del processo di trasformazione in lavoro nel primo, dell'energia "pompa" in esso dal secondo. Ho descritto altrove questo tema

1956.

⁶⁷ Cfr., RUDOLPH CARNAP e YEHOSHUA BAR-HILLEL , Addison-Wesley , Reading, Ma & London, UK, 1964, pp. 221-74.

⁶⁸ Cfr., LUCIANO FLORIDI, «Semantic conceptions of information», in *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Spring 2011 Ed., a cura di EDWARD N. ZALTA , 2011, pp. 1-70.

e a questo scritto rimando⁶⁹, anche se il lavoro è solo all'inizio e molto ne resta da fare. Per i nostri scopi è però importante ricordare che anche da questo punto si conferma quel cambio di paradigma fra l'ontologia naturalista dell'AL di Carnap cui la teoria dell'informazione semantica di Bar Hillel & Carnap esplicitamente si riferiscono, e l'ontologia del RN che, per il suo legame con la QFT, si rifà necessariamente a una nozione d'informazione semantica delle verità contingenti, senza cioè confondere il piano ontologico, dell'ontologia fisica e delle scienze naturali in generale, con il piano logico e quello metafisico.

Per collegarci al confronto fra RCN di Cocchiarella e RN, sviluppato in §2.1, il punto-chiave che quest'approfondimento della nozione d'informazione semantica implica è che, laddove in RCN proprietà e relazioni *naturali* sono introdotte mediante *ipotesi contingenti* in RN vengono introdotte come *verità contingenti*, quelle stesse di cui la TIFSS parla, ma non fonda, e che invece mediante un appropriato calcolo logico possono essere fondate in un'appropriata ontologia formale quale quella di RN. Un'ontologia che giustifichi formalmente, almeno sul piano ontologico, nell'attesa di una formalizzazione anche sul piano logico-matematico, le evidenze neurofisiologiche che l'approccio della QFT alle neuroscienze cognitive ha cominciato a mostrare.

⁶⁹ Cfr. G. BASTI, «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-Bastipaper.pdf>> [accessed 24 May 2014]. La versione a stampa è in preparazione in un volume collettaneo, che sarà pubblicato da Springer entro il 2014.

4. UNA PRESENTAZIONE SEMI-FORMALE⁷⁰ DELL'ONTOLOGIA FORMALE DI RN

4.1. La critica di Quine alla logica modale di C. I. Lewis come logica della metafisica

Nel primo capitolo di una delle sue opere principali, *Mathematical Logic*⁷¹, W. V. O. Quine ci offre una preziosa critica alla pretesa di C. I. Lewis di fornire con la sua teoria dell'implicazione stretta, alla base della sua assiomatizzazione della logica modale, una teoria dell'implicazione *metafisica*, in quanto distinta, sia da quella *logica*, sia dall'uso del connettivo logico del condizionale "se...allora", ovvero dalla cosiddetta "implicazione materiale", termine che poco piaceva a Quine per i motivi che qui ricorda.

Dunque, la critica di Quine parte proprio dal sottolineare correttamente la differenza fra il termine "implica" in semantica, strettamente legato alla nozione di "verità", e il senso puramente sintattico del connettivo "se... allora" e del suo simbolo " \supset ".

Basandosi su queste considerazioni troppo spesso ignorate, Quine critica, da una parte, Whitehead e Russell, che nei loro *Principia* hanno sorvolato su questa fondamentale distinzione, dall'altra C. I. Lewis che, cercando di ovviare a questa mancanza dei *Principia*⁷², ha però, essenzialmente, mancato il punto cruciale.

Ciò che Quine rimprovera a Lewis a riguardo della sua nozio-

⁷⁰ Il motivo fondamentale per cui parliamo di una semi-formalizzazione è che il nuovo assioma di fondazione di NR che qui definiremo, una volta tradotto in logica delle relazioni – ovvero de-modalizzato in base alle regole di corrispondenza fra assiomi modali e formule mono-argomentali del calcolo dei predicati del primo ordine (cfr. *infra*) –, andrebbe a sostituire diversi assiomi di ZF – quello di specificazione e di scelta (in ZFC), innanzitutto. Fornendo le basi logiche, probabilmente, per una *teoria costruttiva degli insiemi* completamente nuova. Ma ciò richiede ben altro lavoro di analisi e di prova di consistenza della teoria, anche per le splendide conseguenze per il calcolo in logica-matematica che ne deriverebbero.

⁷¹ W. V. O. QUINE, *Mathematical logic. Revised edition*, Harvard UP, Cambridge, MA, 1983.

⁷² Cfr. C. I. LEWIS E C. H. LANGFORD, *Symbolic Logic*, Century Company, New York, 1932 (Ristampa in 2. Ed., Dover Publications, New York, 1959).

ne di “implicazione stretta” è che essa è molto lontana dal costituire una teoria soddisfacente dell’implicazione. Al massimo essa offre una teoria dei “modi di composizione degli asserti” secondo condizionali non vero-funzionali, tipici delle interpretazioni cosiddette “intensionali” e “non-estensionali” della logica modale.

Al contrario, continua Quine, una teoria dell’implicazione che risulti soddisfacente per usi metafisici come Lewis originariamente pretendeva che fosse la sua teoria della implicazione stretta, “deve prendere gli asserti (posti nella relazione di implicazione metafisica, *N. d. R.*) come “nomi di entità”, così “da poter considerare l’implicazione come una relazione fra queste entità, invece che fra gli enunciati stessi”. Infine, deve essere una teoria capace di giustificare anche le “differenze” o la “identità” delle entità designate da questi enunciati, poiché il problema riguarda, non solo relazioni come la “implicazione”, la “compatibilità” e simili⁷³. E’ evidente, dunque, ciò che, secondo Quine, una soddisfacente teoria dell’implicazione ontologica dovrebbe essere:

1. Una teoria dell’implicazione *metafisica* e non logica – e quindi della necessità *causale* e non *logica* – giacché ha a che fare con relazioni fra *entità* esistenti e non solo fra gli enunciati che si riferiscono ad esse.
2. Una teoria capace di giustificare, in conformità a queste relazioni *reali* e non logiche, le “differenze” e le “identità” fra queste entità denotate.
3. Una teoria capace di illuminare, sempre in conformità a queste relazioni reali, la pretesa “oscurità” di siffatte entità cui gli enunciati metafisici si riferiscono. Un’oscurità che per Quine dipende, ultimamente dalla non risolvibilità del problema della referenza extra-linguistica sintetizzata nell’altra sua più famosa opera, *Word and Object*⁷⁴ – è diventato famoso il termine “opacità della referenza” usato in quest’opera – in particolare per quelle entità di cui Quine parla nel suo testo che stiamo qui commentando e che sono referenti di nomi comuni. Ovvero, quelli che in metafisica si definiscono come “generi naturali”, o peggio ancora, con un termine bandito dal gergo filosofico moderno, “essenze naturali” o “nature”.

Vediamo in che modo l’ontologia formale del RN può soddisfare queste richieste di Quine che, in ogni caso, ci spiegano

⁷³ Cfr. QUINE, *Mathematical logic*, cit., pp. 31s.

⁷⁴ Cfr., W. V. O. QUINE, *Word and object*, MIT Press, Cambridge, NJ, 1960.

l'idiosincrasia di Quine per la logica modale e le sue interpretazioni semantiche nelle diverse logiche intensionali.

4.2. Il suggerimento di Tommaso d'Aquino

Il suggerimento per una possibile soluzione del problema ci viene dal Medio Evo, da Tommaso d'Aquino che era interessato come noi alla fondazione di un'ontologia naturalistica basata sulla *necessità causale*, in quanto opposta a un'ontologia idealista basata sulla *necessità logica* come quella platonica. Il suo scopo, infatti, era rendere la metafisica e la teologia di ispirazione cristiana compatibile con il naturalismo emergente dell'ontologia aristotelica nelle nascenti università dell'inizio del secondo millennio.

Il nostro scopo, all'inizio del terzo, è simile al suo, non solo perché condividiamo le stesse convinzioni teologiche, ma perché tutto ciò è in continuità con la necessità di sostituire il realismo logico dell'ontologia soggiacente all'ontologia fisica newtoniana (ovvero, l'ontologia formale dell'AL carnapiano) con il naturalismo dell'approccio evolutivo all'attuale cosmologia – biologia inclusa, naturalmente.

In questa luce, vi è un fondamentale passo del *Commentario alla Fisica di Aristotele* di Tommaso, in cui egli ci spiega ciò che è proprio delle procedure dimostrative nelle scienze fisiche, in quanto distinte dalle scienze matematiche, in quanto basate sulla necessità causale e non sulla necessità logica.

Nella "Lezione 15" del citato *Commentario* al Secondo Libro della *Fisica* che ha per titolo "Come si dà la necessità nelle realtà naturali", Tommaso commenta il passo aristotelico della *Fisica* [*Physica*, II, 199b,34 - 200b,9], fondamentale per i nostri scopi, dove lo Stagirita si domanda "se la necessità in fisica sia "ipotetica" (*ex hypothéseos*) o "semplice" (*aplôs*), cioè "apodittica" come in metafisica e in logica. Aristotele sceglie la prima alternativa, cioè il carattere ipotetico degli asserti della fisica, a causa della natura contingente degli enti fisici, ma con un importante differenza, secondo il carattere *a priori* o *a posteriori* delle cause coinvolte⁷⁵.

⁷⁵ Il passo aristotelico, citato nella Lezione dell' Aquinate, [*Physica*, II, 200a 15-33], è il seguente: "La necessità nelle matematiche è in un senso simile alla necessità nelle realtà che vengono ad esistere per mezzo di

Il commento di Tommaso a questo passo è molto interessante, perché egli fa un'analisi logica di questi due tipi di dimostrazione, mostrando una conoscenza approfondita della logica stoica delle proposizioni e delle due leggi fondamentali del *modus ponens* e del *modus tollens*, effettivamente non ancora esplicitate da Aristotele – per il quale la logica è solo una “tecnica”, un *organon* del ragionamento e non ancora una “scienza”, in base alla quale definire delle leggi – sebbene *in nuce* il cuore di queste due leggi sia già presente nel testo aristotelico citato nella nota precedente.

Inoltre, il commento dell'Aquinate dimostra una profonda co-

un'operazione della natura. Poiché una linea retta è ciò che è, è necessario che gli angoli di un triangolo devono essere uguali a due retti. Ma non è vero l'inverso: se, infatti, gli angoli [del triangolo, *N.d.R.*] non sono uguali a due retti, da ciò non ne consegue che la linea retta non è ciò che è [molto interessante perché ciò significherebbe che per Aristotele potrebbero darsi anche “geometrie non-euclidee”. In effetti, esistono diversi passi in cui Aristotele sembra accettare la possibilità di geometrie senza il quinto postulato, significativamente dati in contesti di argomentazioni di tipo etico. Il motivo di questa apparentemente strana contestualizzazione risulterà chiaro più oltre, *N.d.R.*]. Tuttavia, nelle cose che vengono ad essere per effetto di qualcosa, quell'inverso è vero. Se l'effetto ha da esistere, o esiste, anche ciò che lo precede esisterà o esiste. L'opposto, invece, è come nel caso precedente: se la conclusione non è vera, allora anche la premessa non sarà vera, così anche in questo caso: se l'effetto o 'ciò che è a motivo di qualcosa' non esisterà [allora neanche la causa esisterà o sarà esistita, *N.d.R.*]. Poiché anche questo [l'effetto, *N.d.R.*] è un antecedente, ma del ragionamento non dell'azione; mentre nella matematica l'antecedente è l'antecedente solo del ragionamento, perché colà non vi è azione. Se dunque ciò che c'è è una casa, questo e quello devono essere già fatti, o esserci già, o esistere già, o, in generale la materia relativa a quell'oggetto finale, i mattoni e le pietre se è una casa. L'oggetto finale, tuttavia, non è dovuto a queste cose, se non rispetto alla materia di cui è fatto, né verrà ad esistere a causa di esse. Eppure, se esse non esistessero affatto, neanche esisterà la casa, oppure la sega – la prima in assenza delle pietre, la seconda in assenza del ferro – proprio come, nell'altro caso, le premesse non saranno vere, se gli angoli del triangolo non sono uguali a due retti. Il necessario, allora in natura, è chiaramente ciò che noi denotiamo come materia e i cambiamenti in essa. Ambedue le cause dunque devono essere asserite dal fisico, ma specialmente il [ciò che emerge alla] fine: poiché questo è la causa della materia, e non viceversa” [traduzione e parentesi quadre mie].

noscenza della logica della “implicazione inversa” di cui egli suggerisce una versione modale *de re*⁷⁶ che è originale, sia rispetto al sillogismo modale aristotelico⁷⁷, sia rispetto alla versione modale di Lewis dell’implicazione materiale – la cosiddetta “implicazione stretta” di cui parleremo fra poco.

Infatti, Tommaso distingue nel suo commento al passo citato di Aristotele, due tipi di dimostrazione ipotetica in fisica, che corrispondono nella logica moderna, rispettivamente alla logica dell’implicazione *diretta* e *inversa*. La prima ci dice Tommaso è simile al carattere “semplice” delle dimostrazioni matematiche, che sono quelle in cui il fisico dimostra a partire da cause che sono *a priori* rispetto al processo fisico, cioè le cause *iniziali* da cui un processo fisico comincia, le cause *materiali ed efficienti*. Nell’epistemologia rappresentazionale della fisica moderna, corrispondono, alle *condizioni iniziali* (rispettivamente, *posizione e, quantità di moto*, le cosiddette “variabili canoniche”) della meccanica newtoniana e, nello specifico, della “meccanica razionale” di Laplace e Kant.

In un altro passo del suo *Commento alla Fisica (In Phys., II, 11, 1-9)*, Tommaso dice che questo è il caso dell’approccio meccanicistico alla fisica di Democrito. In esso, non c’è bisogno di alcuna “causa formale” che emerge dalla fine del processo (nel caso dell’esempio di Aristotele della “casa” della nota 75, l’ordinamento particolare di pietre e mattoni da cui emerge la casa), perché lo stato finale del processo fisico è completamente determinato e dunque predicibile dalle sue cause iniziali, efficienti e materiali. In tal caso, commenta Tommaso, le cause iniziali, sono come i postulati di una dimostrazione geometrica, mentre lo

⁷⁶ Si veda a tal proposito, il sintetico e schematico testo di Tommaso, *De propositionibus modalibus*, dove l’Aquinata dimostra una perfetta padronanza del tema.

⁷⁷ Cfr. sull’argomento, i classici lavori di, J. HINTIKKA, *Time and Necessity. Studies in Aristotle’s Theory of Modality*, Clarendon Press, Oxford, UK, 1972; J. VAN RIJEN, *Aspects of Aristotle’s Logic of Modalities*, Reidel, Dordrecht, 1989; ULRICH NORTMANN, «The Logic of Necessity in Aristotle: An Outline of Approaches to the Modal Syllogistic, Together with a General Account of De Dicto- and De Re- Necessity», *History and Philosophy of Logic*, 23 (2002), 253–265; MARKO MALINK, «A Reconstruction of Aristotle’s Modal Syllogistic 27 (2):», *History and Philosophy of Logic*, 27 (2006), 95–141.

stato finale è come un teorema dedotto da questi postulati, cosicché le dimostrazioni della fisica sono del tutto simili a quelle della geometria.

Tuttavia, nota Tommaso, non possiamo applicare questa logica a tutti i processi fisici di *generazione di forma*, tanto accidentale, come sostanziale nel sostrato dinamico materiale, che corrispondono a ciò che nella fisica moderna dei campi denotiamo come *transizioni di fase*. Infatti, la generazione di una nuova forma accidentale nella materia si ha in tutti quei processi di cambiamento di stato di una sostanza, senza che ne sia cambiata la “natura” (per esempio, il cambiamento di stato nell’acqua dallo stato solido (ghiaccio) a quello liquido. Al contrario, la generazione di una nuova forma sostanziale si ha quando cambia la natura della sostanza (p.es., in tutte le trasformazioni di sostanze chimiche e/o nella generazione biologica di nuovi individui). In ambedue i casi, infatti, le cause iniziali non sono affatto in grado di determinare completamente lo stato finale della dinamica, così da renderlo perfettamente predicibile a partire soltanto da esse. In questi casi, siamo costretti a considerare il processo come “un tutto”, lo stato finale incluso. E’ in questi casi, dunque, che emerge la *causa formale*⁷⁸.

Per sintetizzare, in questi casi dei processi di generazione di forma, continua Tommaso, la logica modale di questo tipo di inferenza e come quando ragioniamo di cose che “devono essere” (*debeant esse*), nella misura in cui queste sono il fine inteso da un determinato agente intenzionale, così da essere nella sua “potenza attiva”. Con una fondamentale differenza, tuttavia. Nel caso di un processo fisico, non è coinvolta alcuna *intenzionalità* e quindi nessun *finalismo*, antropomorficamente inteso. In tal modo non siamo nel dominio semantico della logica modale *deontica*, ma in quello della logica modale *aletica*, sebbene la forma sintattica delle due forme di dimostrazione è la medesima – si tratta cioè di un’analogia con un fondamento puramente concettuale, non rea-

⁷⁸ Recentemente, il filosofo tedesco U. Meixner ha sviluppato una trattazione semi-formalizzata della “necessità formale” nella teoria aristotelica della causalità, anche se dal punto di vista di un’ontologia formale del realismo logico (Platone) e non del realismo naturale come la nostra. Cfr., U. MEIXNER, «Der Begriff der Notwendigkeit in der Antike und in der Gegenwart», in *Possibility and Reality*, a cura di H. ROTT E V. HORAK, Ontos Verlag, Frankfurt, 2003, pp. 13-50.

le. Vedremo come, nel caso della nostra ontologia **RN**, la sua sintassi è essenzialmente quella del sistema formale di LM **KD45**, ma non presa nella sua interpretazione intensionale (semantica) *deontica*, bensì *aletica* e nella fattispecie *ontologica*.

Ciò che insomma Tommaso sta suggerendoci è che qui abbiamo a che fare con un'ontologia della causalità fisica non *meccanicistica*, ma *duale*, perché implica non solo un cambio nella *materia* (massa-energia), ma nella *forma* che ordina il processo – l'emergenza di un nuovo "dominio di coerenza di fase" come risultato di una "transizione di fase", nel linguaggio della QFT, caratterizzabile microscopicamente e *univocamente* mediante l'opportuna densità (condensato) dei relativi bosoni NG propri di quel dominio di coerenza. Si tratta, cioè, di un processo assolutamente imprevedibile, anche *statisticamente*, dallo stato iniziale, perché le componenti iniziali del processo *perdono la loro individualità* (cfr. l'uso del formalismo delle "quasi-probabilità" nella connessa funzione di Wigner in QFT), così che un nuovo *comportamento collettivo* del sistema fisico emerge, con proprietà fisiche totalmente differenti da quelle dei suoi componenti iniziali e, men che mai, dalla loro "somma". Ontologicamente, si tratta dell'emergenza di una *nuova forma naturale*, anche se l'Aquinate non usa il termine "emergenza", ma "eduazione" – evidentemente come distinto dal termine "deduzione", valido per le inferenze logiche della fisica meccanicistica⁷⁹.

In ambedue i casi – quello *intenzionale* e quello *fisico* – dell'emergenza di forma, dice Tommaso, è come se lo stato finale nell'inferenza logica – o inteso da un agente intenzionale (psicologia) o no (fisica) – giocasse il ruolo *dell'antecedente* dell'inferenza dell'agente intenzionale consapevole, o del fisico che studia simili

⁷⁹ E' evidente la similarità con l'ontologia soggiacente alla QFT e alla sua interpretazione del principio di dualità particella-onda che abbiamo discusso nel §3.2 $\langle \Delta n \Delta \varphi \geq \hbar \rangle$, laddove i modi collettivi del campo di forze, prevalgono sull'individualità delle particelle componenti. Terminologicamente, inoltre, ho potuto constatare che il termine "eduazione" (*education*), soprattutto applicato alle coerenze di fase dei campi, sta prendendo piede anche in molti testi e articoli scientifici di fisica, evidentemente perché il rigore dei fisici poco apprezza l'ambiguità del termine "emergenza", almeno finché non si arriverà a un chiarimento filosofico sufficiente circa l'uso di questo termine, cui, come vedremo l'ontologia formale del RN può dare un contributo.

processi, come già suggeriva Aristotele. Questo significa, formalmente, che siamo di fronte a una *implicazione inversa*, $\langle p \leftarrow q \rangle$, e non più a un'*implicazione diretta* o "materiale", $\langle p \rightarrow q \rangle$ come in meccanica.

Riportiamo, dunque, per intero il passo di Tommaso in cui afferma tutto questo.

In seguito, dove egli [Aristotele] dice: 'La necessità in matematica...' (200 a 15), sta confrontando la necessità che è nella generazione di realtà naturali con la necessità che è nelle scienze dimostrative. (...)

Nelle scienze dimostrative il necessario si trova costituito *a priori*, come quando diciamo che *se* la definizione di angolo retto è tale, *allora* è necessario che il triangolo sia tale, ovvero che abbia tre angoli uguali a due retti. Da ciò, infatti, che viene prima [*ex illo ergo priori*] e che viene assunto come principio, deriva necessariamente la conclusione [= se la premessa è vera, è vera anche la conclusione: *modus ponendo ponens*, del ragionamento ipotetico, *N.d.R.*].

Ma da ciò non consegue l'inverso, ovvero, che se la conclusione è [vera] allora lo è anche il principio [= "fallacia del conseguente", *N.d.R.*]. Poiché talvolta da premesse false può esser inferita una conclusione vera [= *l'implicazione materiale* della logica dei ragionamenti ipotetici, nel suo aspetto più «scandaloso» della cosiddetta "legge dello Pseudo-Scoto", *N.d.R.*]. Pur tuttavia resta il fatto che se la conclusione è falsa lo è necessariamente anche la premessa, poiché il falso non può essere inferito che dal falso [= *modus tollendo tollens*, *N.d.R.*].

In quelle cose però che avvengono a causa di qualcosa [*propter quidem*], sia secondo la tecnica o secondo la natura, *quell'inverso di cui sopra ne consegue*: poiché se lo stato finale è o sarà, è necessario che ciò che è prima dello stato finale o sia o sia stato. Se, infatti, ciò che viene prima dello stato finale non è, neanche lo stato finale è: e questo è come nelle dimostrative, se non c'è la conclusione non vi sarà il principio.

In altre parole, è evidente che in ciò che avviene a causa di qualcosa, *lo stato finale ha lo stesso ordine che nelle procedure dimostrative tiene il principio*. E questo poiché in effetti anche il fine è un principio: non dell'azione, però, ma del ragionamento [= "implicazione inversa" *N.d.R.*]. *Dal fine infatti cominciamo a ragionare delle cose che sono in relazione al fine* [= procedura di costituzione induttiva della legge, come premessa della conse-

guente procedura dimostrativa, *N.d.R.*] e nelle procedure dimostrative non ci si interessa dell'azione, ma del ragionamento, poiché nelle procedure dimostrative non vi sono azioni, ma solo ragionamenti. Quindi, è conveniente che il fine nelle cose che accadono in relazione ad uno stato finale tenga il luogo del principio nelle conseguenti procedure dimostrative. Perciò la similitudine [fra processi naturali e procedure dimostrative, *N.d.R.*] è da ambedue i lati, sebbene con un'inversione della relazione fra i due che deriva dal fatto che il fine è ultimo nell'azione, ciò che invece non è nella dimostrazione (*In Phys.*, II, xv, 273. Traduzioni e parentesi quadre mie).

Il suggerimento di Tommaso è dunque duplice:

1. La logica delle inferenze che si riferiscono a processi di generazione di forme in fisica è la logica della implicazione inversa, la logica della *necessità causale* (= causalità formale) in quanto opposta alla logica della *necessità logica*. E' una logica cioè dove la condizione necessaria è nell'antecedente (denotante la causa) non nel conseguente (denotante l'effetto). Il conseguente, viceversa è la condizione sufficiente per la verità dell'implicazione – vista l'impredicibilità logica dell'effetto. Di qui la distinzione fra *inclusione causale* (la causa, denotata dall'antecedente, *include* nel senso di "produce" l'effetto, denotata dal conseguente) in quanto opposta all'*inclusione logica* (la classe, denotata dal conseguente, *include*, nel senso di "contiene", la sottoclasse denotata dall'antecedente).
2. Se vogliamo giustificare un'appropriata ontologia formale della necessità causale, nella misura in cui – contro il *posit* leibniziano, ma anche contro l'ontologia concettualista della nozione (categoria) di causa proposta da Kant – non è riducibile alla necessità logica, è necessario fornire *una versione modale della implicazione inversa*.

In altri termini, proprio come la versione modale dell'implicazione materiale, cioè la cosiddetta "implicazione stretta" di C. I. Lewis fornisce una definizione semantica della necessitazione logica (*logical entailment*), cioè "*q* segue logicamente da *q*"⁸⁰, dobbiamo fornire una versione modale della *implicazione inversa* come la logica propria della semantica *necessitazione causa-*

⁸⁰ Cfr. G. E. HUGES e M. J. CRESSWELL, *A new introduction to modal logic*, Routledge, London, 1996, p. 203.

le, cioè “ p precede causalmente q ” (*causal entailment*). Il referente extra-mentale di essa è la cosiddetta “causalità formale” che include in un’unica totalità – stato finale e stato iniziale inclusi - il processo fisico della generazione di una nuova forma naturale. Ovvero, nei termini della fisica contemporanea dei sistemi complessi, *l’emergenza di un nuovo sistema complesso*, imprevedibile dalle sue condizioni iniziali. E’ questa idea il cuore teorico dell’ontologia formale del **RN**, in quanto distinta dall’AL di Carnap, come formalizzazione dell’ontologia atomista soggiacente alla meccanica newtoniana, e dall’ontologia formale del **RCN** come una delle possibili ontologie della QM.

4.3. La logica dell’implicazione inversa come logica della necessità causale o della “causalità formale”⁸¹

In sintesi, il doppio e convergente suggerimento di Tommaso e di Quine ci invita a una profonda riconsiderazione della teoria assiomatica della LM, ereditata dal lavoro pionieristico di C. I. Lewis all’inizio del XX secolo, ed alla base di tutto il moderno approccio assiomatico alla LM.

Come sappiamo, Lewis ha definite la nozione di implicazione stretta per evitare i paradossi ben noti dell’implicazione, legati al condizionale vero-funzionale “se...allora”, interpretato come *implicazione materiale* della logica matematica⁸². Ovvero, data la tavola di verità del connettivo “se...allora” (implicazione materiale):

⁸¹ Per questa sotto-sezione e la seguente sono debitore verso la tesi di dottorato discussa alla PUL nel 2013 del mio ex-studente e ora collaborator, il reverendo dottore Francesco Panizzoli. Cfr. F. PANIZZOLI, *Ontologia della partecipazione. Verso un’ontologia formale della metafisica della partecipazione di Tommaso d’Aquino*, Aracne, Roma, 2014.

⁸² Cfr. Al riguardo la profonda critica di Quine all’uso dell’espressione “implicazione materiale” per riferirsi al connettivo proposizionale “se...allora” in § 4.1.

| | p | q | $p \rightarrow q$ |
|----|-----|-----|-------------------|
| 1. | 1 | 1 | 1 |
| 2. | 1 | 0 | 0 |
| 3. | 0 | 1 | 1 |
| 4. | 0 | 0 | 1 |

Diversi paradossi, i cosiddetti “paradossi dell’implicazione materiale” ne derivano⁸³:

1. $p \rightarrow (q \rightarrow p)$
2. $\neg p \rightarrow (p \rightarrow q)$

Cioè: (1) data una proposizione vera, qualsiasi proposizione, vera o falsa, può implicarla; (2) se una proposizione è falsa, può implicare qualsiasi proposizione, vera o falsa. Inoltre, data una qualsiasi proposizione p come antecedente di (1) e/o di (2), vale anche il seguente paradosso:

3. $(p \rightarrow q) \vee (q \rightarrow p)$.

Per evitare i suddetti paradossi, suggerisce Lewis, è sufficiente rendere “più forte” la nozione di “implicazione”, così da distinguere fra implicazioni che valgono “materialmente” e implicazioni che valgono “necessariamente” o “strettamente”, cioè “è necessario che se p è vera lo sia anche q ”. Da questo segue la definizione di “implicazione stretta”, per cui usiamo il simbolo “ \rightarrow ”:

$$\text{Def.: } (\alpha \rightarrow \beta) := (\Box(\alpha \rightarrow \beta)) \leftrightarrow (\neg \diamond(\alpha \wedge \neg \beta)) \quad (4-1)$$

Praticamente, è come se avessimo eliminato dalla tavola di verità la seconda riga, così da validare la legge semantica che *in ogni valida inferenza la verità è sempre preservata*, cioè:

| | p | q | $p \rightarrow q$ |
|----|-----|-----|-------------------|
| 1. | 1 | 1 | 1 |
| 2. | 1 | 0 | 0 |
| 3. | 0 | 1 | 1 |
| 4. | 0 | 0 | 1 |

L’intrinseca relazione fra la semantica logica e l’implicazione stretta ci costringe a interpretare l’implicazione stretta semanticamente come “necessitazione” (*entailment*), come una relazione fra *proposizioni vere* (semantica) e non fra semplici formule-ben-

⁸³ Cfr. HUGES E CRESSWELL, *A new introduction to modal logic*, cit., p. 194.

formate (sintassi). Cioè $\langle p \rightarrow q \rangle$ significa propriamente “la verità di p implica la verità di q ” (“ p entails q ”), ovvero “ q segue logicamente da p ”, o, in altri termini, “l’inferenza da p a q è logicamente valida”. Tuttavia questa semantica dà origine ai cosiddetti “paradossi dell’implicazione stretta”. Sfortunatamente essi sono altrettanti modi – effettivamente i modi più forti – per affermare che il cosiddetto “principio dello Pseudo-Scoto” o “principio di esplosione (PE) (*ex contradictione sequitur quodlibet*) è una inferenza valida in logica (cfr. sotto, paradosso (4)). Secondo i già citati Huges e Cresswell⁸⁴ una lista dei principali paradossi dell’implicazione stretta è la seguente:

1. $(p \wedge \neg p) \rightarrow q$
2. $q \rightarrow (p \vee \neg p)$
3. $\neg \Diamond p \rightarrow (p \rightarrow q)$
4. $\Box q \rightarrow (p \rightarrow q)$

Ora, fu lo stesso Lewis ad affermare che se vogliamo evitare paradossi come (4) e gli altri che ne derivano, dobbiamo escludere altri principi intuitivamente validi, innanzitutto il cosiddetto “principio del sillogismo disgiuntivo”:

$$((p \vee q) \wedge \neg p) \rightarrow q \quad (4-2)$$

Tuttavia, per escludere questo principio dobbiamo necessariamente far riferimento alle cosiddette “logiche della rilevanza”⁸⁵. È cioè necessario definire un *valido criterio di rilevanza* di una premessa rispetto alla sua conseguenza – un criterio naturalmente garantito dalla nostra semantica della necessità causale, in quanto basata sulla LM della implicazione inversa –, il che significa usare la nozione di *negazione paraconsistente* che rifiuta il principio della generale co-estensività fra un’affermazione e la sua negazione. Si tratta cioè di usare una *logica dialettica*⁸⁶. Vedremo come la nostra ontologia formale del RN garantisce tutto questo introducendo una nozione di livelli semantici di necessità-verità delle proposizioni, ovvero “un principio di rigidità stratificata” nell’uso dei quantificatori universali – e quindi dell’operatore modale di necessità causale – nella logica modale

⁸⁴ Cfr. *Ivi*, p. 203.

⁸⁵ Cfr., *Ivi*, p.205.

⁸⁶ Cfr., JEAN-YVES BÉZIAU, «What is a paraconsistent logic?», in *Frontiers of paraconsistent logic*, a cura di D. BATENS E AL. , Research Studies Press , Baldock, 2000, pp. 95-111.

quantificata del RN⁸⁷.

Come primo passo, seguendo il suggerimento dell'Aquinate, introduciamo la nozione di *implicazione* inversa e della sua versione modale "stretta". La tavola di verità dell'implicazione inversa è la seguente:

| | p | q | $p \leftarrow q$ |
|----|-----|-----|------------------|
| 1. | 1 | 1 | 1 |
| 2. | 1 | 0 | 1 |
| 3. | 0 | 1 | 0 |
| 4. | 0 | 0 | 1 |

Ora, se interpretiamo l'implicazione inversa solo come una relazione sintattica fra formule ben formate, essa non avrebbe alcuna rilevanza per la logica di un'ontologia che come tale è un'interpretazione semantica di un particolare calcolo modale. Al contrario, se vogliamo usare l'implicazione inversa come caratteristica dell'inferenza propria di un'ontologia formale della necessità *causale*, in quanto distinta e complementare alla necessità *logica*, dobbiamo interpretare anch'essa secondo un'appropriata semantica modale come implicazione inversa *stretta* che pone in relazione di implicazione asserti *veri* perché denotano *cose in relazione causale*, come giustamente Quine richiedeva per giustificare la nozione di *implicazione metafisica* fra asserti (cfr. sopra §4.1). In

⁸⁷ Tale principio fornisce una formalizzazione di quel particolare uso "verticale" della dialettica nella metafisica tommasiana, che la distingue dall'immanentismo "orizzontale" della dialettica hegeliana essere-essenza, ed insieme dalla verticalità puramente "formale" della dialettica platonica. Essa costituisce il cuore teoretico della nozione tommasiana di "partecipazione trascendentale" dell'essere, come metafisica della causalità "totale" dell'essere dalla Causa Prima, secondo C. Fabro. Siffatta causalità prima, secondo l'Aquinate, si attua progressivamente nella gerarchia delle cause seconde come fondamento causale dei diversi generi di enti naturali di complessità crescente che costituiscono l'universo fisico. Si tratta di quella che Fabro definisce come "partecipazione categoriale", interna alla causalità trascendentale, come re-interpretazione originale del fondamento causale delle essenze da cause fisiche di universalità decrescente ("cause seconde" nella terminologia dell'Aquinate) propria dell'immanentismo metafisico di Aristotele, entro una metafisica della partecipazione dell'essere. Cfr. CORNELIO FABRO, *Partecipazione e causalità*, SEI, Torino, 1961.

questo caso, occorre definire la nozione di necessità *causale* come ciò che elimina la possibilità che un *effetto* (denotato da q) possa *esistere* (e quindi q essere vero) senza che la *causa* (denotata da p) *esista* – e quindi p essere vera. In altre parole, occorre eliminare la terza riga della tavola di verità dell'implicazione inversa:

| | p | q | $p \leftarrow q$ |
|----|-----|-----|------------------|
| 1. | 1 | 1 | 1 |
| 2. | 1 | 0 | 1 |
| 3. | 0 | 1 | 0 |
| 4. | 0 | 0 | 1 |

Da questa tavola di verità deriva l'interpretazione semantica della "implicazione inversa stretta" ($p \leftarrow q$), con il significato $\langle \neg \diamond (q \wedge \neg p) \rangle$, "è impossibile q e non p ", ovvero "la verità di q implica la verità di p " (" q entails p "), cioè, ontologicamente "la verità di q (denotante l'effetto) implica la verità di p (denotante la causa)", ovvero " p precede causalmente q ". Questa lettura di una *necessitazione ontologica (ontological entailment)* fa il pari con la *necessitazione logica (logical entailment)* di "la verità di p implica la verità di q " e quindi " q segue logicamente da p " della semantica dell'implicazione stretta di Lewis, a causa dell'inversione del connettivo fra il dominio logico e quello ontologico. In questo modo, siamo in grado di scrivere la definizione dell'implicazione inversa stretta come nozione-chiave della *necessità causale* e del suo operatore modale, $\langle \Box^c \rangle$:

$$\text{Def.: } (\alpha \leftarrow \beta) := (\Box^c (a \leftarrow \beta)) \leftrightarrow (\neg \diamond (\neg \alpha \wedge \beta)) \quad (4-3)$$

A causa della relazione fra *implicazione* e *inclusione* e poiché nel caso ontologico, la condizione necessaria è data nell'*antecedente* del condizionale – e non dal conseguente del condizionale, come nel caso logico \rightarrow , possiamo definire la nozione di *inclusione causale* ($p \supseteq_c q$) come complementare dell'inclusione logica ($p \subseteq q$)⁸⁸. Con-

⁸⁸ E' significativo come in questa logica della causalità la condizione sufficiente sia nell'effetto, in quanto la tavola di verità della implicazione inversa consente che $\langle (1 \leftarrow 0) \equiv 1 \rangle$. Tutto ciò esplicita molto bene l'impredicibilità dell'effetto dalla causa, cosicché la doppia implicazione che caratterizza una legge *ontologica* e non semplicemente *logica* si caratterizza per un verso inferenziale *ontologico* $\langle (1 \leftarrow 1) \equiv 1 \rangle$ e un verso inferenziale *logico* $\langle (1 \rightarrow 1) \equiv 1 \rangle$ (= fondazione induttiva o *a posteriori* di una legge

seguentemente, la nozione semantica di “ p precede causalmente q ”, o, sinteticamente, “ p causa q ”, è l’interpretazione ontologica dell’implicazione inversa stretta. Cioè, $(p \rightarrow_c q)$ è la controparte ontologica nell’ordine naturale della lettura semantica di $(p \leftarrow q)$, nel senso di “la verità di q (denotante l’effetto) implica la verità di p (denotante la causa)”.

Questa inversione della direzione dell’inferenza fra ordine ontologico e logico, fra *ordo essendi* e *ordo cognoscendi* (“ciò che è primo nell’essere è l’ultimo nel conoscere”) è tipica dell’epistemologia aristotelica. Abbiamo già incontrato questo adagio epistemologico come conclusione del brano sull’implicazione inversa di Tommaso citato in §4.2 e ne discuteremo ancora in §4.5.1 allorché, in base a questa analisi logica, potremo dare un contributo essenziale a “diradare le nebbie della complessità” riguardo alle assai ambigue nozioni di *backward causation* e *downward causation* spesso usate in un’epistemologia della complessità che evidentemente confondono ordine ontologico e logico⁸⁹. “All’indietro” e “dall’alto in basso” non sono i versi della relazione causale (ontologia), ma dell’inferenza logica induttiva ad essa associata!

Naturalmente, la collezione degli oggetti inclusi nel dominio di una stessa relazione causale non costituiscono propriamente una *classe*, così che nessun predicato di appartenenza di classe $\langle \in \rangle$ vale per essi, altrimenti si cadrebbe in quella che Quine definisce, nel suo già citato manuale di logica matematica, come la confusione fra predicazione “distributiva” (basata sull’appartenenza) e “cumulativa” (basata sulla sola inclusione)⁹⁰.

ontologica).

⁸⁹ È significativo che l’espressione “*lifting the fog of complexity*” sia il titolo di un saggio pubblicato recentemente su *Science* in cui si discute proprio del contributo essenziale della QFT nella fisica dei sistemi complessi per “diradare la nebbia” legata all’uso di queste ambigue nozioni. Il che conferma, dal punto di vista della fisica, che l’ontologia di RN sia quella appropriata ad una fisica fondamentale basata sulla QFT. Cfr. DIRK K. MORR, «Lifting the fog of complexity», *Science*, 343 (2014), 382-83.

⁹⁰ I medievali, sottolinea Quine, ben conoscevano questa fallacia come nel famoso paralogismo: “Gli Apostoli sono dodici, Pietro è apostolo, quindi Pietro è dodici”. Per questo, aggiungiamo noi, sia nella tradizione platonica che in quella tomista il termine usato per la “causalità formale” è quello di *partecipazione*, dell’individuo alla specie e della specie al genere. Una

A causa della stretta o “intrinseca” relazione fra le nozioni di “implicazione” e “verità” sia dal punto di vista logico che ontologico, noi potremo definire nell’ontologia formale di RN una condizione *ontologica* e non *logica* di appartenenza alla Classe Universale V, come distinta dalla semplice inclusione causale nella Collezione Universale V.

Potremo, infatti, supporre che, attraverso una comune dipendenza causale (inclusione causale) – effettivamente, una “necessitazione ontologica” – di ciascun elemento della Collezione Universale V da un solo “generatore primario” $\langle \Gamma \rangle$, può essere costruita una relazione “transitiva-simmetrica-riflessiva” (e quindi di *equivalenza*) “secondaria” fra questi elementi, e quindi un dominio di equivalenza fra di loro rispetto alla loro *esistenza*.

In questo modo, viene giustificata non solo la condizione *necessaria* (la comune dipendenza da $\langle \Gamma \rangle$), ma anche quella *sufficiente* (l’equivalenza rispetto all’esistenza) per la piena appartenenza alla Classe Universale V di ciascun suo elemento, secondo un *Assioma Ontologico di Fondazione (AOF)* dell’ontologia formale di RN, come vedremo.

4.4. L’ontologia formale di RN

Possiamo dare ora una presentazione sintetica, semi-formale dell’ontologia formale di RN e della sua logica.

4.4.1. Variabili

x, y, \dots : variabili individuali

α, β, \dots : meta-variabili individuali

P, Q, \dots : variabili predicative

ξ, ζ, \dots : variabili meta-predicative

partecipazione dove l’inversione della direzione, sia della relazione d’implicazione che di inclusione, fra ordine logico e ontologico è perfettamente giustificata anche nel linguaggio naturale, grazie, appunto al termine cumulativo e non distributivo di “partecipazione”. Tommaso estende, come sappiamo, la nozione dall’ambito predicamentale della causalità formale platonica a quello trascendentale della partecipazione dello *esse*.

4.4.2. Costanti

a, b, \dots : costanti individuali

μ, ν, \dots : meta-costanti individuali

P, Q, \dots : costanti predicative

φ, ψ, \dots : meta-costanti predicative

$E!$ $_$ predicato di esistenza

Γ : generatore primario (**GP**)

γ_n : generatori secondari (**GS**)

4.4.3. Collezioni

$\overset{\subset}{\mathbf{V}}$: collezione universale [include solo individui perché nessun sotto-dominio è definito in essa]

\mathbf{V} : classe universale

$\mathbf{\Lambda}$: classe vuota

A, B, C, \dots : generi naturali [generi, specie di enti naturali...]

$\mathbf{P}, \mathbf{Q}, \mathbf{R}, \dots$: classi logiche

4.4.4. Operatori modali

\Box/\Diamond : necessità/possibilità logica

\Box^c/\Diamond^c : necessità/possibilità causale

4.4.5. Connettivi

- $\neg, \wedge, \rightarrow, \leftarrow, \leftrightarrow$: connettivi (predicati) proposizionali
 - *non, et, $\Rightarrow, \Leftarrow, \Leftrightarrow$* : meta-connettivi proposizionali
 - $(\alpha \rightarrow \beta) := (\Box(\alpha \rightarrow \beta)) \leftrightarrow (\neg\Diamond(\alpha \wedge \neg\beta))$: implicazione materiale stretta
- $\models (p \rightarrow q)$: necessitazione logica (*logical entailment*), cioè, “la verità di p implica la verità di q ”, o “ q segue logicamente da p ”, o “l’inferenza da p a q è logicamente valida”

- $(\alpha \leftarrow \beta) := (\Box^c(a \leftarrow \beta)) \leftrightarrow (\neg \Diamond(\neg \alpha \wedge \beta))$: implicazione inversa "stretta"
 $\models (p \leftarrow q) = (p \rightarrow_c q)$: necessitazione ontologica (*ontological entailment*), cioè, "la verità di q (denotante l'effetto) implica la verità di p (denotante la causa)", ovvero " p precede causalmente q ", ovvero "l'inferenza da q a p è causalmente valida"
- $(p \supset_c q)$ vs. $(p \subseteq q)$: inclusione causale vs. logica, i.e., " p include causalmente q " vs. " q include logicamente p ".

4.4.6. Quantificazione

\forall, \exists : vincolanti variabili che denotano ciò che esiste potenzialmente

\forall^e, \exists^e : vincolanti variabili che denotano ciò che esiste attualmente

\forall^m, \exists^m : vincolanti variabili che denotano ciò che esiste mentalmente (concetti)

$\hat{x}...$: la collezione/classe di x tali che...

4.4.7. Assiomi modali e corrispondenze con la logica del primo ordine

N: $\langle (\mathbf{X} \rightarrow \alpha) \Rightarrow (\Box \mathbf{X} \rightarrow \Box \alpha) \rangle$

K: $\langle \mathbf{k} + \mathbf{N} \rangle$, sistema modale fondamentale, dove \mathbf{k} è il calcolo proposizionale ordinario.

T: $\langle \Box \alpha \rightarrow \alpha \rangle (\forall x) R(x, x) : R$ è riflessiva

D: $\langle \Box \alpha \rightarrow \Diamond \alpha \rangle (\forall x \exists y) R(x, y) : R$ è seriale

4: $\langle \Box \alpha \rightarrow \Box \Box \alpha \rangle (\forall x, y, z) ((R(x, y) \wedge (R(y, z))) \rightarrow (R(x, z))) : R$ è transitiva

5 o **E**: $\langle \Diamond \alpha \rightarrow \Box \Diamond \alpha \rangle (\forall x, y, z) ((R(x, y) \wedge (R(x, z))) \rightarrow (R(y, z))) : R$ è euclidea

4.4.8. Assioma di fondazione per RN (Assioma Ontologico di Fondazione, AOF)

Premessa: Con “assioma di fondazione” in un sistema assiomatico s’intende generalmente un assioma mediante cui si escludono determinate proprietà indesiderate degli oggetti costruibili (dimostrabili) a partire dagli altri assiomi della teoria. P.es., nella teoria assiomatica degli insiemi di Zermelo-Fraenkel con assioma di scelta (ZFC), l’assioma di fondazione è il cosiddetto “assioma di regolarità” (ogni insieme non vuoto A contiene un elemento B disgiunto da A) con cui si esclude che: 1) un insieme possa essere elemento di se stesso; e 2) esistano successioni infinite discendenti di insiemi, ovvero si garantisce l’esistenza di *Ur-Elements*. Nel nostro caso, occorre un particolare assioma di fondazione per evitare che l’auto-identità possa essere condizione necessaria e sufficiente per l’appartenenza a \mathbf{V} , e dunque per evitare l’uso di logiche libere per denotare oggetti non-attuali nella teoria, in una quantificazione “oggettualista” (cfr. le citazioni Garson all’inizio di §2.1.1)⁹¹.

⁹¹Infatti, se “possibilismo”, come alternativa allo “attualismo” ontologico, implica “concettualismo”, non vi è via d’uscita e il realismo concettuale di un Cocchiarella o di un Carnap, e quindi la rinuncia all’oggettualismo in una teoria della quantificazione sembra l’unica via. Per esempio, come nel RC di Cocchiarella, occorre usare un “assioma di comprensione” come “assioma di specificazione”, per garantire domini di quantificazione ai predicati della teoria, senza supporre che i loro elementi debbano essere tutti attualmente esistenti, ma solo “possibili” perché, p.es., si riferiscono ai “dinosauri” (possibilità biologica) o agli “ippogrifi” (possibilità mitologica). A meno che, l’auto-identità non divenga solo condizione *sufficiente* per appartenere a \mathbf{V} e dunque per esistere *attualmente*, mentre la condizione *necessaria* per l’esistenza e quindi per la stessa *identità-differenza*, non sia fondata altrove con un opportuno assioma, con cui costruire le specificazioni ulteriori e quindi l’appartenenza a \mathbf{V} . Viceversa, alla nostra ontologia va benissimo che esistano successioni illimitate di inclusioni di insiemi,

Dunque:

$\forall x \left(x \subset \overset{c}{\mathbf{V}} \right) \leftrightarrow \hat{x}(\Gamma \rightarrow_c x)$: Principio di inclusione nella Collezione

Universale $\overset{c}{\mathbf{V}}$ (che non è la Classe Universale \mathbf{V}), cioè:

$$(\text{AOE}_1) : \forall x \left\{ \begin{array}{l} \left(\left((\Gamma \rightarrow_c x) = 1 \right) \rightarrow x \subset \overset{c}{\mathbf{V}} \right) \leftrightarrow \exists x \\ \text{oppure} \\ \left(\left((\Gamma \rightarrow_c x) = 0 \right) \rightarrow x \not\subset \overset{c}{\mathbf{V}} \right) \leftrightarrow \neg \exists x \end{array} \right.$$

Dove: $\left(\left(\Gamma \supset_c \overset{c}{\mathbf{V}} \right) \wedge \neg(\Gamma \subseteq \mathbf{V}) \right)$. Da cui:

Definizione di Generatore Primario (**GP**) $\langle \Gamma \rangle$:

$$\mathbf{Def}(\mathbf{GP}) : \Gamma := \left(\left(\Gamma \supset_c \overset{c}{\mathbf{V}} \right) \wedge \neg(\Gamma \subseteq \mathbf{V}) \right)$$

Possiamo così definire un Principio di Causazione Primaria (**CP**),

$\overset{c}{R}_\Gamma$:

Def(CP): $\overset{c}{R}_\Gamma := \forall x(\Gamma \rightarrow_c x)$, cioè, "Ogni cosa esiste potenzialmente nel potere causale di Γ "

Per giustificare l'esistenza di differenze fra gli elementi di $\overset{c}{\mathbf{V}}$ e quindi l'auto-identità di ciascuno di essi, così da garantire la loro

condizione che è garantita per esempio dalla "teoria degli insiemi non ben-fondati" di Aczel, che tanta importanza ha oggi nella teoria della Coalgebra Universale. Effettivamente, la nostra teoria può essere completamente formalizzata solo nell'ambito delle coalgebre modali che forniscono una semantica modale completa di successioni illimitate di inclusioni. Una completezza che l'uso della semantica relazionale di Kripke di cui ci avvaliamo in questa formalizzazione di **RN**, non è in grado di giustificare. Per questo si parla qui di "teoria semi-formale" dell'ontologia **RN**.

appartenenza alla classe universale **V**, è necessario dimostrare un Lemma di Causazione Secondaria (**LCS**), e cioè:

$$(\mathbf{LCS}) : \forall x, y [((\Gamma \rightarrow_c x) \wedge (\Gamma \rightarrow_c y) \wedge (y \neq x)) \Rightarrow (x \rightarrow_c y)]$$

Dimostrazione: Segue immediatamente da (**AOF**₁) e dalla regola euclidea $\langle (\forall x, y)(xRy) \wedge (xRz) \rightarrow (yRz) \rangle$ applicata alla relazione (\rightarrow_c) .

Commento 1: Con ciò noi rispondiamo per mezzo di (**LCS**), alla profonda notazione di Quine rispetto alla nozione di implicazione metafisica riportata in §4.1. Laddove si diceva che una soddisfacente teoria dell'implicazione metafisica richiederebbe una rigorosa definizione delle condizioni sotto le quali le "oscure" entità designate dai due asserti posti in relazione di implicazione metafisica possono essere dette "la medesima o differenti entità". Fra parentesi, **AOF**₁ ci fornisce anche una prima "illuminazione" per diradare "l'oscurità" che avvolge simili entità. Sono semplicemente gli enti fisici che "erano", "sono" o "saranno" esistenti nell'(gli) universo(i), nella misura in cui la loro *comune esistenza* (*esse commune*, per Tommaso) sono il prodotto di una fondamentale o "primaria" causalità (meta-)fisica⁹³ che abbraccia l'(e) intera(e) storia(e) dell'(gli) universo(i), e nella misura in cui le loro differenti specie (generi naturali) sono il prodotto di cause fisiche "secondarie", a differenti epoche di (ciascuna) storia di universo.

Commento 2: In altre parole, ogni differenza reale nell'ontologia **RN** ha una giustificazione *causale*, attraverso il *tessuto* di "cause seconde" entro un dato universo⁹⁴, e mai fuori di esso. Un siffatto

⁹³ Si tratta si una causalità universale metafisica o fisica, a seconda se nel suo potere causale viene inclusa o meno l'esistenza della "materia prima", in QFT, "vuoto quantistico". Cfr. §5.

⁹⁴ Quest'ontologia formale corrisponde all'ontologia fisica aristotelica, dove tutte le "qualità" (*qualia*) hanno un fondamento causale (sono cioè *actiones-*

principio rende conto ontologicamente del carattere “energeticamente aperto” di ogni sistema fisico, all’interno di ciascun universo “energeticamente chiuso”⁹⁵.

Quindi, sulla base di (LCS), possiamo definire la nozione di Generatore Secondario (GS), γ :

$$\text{Def (GS): } \gamma := (\exists \gamma) (\forall y, z) \left[\begin{array}{l} \left(((\gamma \rightarrow_c y) \wedge (\gamma \rightarrow_c z)) \wedge \right. \\ \left. \wedge ((y \rightarrow_c z) \wedge (z \rightarrow_c y)) \right) \Rightarrow \\ \left. \Rightarrow (y = z) \wedge (\gamma \neq (y, z)) \right) \end{array} \right]$$

Possiamo definire anche un Principio di Causazione Secondaria

$$\text{Def (CS): } R_\gamma := (\forall x, y (x = y) \Rightarrow (\gamma \rightarrow_c x) \wedge (\gamma \rightarrow_c y)) \wedge \\ \wedge (\forall w, z (w \neq z) \Rightarrow ((\gamma' \rightarrow_c w) \wedge (\gamma'' \rightarrow_c z)))$$

cioè, “Ogni differenza fra enti ha la sua spiegazione causale nell’appropriato generatore $\langle \gamma \rangle$ ”.

passiones).

⁹⁵ Per questa ragione l’azione causale dal primo generatore $\langle \Gamma \rangle$ non può essere interpretata in RN come una “riserva di energia” per tutto l’universo, come se fosse una ridicola “condizione al contorno” per la dinamica dell’universo stesso. Questa, per esempio, è l’inconsistenza fondamentale della metafisica di Descartes con la sua teoria di Dio che fornisce l’impulso iniziale al sistema inerziale del suo universo meccanicistico (il dio della “spintarella iniziale”). Ma questo, come abbiamo visto, non è l’errore in cui cade la metafisica della Causa Prima di Tommaso – come erroneamente gli attribuisce Hawking nel suo ultimo libro – che si pone su un piano totalmente diverso, quello della fondazione dell’essere, non dell’energia per compiere un lavoro. Al contrario, la metafisica tommasiana – soprattutto in quanto formalizzata e quindi de-storicizzata in RN – può essere l’ontologia associabile alla cosmologia evolutiva cui questo libro fa riferimento, depurata da tutta l’ideologia antireligiosa che purtroppo lo pervade. Cfr. STEPHEN HAWKING E LEONARD MLODINOW, *The grand design*, Bantam Books, New York, 2010.

E' evidente che $\langle \overset{\rightarrow c}{R}_\gamma \rangle$ è annidata entro $\langle \overset{\rightarrow c}{R}_\Gamma \rangle$. Cioè, la potenza causale sulle *nature* (essenze, generi, specie,...) dei differenti enti naturali, $\langle \overset{\rightarrow c}{R}_\gamma \rangle$, dipende ultimamente dalla potenza causale universale sull'*esistenza* di tutte le cose di $\langle \overset{\rightarrow c}{R}_\Gamma \rangle$.

In altre parole, i generatori secondari sono elementi della collezione universale $\overset{\bar{c}}{V}$, che agiscono su altri elementi di $\overset{\bar{c}}{V}$, per mezzo dei quali le differenze/identità fra gli elementi stessi ultimamente dipendono. In tal modo, è possibile definire una doppia, composita relazione di "necessitazione causale" (*causal entailment*) da $\langle \Gamma \rangle$ e $\langle \gamma \rangle$, cioè, $\left(\overset{\rightarrow c}{R}_\Gamma \circ \overset{\rightarrow c}{R}_\gamma \right)$ – o più semplicemente,

definire il correlato schema fondazionale: $\langle (\Gamma \circ \gamma) \rightarrow_c _ \rangle$ – che definisce, rispettivamente, la condizione *necessaria* e quella *sufficiente* per l'appartenenza alla Classe Universale $\overset{\bar{c}}{V}$, e quindi per l'*esistenza attuale* di qualsiasi ente fisico.

Infatti, sulla base di **(GP)** e **(GS)**, possiamo definire anche un Principio⁹⁶ di *Auto-Identità Ontologica (AIO)*, cioè di "auto-identità causalmente fondata" come versione formale dello "essere per se stesso" di ogni entità fisica esistente *in generale*, sia esso individuo o specie – nei termini della metafisica del naturalismo aristotelico di ogni "sostanza prima" (individuo) o "seconda". Cioè, invece di avere, come in logica e nell'ontologia del realismo logico la classica definizione di "auto-identità":

⁹⁶ Ciò che in questo saggio definiamo con "principio" è una delle proposizioni-base della teoria insieme con assiomi e definizioni. In una teoria completamente formalizzata sostituiremmo "principio" con "regola d'inferenza" del calcolo caratteristico della teoria.

$$(x = x) := (\forall x, w)(x \in w) \leftrightarrow (x \in w)$$

Avremo:

$$\mathbf{Def(AIO)}: (x = x) := (\forall^e x)((\Gamma \circ \gamma) \rightarrow_c x) \leftrightarrow ((\Gamma \circ \gamma) \rightarrow_c \tilde{x})$$

Dove l'uso del simbolo $\langle \tilde{x} \rangle$ sta ad indicare il necessario "rispecchiamento" (omomorfismo) di $\langle x \rangle$ in $\langle \tilde{x} \rangle$, ovvero una formalizzazione in un contesto causale della proprietà di "auto-riferimento formale" che la nozione di "perseità" della metafisica classica esprime. Esso corrisponde, nel formalismo della QFT in fisica fondamentale, a quell'indispensabile "raddoppio dei gradi di libertà" (RGL), e conseguente "raddoppio delle algebre" (algebra/co-algebra) di cui abbiamo accennato in §§3.2 - 3.3.

In questo modo, possiamo definire anche un principio di appartenenza alla Classe Universale \mathbf{V} nell'ontologia di \mathbf{RN} :

$$\mathbf{Def}: \forall^e x (x \in \mathbf{V}) \leftrightarrow \hat{x}((\Gamma \circ \gamma) \rightarrow_c x)$$

Possiamo così completare \mathbf{AOF}_1 con la sua seconda parte, cioè:

$$\mathbf{AOF}_2: \forall^e x \left\{ \begin{array}{l} (((\Gamma \circ \gamma) \rightarrow_c x) = 1) \rightarrow x \in \mathbf{V} \leftrightarrow \exists^e x \\ \text{oppure} \\ (((\Gamma \rightarrow_c x) = 0) \rightarrow \neg x \subset \Lambda) \leftrightarrow \neg \exists x \end{array} \right.$$

In tal modo, sia l'esistenza di \mathbf{V} e del suo complemento Λ è garantita, poiché nella necessitazione causale $\langle (p \rightarrow_c q) \rangle$, per $p \equiv 1$, sia $q \equiv 1$ che $q \equiv 0$ sono conseguenze vere. In altri termini l'esistenza di tutti gli enti in quanto causati è *contingente*.

4.4.9. LM del calcolo proposizionale di \mathbf{RN}

Effettivamente, la LM del \mathbf{RN} è una logica multi-modale, causa la presenza di due operatori modali primitivi: $\langle \Box \rangle$, indicante la

necessità logica e $\langle \Box \rangle$, indicante la necessità causale. In ogni caso, se l'introduzione dell'operatore modale di necessità $\langle \Box \rangle$ garantisce che possiamo assumere nella logica di **RN** l'assioma modale **K**, possiamo assumere anche l'assioma modale **5** vista la *relazione euclidea* (non transitiva) esistente fra i generatori annidati $\langle \Gamma, \gamma \rangle$ e tutti gli elementi di **V** che essi costituiscono causalmente. Ovviamente possiamo assumere anche una *relazione seriale* nel calcolo di **RN**, così che valga anche l'assioma modale **D**, e, finalmente, una *relazione riflessiva secondaria e transitiva secondaria* che valgano solo fra gli elementi di **V** (e quindi con l'esclusione del generatore primario $\langle \Gamma \rangle$), come vedremo subito. In questo modo, anche l'assioma **4** vale nel calcolo proposizionale modale di **RN**, cosicché il sistema di logica modale che costituisce la struttura sintattica fondamentale di **RN** è il Sistema **KD45**, ovvero un sistema **S5 secondario**, come viene definito generalmente in LM, ovvero un sistema **S5** in cui la relazione di equivalenza che caratterizza ogni **S5**, è in questo caso generata da altre relazioni. Infatti, in **RN**, una *relazione transitiva-simmetrica-riflessiva secondaria* vale fra tutti gli elementi di **V**, che per questo costituiscono una classe di equivalenza, la classe **V**, appunto, con l'esclusione di $\langle \Gamma \rangle$, ma generata dalla *relazione euclidea non-transitiva-asimmetrica e non-riflessiva* che tutti gli elementi di **V** condividono con $\langle \Gamma \rangle$.

Tutto ciò può essere reso immediatamente evidente nel calcolo modale di Kripke – usando cioè la sua semantica relazionale “a mondi possibili” – dal seguente calcolo delle relazioni, usando un universo semplificato **{W}** con tre soli mondi possibili $\{u,v,w\}$. Nella nostra interpretazione ontologica propria di **RN**, il mondo u rappresenta il primo generatore $\langle \Gamma \rangle$, e il sotto-insieme $\{v,w\}$, rappresenta una classe **V** a due soli elementi con i quali u è in relazione non-transitiva, non-riflessiva, non-simmetrica. La sem-

plicissima derivazione è la seguente. Per la relazione euclidea si può fondare una relazione *transitiva secondaria* nei due sensi – e perciò anche *simmetrica secondaria* – fra v e w : $\langle (\forall u, v, w) ((uRv \wedge uRw) \rightarrow (vRw \wedge wRv)) \rangle$; quindi, per la relazione seriale si può fondare una relazione *riflessiva secondaria* per v e per w : $\langle (\forall u, v) ((uRv \rightarrow vRv)) \rangle$; in conclusione, si può fondare una relazione *transitiva-riflessiva-simmetrica (equivalenza)* per v e per w , che costituiranno così *una classe di equivalenza secondaria*, ovvero generata da u : $\langle (\forall u, v, w) ((uRv \wedge uRw) \rightarrow (vRw \wedge wRv \wedge vRv \wedge wRw)) \rangle$. Tutto ciò può essere sintetizzato nei seguenti grafici di relazioni della semantica relazionale di Kripke:

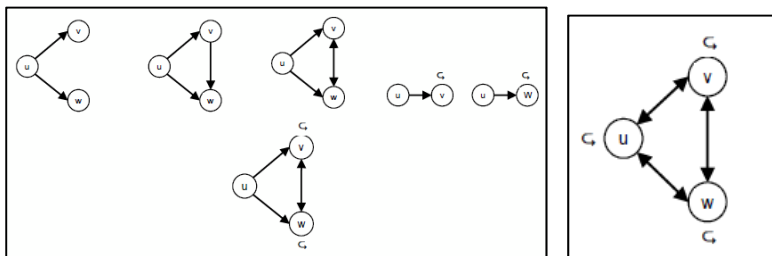


Figura 2. (Sinistra): Grafico delle relazioni con cui si genera una classe di equivalenza $\{v, w\}$ entro un sistema **KD45** $\{u, v, w\}$ (ultimo grafico in basso). (Destra): Grafico di un sistema **S5 (KT45)** $\{u, v, w\}$, caratterizzato da una relazione di equivalenza fra tutti i suoi membri. Come si vede, l'insieme di mondi $\{v, w\}$ di **KD45** (sinistra) corrisponde a un sistema **S5** (destra) "secondario" o "generato" da $\{u\}$, attraverso una R asimmetrica, intransitiva e irriflessiva. Da qui la denotazione di **KD45** anche come **S5 secondario**.

Per tutto questo, possiamo affermare che il sistema **KD45** o **S5 secondario** è la LM di **RN**. Si tratta ora di arricchire la **V** di **RN** di domini e sotto-domini. Ovvero, ontologicamente, di arricchire di generi e specie di enti diversi l'universo della teoria e, logicamen-

te, di giustificare quale sia la LMQ di **RN**. La struttura che ne risulterà, come vedremo subito, è quella di un **KD45 annidato**.

4.4.10. LMQ del calcolo dei predicati di **RN**

La LMQ di **RN** è un calcolo dei predicati di ordine superiore al primo, che caratterizza una semantica modale relazionale in cui esiste *una struttura gerarchica annidata di mondi possibili* di complessità crescente. Dal punto di vista semantico, si tratta di un'estensione della semantica relazionale di Kripke a mondi possibili che prevede mondi appartenenti a un solo ordine, in quanto vengono introdotti mondi di ordini superiori al primo.

Infatti, molti altri domini e sotto-domini fra gli elementi di **V** possono essere “costruiti” o *implicati causalmente*, per mezzo di una struttura annidata di generazione di specie, come procedura di *modalità iterativa* mediante *storie-di-mondi annidate* – effettivamente una struttura di sistemi **KD45** annidati. La definizione della nozione di **GS** data in precedenza esemplifica il livello di partenza fondamentale di una siffatta procedura di annidamento, cioè il livello 0. Ovviamente, a causa di **AOF₂** ogni livello $n \geq 0$ costituisce un nuovo livello di attualizzazione dell'intero uni-(multi-)verso **W**, ciascuno attualizzante progressivamente al livello n il potere causale di $\langle R_{\Gamma \circ \gamma_{n-1}} \rangle$, d'ora in poi, $\langle R^* \rangle$, un sottoinsieme di mondi/oggetti.

Questa procedura costruttiva è definita come una particolare procedura di *dispiegamento (unraveling)*, mediante la quale nuovi insiemi di relazioni di equivalenza fra mondi/oggetti – e quindi nuovi domini/sotto-domini di **V** – sono *stipulati ontologicamente* mediante $\langle R^* \rangle$, come risultato di particolari *storie-di-mondi (world-*

stories)⁹⁷. Generalmente la procedura di *unraveling* (PU) nella LM proposizionale (teoria dei modelli inclusa) e in informatica si definisce come segue⁹⁸:

PU: Sia (W, R) un *frame* della semantica relazionale di Kripke generato da qualche punto (oggetto) $w \in W$, dove $\{W\}$ è un qualche sotto-insieme (mondo) dell'universo $\{\mathbf{W}\}$, a qualche passo k della sua evoluzione. Lo *unraveling* di (W, R) attorno a w è il *frame* (\vec{W}, \vec{R}) dove:

(I) \vec{W} è l'insieme di tutte le sequenze finite

(w, w_1, \dots, w_n) tali che $w, w_1, \dots, w_n \in W$ e $Rww_1, \dots, w_{n-1}w_n$;

(II) Se:

$\vec{s}_1, \vec{s}_2 \in \vec{W}$, allora $\vec{R}\vec{s}_1\vec{s}_2$, se vi è un qualche $v \in W$ tale che $\vec{s}_1 + (v) = \vec{s}_2$

dove $\langle + \rangle$ denota la concatenazione di sequenze s .

Se: $\mathfrak{M} = (W, R, V)$ è un modello e (\vec{W}, \vec{R}) è lo *unraveling* di (W, R)

intorno a w , e se p è una variabile proposizionale, allora possiamo definire una funzione di valutazione \vec{V} su (\vec{W}, \vec{R}) come segue:

⁹⁷ Di fatto, tale procedura è una rilettura nell'ambito di RN e quindi di una LMQ oggettualista, ma non-concettualista –come vedremo subito– di un precedente lavoro di R. Hayaki, frutto del suo dottorato a Princeton, che però, per quanto esplicitato da Garson e riportato all'inizio di §2.1, per poter distinguere fra oggetti attuali e non-attuali, è costretta ad usare una "logica libera" e quindi *dummy names* – nomi che non denotano oggetti. Cfr. R. HAYAKI, «Actualism and higher-order worlds», *Philosophical studies*, 115 (2003), 149-78. Grazie ad OAF₁₋₂ invece, in RN gli oggetti non-attuali sono oggetti "possibili", visto che RN è un'ontologia possibilista senza bisogno di essere "concettualista" come il RCN di Cocchiarella. D'altra parte sarebbe ben strana un'ontologia fisica che ha come componenti essenziali oggetti che non esistono, mentre invece ha senso in un'ontologia come quella di Hayaki che è applicata ad oggetti della *fiction*.

⁹⁸ Cfr. P. BLACKBURN, M. DE RIJKE E Y. VENEMA, *Modal logic. Cambridge tracts in theoretical computer science*, Cambridge UP, Cambridge, UK, 2002, p. 218.

$$\vec{V}(p) = \{(w, w_1, \dots, w_n) \in \vec{W} \mid w_n \in V(p)\}$$

Il modello $\vec{\mathfrak{M}} = (\vec{W}, \vec{R}, \vec{V})$ può essere allora definito come il “dispiegamento” (*unraveling*) di \mathfrak{M} intorno a w^{99} .

In conclusione, per mezzo dello *unraveling*, ogni insieme di formule diviene *soddisfacibile* sulla base di un albero *irriflessivo, asimmetrico e intransitivo* (Cfr. **Figura 3**).

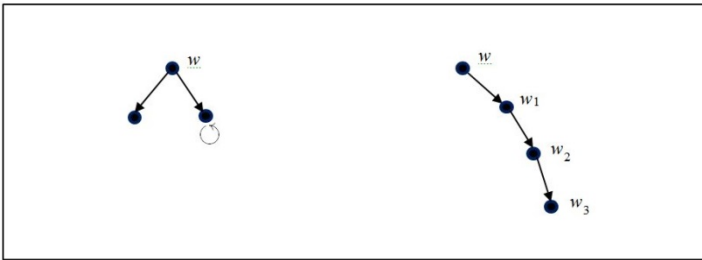


Figura 3. Destra: schema di *unraveling* attorno al punto di origine w .

A questo punto, possiamo definire la nozione di *procedura di stipulazione ontologica (PSO)* per mezzo della quale la relazione causale composta R^* può costruire adeguate storie-di-mondi per mezzo dell’*unraveling* – che in **RN** significa “attualizzazione” – al passo n di una data storia, di nuovi *domini* di mondi-oggetti, esistenti nel potere causale nella sequenza di generatori secondari, dal passo $n=0$ delle origini, fino al passo $n-1$, tutti (causalmente) inclusi nella potenza causale fondante del generatore primo.

⁹⁹ Tipici esempi di *unraveling* in informatica sono le diverse concatenazioni ad albero di *query* consistenti per database semantici, attorno a un concetto di partenza.

Commento 1: È evidente che nella QFT ogni “attualizzazione” è relativa a una delle infinite, inequivalenti RSS del vuoto quantistico, mentre la creazione di “domini di coerenza” in QFT corrisponde alla costituzione di domini di mondi-oggetti in RN. Un’analogia (identità di struttura) fra i due modelli – algebrico (QFT) logico-ontologico (RN) – è confermata dal fatto che i domini a più di due oggetti si costituiscono nell’una e nell’altra struttura formale (ontologica in RN e algebrica in QFT) attraverso una moltiplicazione di relazioni di “raddoppio dei gradi di libertà”, o “rispecchiamento” (*mirroring*), essendo R , comunque e solo una relazione binaria sia in RN che in QFT, come vedremo subito analizzando la struttura di (PSO).

Commento 2: Abbiamo definito la relazione di generazione di domini di oggetti una PSO in chiaro riferimento – anche qui seguendo Hayaki – all’affermazione di Kripke che nella sua semantica relazionale i mondi possibili non sono “osservati” (supposti esistenti), ma “stipulati” (costruiti secondo regole). Come la Hayaki giustamente esemplifica è come in geometria quando stipuliamo l’esistenza di un triangolo in vista della dimostrazione di un teorema (p.es., quando diciamo “poniamo il triangolo equilatero ABC ”). Sebbene si tratti di una descrizione definita, essa non denota un singolo triangolo equilatero esistente, ma piuttosto una costruzione logica riferentesi a uno qualsiasi di quella “specie” (dominio) di triangoli, quelli equilateri appunto che soddisfanno tutte le proprietà caratterizzanti quella classe di oggetti. In RN la “stipulazione ontologica” non si riferisce a una procedura costruttiva logica, ma ontologica che soddisfa assiomi e leggi non di una data geometria, ma di una data ontologia, quella di tipo naturalistico-causale di RN, nel nostro caso. Infatti, per appartenere a (esistere come un ente di) quella data specie (genere naturale) di oggetti in ontologia, non bisogna soddisfare a un dato insieme di

definizioni di proprietà come per l'appartenenza *logica* di classe, ma *soddisfare a un concorso di cause* comune a tutti gli enti di quella specie. Lo vedremo nella prossima sottosezione.

(PSO): Per R^* (di fatto: $\langle R_{\Gamma \circ \gamma_n} \rangle$), occorre soddisfare le seguenti condizioni¹⁰⁰:

1. R^* forma un albero, cioè:
 - a. R^* è *generata*. Ha un punto di origine $\langle \gamma_n \rangle$, in uno dei mondi attuali allo stato W_n dell'evoluzione dell'universo. $\langle \gamma_n \rangle$, è quindi R^* -relato con ciascuno dei mondi del successivo più alto livello $n+1$. Il punto di origine della concatenazione è ovviamente il livello 0. I mondi immediatamente stipulati da 0 sono di livello 1, e mediamente, attraverso ciascun elemento della catena, tutti quelli successivi. Possiamo definire perciò tutti i generatori secondari $\langle \gamma_n \rangle$, come altrettanti "antenati" di indice $n \geq 0$ denotante il livello (epoca) di storia-del-mondo, in quanto progressivamente generanti una storia-del-mondo con nuovi livelli, $n+k$, di mondi/oggetti stipulati, attraverso un'iterazione annidata della relazione euclidea R^* definita in **AOF**₁₋₂.
 - b. R^* è *antisimmetrica*. R^* non vale in ambedue le direzioni per nessuna coppia di mondi/oggetti distinti appartenenti a due diversi livelli. Nondimeno, R^* è simmetrica fra ogni coppia di mondi/oggetti dello stesso livello n fra cui è definita e che quindi hanno la stessa origine mediante la R^*

¹⁰⁰ Di fatto le proprietà di R^* che stiamo qui illustrando, all'interno di RN, corrispondono esattamente alle proprietà fondamentali della relazione S di Hayaki che vale per oggetti non-attuali della sua teoria. Cfr. HAYAKI, «Actualism» cit., pp. 170-178. Questo dipende dal fatto che, lo ripetiamo, grazie al nostro assioma di fondazione, possiamo essere, nella nostra ontologia, possibilisti senza essere concettualisti.

asimmetrica con lo stesso generatore $\langle \gamma_{n-1} \rangle$. Tutto ciò conferma che l'assioma modale **5** vale per questa logica¹⁰¹.

- c. R^* è *anticonvergente*. Cioè due bracci dell'albero che mediante **PSO** si va così costruendo, una volta separate non si ricongiungono mai.
2. R^* è *non-riflessiva*. Per capire quest'altra importante proprietà, bisogna ricordare che la relazione riflessiva è generalmente garantita in LM mediante l'assioma **T**. Al contrario, in **RN** la relazione causale R^* è legata all'assioma **D** che garantisce, mediante la serialità ad esso associata che la catena delle derivazioni è sempre chiusa e quindi può fondare una relazione riflessiva *secondaria* per ciascun mondo-oggetto legato a un altro del medesimo livello mediante una R^* *transitiva e simmetrica secondarie*. Questo conferma che in **RN** la LM che regola due livelli dell'*unraveling* è un sistema modale **KD45**.
3. R^* è *non-transitiva*. Tale condizione garantisce che ogni mondo/oggetto R^* -generato ha un antenato diretto, una condizione che una relazione transitiva non può garantire in linea di principio. Invece la transitività "debole" della relazione euclidea che lega ogni mondo/oggetto del medesimo livello al loro comune antenato causale garantisce che la causalità fisica basata su **KD45 annidato** non è quella determinista basata su **KT4 (S4)** che in letteratura è la LM di solito associata alle ontologie fisiche¹⁰², ma è la causalità della "generazione di for-

¹⁰¹ Infatti, dice la Hayaki, in questo modo l'assioma **B** ($\alpha \rightarrow \Box \Diamond \alpha$) vale nella sua ontologia, e non **5** ($\Diamond \alpha \rightarrow \Box \Diamond \alpha$), come nella nostra, a causa del *posit* attualista che caratterizza l'ontologia della Nostra. Senza però un siffatto *posit* attualistico, **B** (il cosiddetto "assioma di Browerian") e **5** (o **E**, il cosiddetto "assioma Euclideo") sono di fatto equivalenti, e spesso così sono considerati in molti manuali di logica modale.

¹⁰² Cfr. SERGIO GALVAN, *Logiche intensionali. Sistemi proposizionali di logica modale, deontica, epistemica*, Franco Angeli, Milano, 1991.

ma”, della generazione di sistemi fisici a complessità crescente, quella della “partecipazione categoriale” di cui parla C. Fabro nelle sue due famose opere sulla nozione di partecipazione in Tommaso¹⁰³. Infatti:

4. Fra ogni coppia di mondi/oggetti del medesimo livello n e il loro comune antenato $\langle \gamma_{n-1} \rangle$, R^* è una relazione causale euclidea. La totalità di queste coppie così ordinate costituiscono un nuovo *dominio di predicazione* caratterizzato da una relazione di *equivalenza modale senza bisimilarità*¹⁰⁴ fra i suoi elementi – un nuovo *genere naturale* di enti fisici attualmente esistenti a livello n della storia dell’universo. Tutto ciò conferma che le storie-di-mondi in **RN** hanno una struttura **KD45 annidata** (Cfr., **Figura 4**).

¹⁰³ Questa è una delle tesi fondamentali anche del citato lavoro di PANIZZOLI, *Ontologia della partecipazione*, cit.; Cfr. C. FABRO, *La nozione metafisica di partecipazione secondo S. Tommaso d’Aquino*, Vita e Pensiero, Milano, 1939; ID., *Partecipazione e causalità*, SEI, Torino, 1961.

¹⁰⁴ La nozione di “bisimilarità” è una nozione di *logica modale dinamica* molto usata in informatica teorica dove essa denota un’equivalenza fra due procedure (p.es., di programmazione), con sovrapponibilità fra tutti i passi che li caratterizzano. P.es., le esecuzioni dei passi successivi di due programmi, intese come due sistemi di transizioni di stato codificate (*labeled transition systems*) che sono perfettamente sovrapponibili fra di loro. Senza la condizione di bisimilarità, due programmi avranno *input* e *output* equivalenti, ma con diversi passi di programmazione (p.es., due programmi *word* di Microsoft, uno scritto per PC, l’altro per MAC sono equivalenti, ma non bisimilari perché scritti per due sistemi operativi differenti). In logica dinamica modale, l’equivalenza non suppone necessariamente la bisimilarità. E’ chiaro che in ontologia fisica, p. es. l’ontogenesi di due individui della medesima specie biologica, anche per quelle porzioni di DNA che ambedue possiedono poiché comuni alla specie, non suppone bisimilarità: solo l’*input* (DNA) e l’*output* (due organismi completi della medesima specie) si corrispondono, ma il modo con cui ciascuno di loro si è accresciuto è assolutamente individuale.

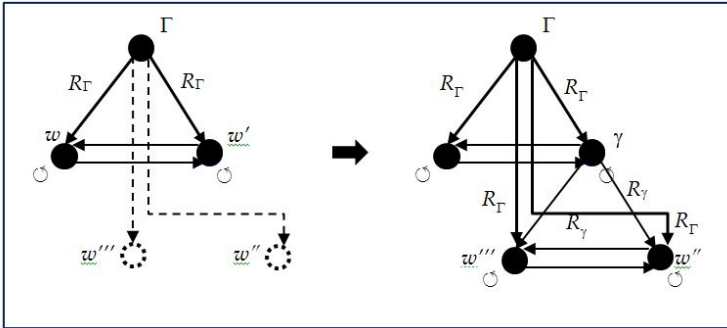


Figura 4. Schema di (PSO) nell'ontologia RN. (Sinistra): i mondi $\langle w, w', w'', w''', \dots \rangle$ attualmente (w, w') e potenzialmente esistenti (w'', w''') dipendono tutti dalla potenza causale del generatore primario $\langle \Gamma \rangle$. (Destra): dopo essere stati *unraveled* dal generatore secondario $\langle \gamma \rangle$ (= mondo w) i mondi $\langle w'', w''' \rangle$ divengono attualmente esistenti con tutti i loro elementi. E' evidente il carattere iterativo della procedura e annidata della struttura **KD45** risultante.

5. Infine, la LMQ "oggettualista" di RN – non "concettualista" come quello di RCN – è una versione modificata, **Q1R***, del sistema **Q1R**, dove la principale differenza è che RN, grazie a **(AOF₁₋₂)**, usa una LM "possibilista" e non "attualista", non ha bisogno cioè di usare una logica libera. Ovvero in RN, ogni nome ha un referente, proprio per gli individui, e comune per i generi naturali di individui, essi sono o "potenzialmente esistenti" grazie a **(AOF₁)**, o "attualmente esistenti", grazie a **(AOF₁₋₂)**.

Modello-Q1R: Generalmente è una quintuple ordinata $\langle W, R, D, Q, V \rangle$, dove:

- W è un insieme di mondi appartenenti all'universo $\{W\}$;
- R è una relazione binaria di accessibilità;
- D è un dominio;

- Q è una funzione che assegna a ogni $w \in \mathbf{W}$ un sottoinsieme $D(w) \subseteq D$, cioè il dominio di quantificazione di w ;
- V una funzione di valutazione che assegna a ciascun $w \in \mathbf{W}$:
 - Un oggetto in D a ciascun termine t , incluse le variabili;
 - Un insieme di n -uple ordinate di elementi di D a ciascun predicato a n argomenti, e
 - L'insieme $D(w)$ al predicato di esistenza E .
- V deve soddisfare una condizione di rigidità sui termini t della teoria, **VRT**:
VRT: $V(t, w) = V(t, w')$ per tutti gli $w, w' \in \mathbf{W}$.

Modello-Q1R*: per applicare a **RN** la LMQ **Q1R**, il modello non è definito sulla quintupla $\langle W, R, D, Q, V \rangle$, ma sulla sestupla $\langle \gamma, W, R^*, D, Q, V \rangle$, dove le differenze sono date da:

1. γ è un elemento di \mathbf{W} ; e
2. R^* è quella definita in **PSO**, cioè la componente arborea non-riflessiva, non-transitiva, non-simmetrica di R^* che lega i mondi appartenenti a \mathbf{W} , essendo γ il suo punto di origine.

Infine, in **RN**, un **modello-Q1R*** deve soddisfare oltre la condizione di rigidità **VRT**, anche una condizione di ramificazione arborea **CA** (corrispondente alla condizione **SB** nella teoria di Hayaki) così definita:

CA: Se un nuovo oggetto z appare per la prima volta come attualmente esistente in un mondo w (cioè, non è attualmente presente in alcun antenato di w , incluso γ), allora z può apparire solo in w o nei suoi discendenti – anche se nei discendenti apparirà come “virtualmente” esistente.

Commento: Ovvero, l'ente z attualmente esistente al livello n esisterà come una parte-non-più-individuale, ma *distinta* dalle altre ed esercitante comunque *un'azione causale* entro la struttura

ontologica degli individui discendenti attualmente esistenti a ciascun nuovo passo $n+k$ della storia-di-mondi cui appartiene. P.es., in QFT, i protoni esistenti come individui (particelle libere) nel plasma solare alcuni miliardi di anni fa, esistono oggi come quanti dei campi di forze protonici entro la struttura atomico-molecolare dei nostri corpi. In questo senso, la causalità a livello ontologico è sempre *forward and upward directed* nella teoria della complessità del RN: *backward and downward directed* è solo l'inferenza logica corrispondente. E' significativo che Tommaso nel suo opuscolo filosofico *De mixtione elementorum* difenda la stessa tesi ontologica. Una sostanza composta da elementi di specie diverse (p.es., il sale da cucina, NaCl) è ontologicamente una *in atto* perché al suo interno gli elementi esistono *non più in atto* – altrimenti non sarebbe più *una* sostanza individuale nuova, ma un aggregato di elementi come affermava l'atomismo – *né in potenza* – altrimenti sarebbero indistinti e non potrei ri-estrarli dal composto. Viceversa sono *virtualmente presenti*, mantenendo le loro qualità caratterizzanti, e perciò esercitanti un'azione causale (*virtus* vuol dire "forza causale" in latino) da cui le nuove proprietà del composto dipendono. Sebbene le proprietà del composto (p.es., del NaCl), conclude Tommaso, non siano la "somma" delle proprietà dei componenti (dello Na e del Cl), ma qualcosa di totalmente *incommensurabile* con esse.

4.5. Applicazioni del RN a un'ontologia formale di una cosmologia evolutiva

4.5.1. L'ontologia del tempo e della complessità nell'ontologia formale del RN

L'ontologia del tempo nel RN suppone chiaramente una LM temporale *aristotelica* e non *diodorea*. Infatti, quest'ultima è molto povera

e soprattutto non può essere fondata su di essa alcuna ontologia della *storia*, poiché nella LM temporale diodorea “ciò che è possibile nel tempo”, cioè $\langle \diamond^t \rangle$, è limitato solo al “presente” (n) e al “futuro” ($\mathcal{F} > n$), ma non al “passato” ($\mathcal{P} < n$).

Al contrario, la nozione di “storia” suppone un *potere attivo* del passato rispetto al presente, proprio come il presente lo ha rispetto al futuro, anche se mai viceversa in ambedue i casi. In altri termini, abbiamo bisogno di una teoria aristotelica del tempo la cui LM è **S5**. Cioè, è fondata rispetto a **S5 (KT5)**¹⁰⁵, e non solo rispetto a **S4 (KT4)**, come lo è la LM **KT4.3**, usualmente associato allo *unraveling*¹⁰⁶.

Effettivamente **RN** è fondata rispetto a **S5** perché ha una struttura **KD45** annidata, compatibile anche rispetto a un’ipotesi cosmologica del multi-verso¹⁰⁷, ma dove, differentemente dalla ontologia aristotelica del tempo, non c’è bisogno di supporre un’infinità del tempo *all’interno dell’uni-(multi-)verso* – mentre il problema resta, ovviamente, indecidibile rispetto al multiverso, come Hawking ha giustamente rivendicato in tutti i suoi testi divulgativi al riguardo, ma sbagliando nel contrapporsi in questo a Tommaso¹⁰⁸. Infatti, grazie a **(AOF₁₋₂)** esiste entro ciascun universo un tempo $n = 0$, corrispondente al primo livello dei generatori secondari, da cui tutte le storie-di-mondi relative a uno o più universi hanno la loro origine (cfr. **(AOF₁)**). In questo modo, possiamo definire un principio di ontologia temporale (**POT**), dove “ciò che è vero sempre”, $\langle \Box^t \varphi \rangle$, può essere giustificato come segue:

¹⁰⁵ Cfr., COCCHIARELLA, *Formal Ontology, cit.*, p. 45.

¹⁰⁶ BLACKBURN, DE RIJKE, VENEMA, *Modal logic, cit.*, p. 219.

¹⁰⁷ Basta supporre che al livello $n=0$ ciascuno degli individui sia all’origine di un albero di *unraveling* corrispondente all’evoluzione di un universo.

¹⁰⁸ Cfr. al riguardo il cap. VI del mio GIANFRANCO BASTI, *Filosofia della Natura e della Scienza. Vol. I: I Fondamenti*, Lateran University Press, Roma, 2002.

$$\begin{aligned}
& \diamond_k^t \varphi := (\mathcal{P}\varphi \vee \varphi \vee \mathcal{F}\varphi) \\
\text{PTO: } & \square_n^t \varphi := (\neg \mathcal{P}\neg\varphi \vee \varphi \vee \neg \mathcal{F}\neg\varphi) \quad \text{dove: } \begin{cases} \mathcal{P}\varphi & \text{per } k < n \\ \varphi & \text{per } k = n \\ \mathcal{F}\varphi & \text{per } k > n \end{cases} \\
& \therefore \square^t \varphi \leftrightarrow (\neg \diamond^t \neg \varphi)
\end{aligned}$$

Ovviamente, possiamo definire una “freccia del tempo” modale, poiché esiste una differenza fra i due operatori temporali di possibilità, $\langle \mathcal{P}, \mathcal{F} \rangle$ in RN. Infatti, il “passato” è fatto di cose già *unraveled*, “dispiegate” e quindi pienamente “differenziate” a qualche livello precedente $\langle n-k \rangle$ rispetto all’attuale del divenire dell’universo, quando essi sono stati attualmente esistenti.

Dopodiché, essi continuano esistere nella storia-del-mondo non più come individui attuali, ma *virtualmente* come “parti” *distinte*, perché già *unraveled*, causalmente attive nelle nuove “totalità” attualmente esistenti, come *entità più complesse* al nuovo livello attuale n della loro storia-di-mondo. Al contrario, il “futuro” è fatto di cose non ancora *unraveled*, “dispiegate”, “differenziate” e quindi “determinate” nella loro propria natura, cosicché non possono esercitare alcuna azione causale *all’indietro* (*backward*).

Commento: In altre parole (cfr. anche, sopra, il **Commento** alla definizione di CA), la direzione della “freccia del tempo” corrisponde nell’ontologia del tempo di RN alla direzione (verso) della “necessitazione causale” (*causal entailment*), secondo la quale “la causa precede sempre il suo effetto” (\rightarrow_c). Essa precede “ontologicamente” e quindi “temporalmente” (*forward*) – ovvero, nel caso dell’esistenza “virtuale” *simultanea* nei discendenti, “dal basso” (*upward*)¹⁰⁹ – il suo effetto. In questo senso, il fatto che dietro

¹⁰⁹ La trasformazione dell’azione causale dei predecessori, dalla direzione “in avanti” a quella “dal basso”, nella struttura ontologica di un discen-

la direzione *forward/upward* della necessitazione causale, vi sia l'opposta direzione *backward/downward* della relativa inferenza induttiva *logica* e quindi *epistemologica* della "implicazione inversa stretta" (\leftarrow), suggerisce una *definitiva chiarificazione* dell'ambiguità soggiacenti all'uso, fin troppo invalso in certa letteratura di filosofia della scienza, delle ambigue nozioni di *causazione all'indietro* (*backward causation*) "dall'effetto alla causa" e/o di *causazione verso il basso* (*downward causation*) "dal tutto sulle parti", spesso associate alle nozioni di "emergenza" e "complessità" in fisica e biologia¹¹⁰. Una "chiarificazione" che fa il paio, a livello logico-ontologico, con quel "diradamento delle nebbie" riguardo a questi medesimi concetti che la QFT sta operando a livello di fisica fondamentale (Cfr. sopra nota 89). Solo se, volendo criticare l'atomismo e il riduzionismo fisico come si fa' generalmente in questi lavori, non abbiamo compiuto una sufficiente analisi della logica e dell'ontologia soggiacente, possiamo confondere l'ontologia della causalità con la sua logica ed epistemologia. "All'indietro" and "dal basso in alto" sono i versi logici dei *processi inferenziali induttivi* (implicazione inversa) fra proposizioni, non quelli ontologici dei *processi causali* che costituiscono il referente della inferenza induttiva (cfr. §4.3 e §4.4.9).

dente più complesso, non vale solo nel caso della struttura degli enti fisici, ma anche nel caso degli enti biologici, mediante le parti del DNA comuni agli altri individui della stessa specie. E' ormai pratica normale della biochimica, infatti, la ricostruzione della storia filogenetica di una specie biologica dallo studio della struttura fisico-chimica del DNA.

¹¹⁰ Per citare solo due fonti di un'ormai estesissima bibliografia, cfr. J. DE HAAN, «How emergence arises», *Ecol. Compl.*, 3 (2006), 293-301; F. MAZZOCCHI, «Complexity in biology. Exceeding the limits of reductionism and determinism using complexity theory», *EMBO Reports*, 9 (2008), 10-15.

4.5.2. *L'ontologia dei generi naturali nell'ontologia formale di RN*

Secondo tutte le precedenti relazioni, possiamo definire un'ontologia dei generi naturali in **RN** che mantiene l'idea, invero molto naturalistica e di ispirazione aristotelico-tomista, del **RCN** di Cocchiarella, secondo il quale i generi naturali, in quanto referenti di nomi comuni nel linguaggio naturale, non sono oggetti, "cose", ma collezioni di enti che condividono un medesimo *concorso causale* (*causal texture*). Differentemente dal **RCN**, però, nel **RN** la giustificazione causale dei generi naturali è *assiomatica*, non puramente *ipotetica*¹¹¹, evidentemente confondendo il metodo *ipotetico-deduttivo* delle scienze matematico-naturali, con quello *assiomatico* della semantica formale e dell'ontologia formale. Questo perché l'assioma di fondazione di **RCN** è quello fregeano di "comprensione generalizzata", tipico del *concettualismo*, mentre in **RN** vale il nuovo assioma di fondazione **AOF**₁₋₂. I principali elementi di un'ontologia formale dei generi naturali, ciascuno costituito mediante l'applicazione dell'appropriato (**PSO**), possono essere sintetizzati nei seguenti principi:

- Un principio di stratificazione per generi naturali (**SGN**):

$$(\text{SGN}): \left(\forall_n^k A \right) \left(\forall y A \right) \square_n^c \left(E!(a) \rightarrow \left((a = y) \wedge ((a \wedge y) \in_k A) \right) \right)$$

Dove A è un genere naturale (genere-specie) di enti fisici (p.es., quarks, o, per un livello n successivo, neutroni e protoni, o per livelli ulteriori, atomi, molecole, etc.), e dove l'apice k del quantificatore significa che ha per argomenti variabili predicative di generi naturali, tutti costituiti a qualche livello n dell'evoluzione dell'universo. Lo stesso k affisso al predicato di appartenenza \in significa che si tratta di appartenenza a un genere naturale inteso come "oggetto plurale", o, per usare

¹¹¹ Cfr. COCCHIARELLA, *Formal Ontology, cit.*, pp. 273-290.

un'espressione di Russell, si tratta di una "classe-come-molteplicità" (*class-as-many*), per cui cioè non vale quella *reductio ad unum* che caratterizza i generi *logici* (universali logici) e quindi le classi logiche. In altri termini, si tratta di una collezione di oggetti che condividono (ovvero sono causalmente inclusi dal) lo stesso "antenato" $\langle \gamma_{n-1} \rangle$ ¹¹².

- Un principio di stratificazione per proprietà naturali (**SPN**) che riguarda oggetti appartenenti ad un medesimo o a differenti generi naturali, appartenenti allo stesso livello n o a qualcuno dei suoi "discendenti", aventi perciò, comunque, un "antenato" comune (p.es., la carica elettromagnetica, comune a più generi naturali di enti fisici):

$$(\text{SPN}): \left(\forall_n^e F^j \right) \diamond_n^c \left(\exists_n^e x_1, \dots, x_j \right) F(x_1, \dots, x_j)$$

Dove occorre ricordare che l'indice e significa che i quantificatori a cui è affisso hanno per argomenti variabili, individuali o predicative attualmente esistenti (*unraveled*).

- Un principio di rigidità stratificata (**PRS**) che governa l'uso dei quantificatori universali nella LMQ di ordine superiore al primo di **RN**. (**PRS**) vale cioè per un generico predicato F (di genere o di proprietà) al livello n dell'evoluzione dell'universo in cui è generato all'interno di una data storia-di-mondi, e per tutti i livelli suoi "discendenti", $\langle n+k \rangle$. Ovve-

¹¹² Il fatto che un genere naturale costituisca una particolare collezione per cui una relazione di equivalenza modale senza bisimilarità è comunque definita (cfr. nota 104) suggerisce che il nostro operatore di necessità causale $\langle \diamond \rangle$ andrebbe riscritto e reinterpretato nei termini di una logica modale dinamica, LMD, dove i classici operatori modali sono interpretati nei termini di "azioni causali" a . Ovvero, laddove in LM abbiamo $\langle \alpha \rangle$ e $\langle \diamond \alpha \rangle$, in LMD abbiamo, rispettivamente, $\langle [a]\alpha \rangle$ e $\langle \langle a \rangle \alpha \rangle$ col significato di: "a causa necessariamente α " e "a causa contingentemente α ".

ro, l'uso dei quantificatori universali nella LMQ di RN, sia in (SGN) che in (SPN) è regolato da:

$$\mathbf{(PRS)}: \square_n^c (\forall_n F) (\exists_n G) \left(\begin{array}{l} \text{Rigid}(G) \wedge \\ \wedge (\forall_{n+k} x_1, \dots, x_j) [F(x_1 \dots x_j) \leftrightarrow G(x_1 \dots x_j)] \end{array} \right)$$

Dove $k \geq 0$.

- Da tutte le precedenti regole e definizioni deriva un principio di esistenza concreta (**PEC**) per individui fisici che regola l'uso del predicato di esistenza E nell'ontologia formale del RN, e che può essere definito come segue:

$$\mathbf{(PEC)}: (\forall^k A) (\forall y A) \square_n^c (E!(a) \rightarrow (y = a))$$

Dal che emerge che ogni ente fisico esiste come un individuo a solo come membro y di un genere naturale e quindi come risultato di una storia-di-mondi che è condivisa anche dagli altri individui del medesimo genere, all'interno della storia dell'universo.

- Infine, per gli individui biologici, vale nel RN un principio di individualizzazione biologica (e quindi di esistenza concreta) (**PIB**), che è un'estensione di (**PEC**). Esso formalizza l'evidenza biologica che non esistono due individui biologici *identici* che appartengono alla medesima specie biologica (genere naturale), diversamente da due individui non-viventi della stessa specie (p.es., due elettroni, due atomi di ferro, o due molecole di sale) che sono identici a tutti gli effetti. I fattori di differenziazione biologica per i singoli individui sono oggi riassunti nei cosiddetti *fattori epigenetici* per mezzo dei quali il singolo organismo "individualizza per se stesso" fattori *genetici* del suo DNA comuni a tutta la specie cui appartiene. P.es., attivando/disattivando, mediante l'ambiente molecolare interno all'organismo, determinate sequenze del

DNA comuni a tutte le sue cellule e alle cellule degli organismi della stessa specie/genere. Un meccanismo che, come accennato (cfr. §3.3.1) ha nel principio del RGL, fra un sistema e il suo bagno termico, il meccanismo della QFT esplicativo a livello di fisica fondamentale di questi processi.

$$(PIB): (\forall^k A)(\forall yA)\Box_n^c(E!(a) \rightarrow (y \rightleftharpoons a))$$

Dove l'indice l affisso all'apice k del quantificatore del genere naturale significa che si tratta di un genere naturale di viventi e il simbolo $\langle \rightleftharpoons \rangle$ sta ad indicare che il processo di "rispecchiamento", intrinseco ad ogni (PSO) in RN, nel caso della costruzione dell' "identità" biologica di un organismo, è senza fine. Anzi, più in generale, in questo rispecchiamento dinamico continuo, ai diversi livelli di auto-organizzazione, del vivente è l'essenza stessa della vita.

4.5.3. *L'ontologia del realismo concettuale nell'ontologia formale del RN*

Infine, per giustificare un'ontologia anche degli oggetti concettuali nell'ambito del RN, per giustificare cioè un "realismo naturale dei concetti", RNC, occorre porre un assioma diverso da quello del RCN di Cocchiarella, ovvero diverso dall'assioma fregeano di *comprensione* su cui tutti i calcoli del RCN sono basati, così da giustificare che si tratta, appunto, di un "realismo concettuale" e non di un "realismo naturale" come il nostro.

Nel caso dei più complessi ed evoluti fra i viventi, cioè gli animali e finalmente, gli uomini, l'annidamento dei sistemi KD45 può arrivare fino alla generazione interna all'individualità dell'animale di *simulazioni cognitive* del mondo esterno. La facoltà rappresentativa degli oggetti del mondo esterno, nel caso percettivo inteso come simulazione cognitiva, può essere caratterizzato

in generale come la capacità di ridefinire l'argomento generico di un predicato sull'occorrenza di un referente individuale – quello che in logica dei predicati si definisce come “istanziamento individuale” di un generico argomento di un predicato, in quanto distinta dall'esemplificazione esistenziale di una formula quantificata universalmente¹¹³. In base agli assiomi e alle regole finora definite in **RN**, si tratta di replicare a livello cognitivo la stessa procedura di individualizzazione che caratterizza la generazione di un individuo biologico, formalizzata in **RN** mediante il principio (**PIB**) appena illustrato. In questo modo, l'etimologia latina, cara agli aristotelici medievali, Tommaso incluso, fra *concepto* in epistemologia e in psicologia e *concepito* in biologia – ambedue resi in latino dallo stesso termine *conceptus* – avrebbe la sua giustificazione a livello di ontologia formale, a conferma della tesi fondamentale che tale neonata disciplina è la formalizzazione dell'ontologia implicita nei linguaggi naturali. In sintesi:

- Un principio di induzione cognitiva (**PIC**) vale in **RN**, così da poter essere esteso a includere anche l'ambito cognitivo della psicologia e dell'epistemologia formali:

$$(\mathbf{PIC}): \left(\forall^m F^j \right) \left(\forall^m x \right) \square \diamond_{n+1}^C \left(\exists ! a \left((x \rightleftharpoons a) \wedge \left(F(x_1, \dots, x_{j-1}, a) \right) \right) \right)$$

Dove, l'indice m (mentale) sottolinea che siamo passati dall'ambito natural delle scienze fisiche e biologiche a quello *concettuale* delle scienze cognitive, ad un livello $n+1 = m$, *astratto*, rispetto a quello dell'esistenza attuale degli enti naturali

¹¹³ P.es., si tratta di “esemplificazione esistenziale”, come legge fondamentale del calcolo dei predicati, quando dall'asserto “tutti gli uomini sono mortali” si passa all'asserto “qualche (almeno uno) uomo è mortale”. Si tratta di “istanziamento individuale” quando si passa a “quell'uomo lì, Socrate, è mortale” riferendosi a un concreto esistente.

(soggetto-oggetto) coinvolti. Conseguentemente, x è una variabile mentale che denota un generico individuo, a è una costante individuale mentale che denota un dato individuo effettivamente esistente, ed il doppio operatore modale causale $\langle \Box \Diamond_{n+1}^C \rangle$ evidenzia che stiamo parlando di una “possibilità causalmente necessaria”, cioè di una *facoltà* dell’agente cognitivo – animale o uomo, per il momento non distinguiamo – in quanto tale.

Infine, nel caso della *denotazione singolare*, è proprio della mente umana la capacità di ridefinire su un singolo individuo esistente, anche il *predicato* e non solo il suo argomento di una formula predicativa che esprime il risultato di un atto cognitivo. Si tratta della formalizzazione della capacità intellettuale dell’uomo come capacità di *adeguarsi all’oggetto*, di ridefinire la forma intellegibile di un concetto sull’occorrenza individuale di un dato percettivo. Infatti “l’istinto razionale” che guida l’agente cognitivo umano, non è quello di soddisfare un istinto biologico come nel caso animale, ma la conoscenza del “vero” inteso, epistemologicamente, come *adequatio intellectus et rei intelligibilis* – “la cosa in quanto intellegibile”, dunque, mediante questa continua ridefinizione dell’universale (*a priori*) sul dato (*a posteriori*), cioè e non “la cosa in sé” dell’epistemologia kantiana¹¹⁴.

- Tutto ciò significa che in **NRC** è valido un principio di generalizzazione astrattiva (**PGA**) – estensione della legge di “generalizzazione universale” del calcolo dei predicati, \langle

¹¹⁴ Cfr. al riguardo i miei più recenti articoli sul tema, in particolare un mio articolo sulla interpretazione gaetanista della *cogitativa* di Tommaso che ha nel **RN** e nella sua estensione **RNC** la sua formalizzazione. Cfr. G. BASTI, «La teoria “complexa” della cogitativa di Cornelio Fabro. Dall’essere al pensiero», *Aquinas*, 55 (2012), 311-42.

$\varphi\alpha \Rightarrow \forall x(\varphi x)$ > - che sostituisce in NRC il fregeano “assioma di comprensione” di NCR, per mezzo del quale è possibile costruire domini concettuali, e che si legge come segue:

$$\text{(PGA)} : \left[(\exists \varphi, \alpha) \left(E! \mu \left((\mu \rightarrow_c \varphi) \wedge (\mu \rightarrow_c \alpha) \wedge (\varphi \rightleftharpoons \alpha) \right) \Leftrightarrow \varphi\alpha \right) \right] \wedge \wedge \left((\varphi\alpha \Rightarrow \forall^m x(\varphi x)) \equiv \mathbf{A} \right)$$

Dove, $\langle \varphi\alpha \rangle$ denota metalogicamente una “descrizione definita” di un individuo, caratterizzante cioè un nome proprio e la sua capacità di denotare (p.es., “Socrate” definendolo: “Socrate è il maestro di Platone”). Le descrizioni definite sono infatti caratterizzate dall’identità fra il predicato $\langle \varphi \rangle$ e il suo argomento $\langle \alpha \rangle$, nel nostro caso causalmente costruita attraverso una struttura **KD45**, fornendo così un’implementazione “cognitiva” dello schema **(PSO)**, dove il generatore è l’individuo attualmente esistente $\langle \mu \rangle$. Il termine destro della congiunzione è dunque una formulazione del “principio di generalizzazione universale” del calcolo dei predicati, e $\langle \mathbf{A} \rangle$ denota una *classe logica*, ovvero il dominio che soddisfa il predicato $\langle \varphi x \rangle$ così induttivamente costruito come “oggetto mentale astratto” (cfr. il quantificatore indicizzato in $\langle m \rangle$ di “mentale”).

4.6. L’ontologia del RN è una logica paraconsistente: dialettica tommasiana vs. dialettica hegeliana

E’ ben noto che esistano consistenti elementi di logica paraconsistente sia nella logica antica che medievale¹¹⁵. Come vedremo,

¹¹⁵ Cfr., per una sintesi aggiornata, E. L. GOMES E I. M.L. D’OTTAVIANO, *Uma história concisa da lógica paraconsistente*, Sociedade Brasileira de História da Matemática, Campinas, 2013.

forse bisogna aggiungere anche l'Aquinate in questa lista. Sebbene Tommaso ammetta, come abbiamo visto nel passo citato in §4.2, che in logica il principio cosiddetto dello Pseudo-Scoto valga, pur tuttavia è chiaro che nella logica della contro-implicazione come "logica della partecipazione" e quindi come logica della metafisica naturalista, questa regola non vale, come vedremo subito.

Infatti, abbiamo visto in §4.3 la nozione di "necessitazione logica" (*logical entailment*) – cioè " p necessita (implica logicamente, *entails*) q ", ovvero " q segue logicamente da p " – come la semantica propria della implicazione stretta di Lewis $\langle p \rightarrow q \rangle$ è effettivamente un modo molto forte – il più forte invero – di affermare il principio dello Pseudo-Scoto, ovvero per affermare il "principio di esplosione" (**PE**), *ex contradictione sequitur quodlibet*, espresso nel formalismo di Lewis, come segue (1), con la lista dei paradossi conseguenti¹¹⁶:

1. $(p \wedge \neg p) \rightarrow q$
2. $q \rightarrow (p \vee \neg p)$
3. $\neg \diamond p \rightarrow (p \rightarrow q)$
4. $\Box q \rightarrow (p \rightarrow q)$

Come già ricordato il modo più naturale per evitare questi paradossi è negare la verità del sillogismo disgiuntivo che, invece, è valido nella logica dell'implicazione stretta, cioè:

$$\models ((p \vee q) \wedge \neg p) \rightarrow q$$

Al contrario, nella logica della necessitazione causale – che è l'interpretazione ontologica della della contro-implicazione stretta ($p \leftarrow q$) – tale sillogismo è invalido, cioè:

¹¹⁶ Cfr. HUGES E CRESSWELL, *A new introduction*, cit., p. 203.

$$\#((p \vee q) \wedge \neg p) \rightarrow_c q$$

Infatti, come abbiamo visto, la modalizzazione dell'implicazione inversa – cioè, $(p \rightarrow_c q)$, o, $\langle \neg \diamond(q \wedge \neg p) \rangle$ – implica che la semantica della “necessitazione causale” (*causal entailment*) – cioè, “ q necessita (*entails*) p ”, ovvero “ p precede causalmente q ” rende invalido il precedente paradosso (1), cioè: $\langle \#[(p \wedge \neg p) \rightarrow_c q] \rangle$.

In altri termini, né il principio dello Pseudo-Scoto e tantomeno **(PE)**, né il principio del sillogismo disgiuntivo valgono nella logica che soggiace a **RN**. Il che vuol dire che la logica di **RN** è una *logica della rilevanza* – ovvero, in generale, una logica capace di definire un criterio per cui una “premessa” è rilevante rispetto a una conclusione¹¹⁷ – come d'altra parte è naturale che sia se è una semantica della necessitazione causale e non della necessitazione logica. Infatti, non ogni causa produce un effetto e, soprattutto, mai un effetto può essere senza la “sua” causa.

Ora, è noto che le logiche della rilevanza sono logiche che generalmente usano la negazione paraconsistente¹¹⁸, che sono molteplici e, seguendo la sintesi di Béziau possono caratterizzarsi essenzialmente per due proprietà *negative*. La prima è che rifiutano la contraddizione, ovvero ammettono tutte la legge di non-contraddizione, LNC, come la negazione classica, intuizionistica e minimale. Viceversa, l'altra caratteristica negativa che differenzia stavolta la negazione paraconsistente da quella classica è che in essa non vale il **(PE)**:

$$a, \neg a \not\vdash b$$

¹¹⁷ Cfr. HUGES E CRESSWELL, *A new introduction cit.*, p. 205.

¹¹⁸ Cfr. J.-Y. BÉZIAU, «What is a paraconsistent logic?», in *Frontiers of paraconsistent logic*, a cura di D. BATENS E AL., Research Studies Press, Baldock, 2000, pp. 95-111.

La negazione $\langle \rightarrow \rangle$ usata in questa espressione è certamente una caratterizzazione *negativa* della negazione paraconsistente rispetto alla negazione classica. Tuttavia, nota giustamente Béziau, essa non può essere una caratterizzazione *sufficiente* della negazione paraconsistente stessa, anche se *necessaria*. E la discussione è aperta riguardo a quale possa o possano essere queste caratterizzazioni *positive* sufficienti a giustificare una teoria soddisfacente della negazione paraconsistente¹¹⁹.

Ora, il fatto che anche nella logica della necessitazione causale di **RN** non valga **(PE)** significa che in tale logica non vale, come nella logica paraconsistente, la negazione classica e quindi la dimostrazione per assurdo¹²⁰. Così quest'ultima notazione apre ad un'altra caratteristica negativa che assimila la logica della necessitazione causale alla logica della negazione paraconsistente. Ovvero, tanto nella logica paraconsistente¹²¹ come nella logica della necessitazione causale, diversamente dalla logica classica, non vale *in assoluto* il principio della *coestensività* fra un'affermazione e la sua negazione in enunciati contraddittori. Il che apre la possibilità ad un uso "costruttivo" della contraddizione, ovvero ad un particolare uso "non-hegeliano" della *logica dialettica*, tanto nelle logiche dialettiche come nella logica di **RN**.

Infatti, il carattere stratificato dell'operatore di necessità, in base a **(SGN)**, e della condizione di rigidità nell'uso del quantificatore universale, in base a **(PSR)** nella LMQ di **RN** implicano che, mentre la negazione $\langle \neg p \rangle$ che contraddice l'affermativa $\langle p \rangle$ la nega al

¹¹⁹ Cfr. *Ibid.*

¹²⁰ D'altra parte la negazione para-consistente suppone quella intuizionistica, proprio come in LM l'assioma **5** $\langle \alpha \rightarrow \diamond \alpha \rangle$ suppone - o addirittura, in certi testi viene identificato con - l'assioma **B** $\langle \alpha \rightarrow \diamond \alpha \rangle$ definito come "l'assioma broweriano".

¹²¹ Cfr. *ibid.*

suo proprio livello n e a tutti quelli $\langle n+k \rangle$ già “dispiegati” (*unraveled*), d'altra parte, in base all'assioma di fondazione **OAF**₁₋₂, $\langle \neg p \rangle$ non contraddice tutti gli altri livelli *non ancora dispiegati*, ma comunque causalmente inclusi nell'azione del generatore primo $\langle \Gamma \rangle$. In questo senso, l'affermativa $\langle p \rangle$ afferma molto di più di quanto $\langle \neg p \rangle$ neghi¹²².

In altri termini, nella LMQ di **RN** la contraddizione non si propaga automaticamente a *tutti* i livelli più bassi dell'albero argomentativo. Infatti, in generale, nella logica della necessitazione causale, poiché vale l'assioma **D** e non l'assioma **T**, non vale in generale la condizione di riflessività, ma per la serialità di **D** e l'eucledicità di **5**, vale solo per livelli *dispiegati* come “riflessività secondaria”. Ciò significa che $\langle \diamond^c((p \rightarrow_c q) \equiv 1) \rangle$, anche per $\langle p \equiv 1, q \equiv 0 \rangle$, e non solo per $\langle p \equiv 1, q \equiv 1 \rangle$, come nella implicazione logica.

Ovvero, l'informazione *semantica* (verità) nell'implicazione / necessitazione causale *non è conservata* fra gli antecedenti $\langle p \rangle$ e i conseguenti $\langle q \rangle$, ma *incrementata*. Infatti, a ogni livello n della procedura di dispiegamento (*unraveling*) l'informazione semantica *attuale* si accresce, poiché una nuova struttura (dominio di equivalenza) “emerge” come “assolutamente”, ovvero, “logicamente”, imprevedibile dal suo generatore $\langle \gamma_{n-1} \rangle$. Tale emergenza tuttavia, è a spese della informazione semantica *potenziale* totale relativa a $\langle \Gamma \rangle$, poiché a ciascun livello n del dispiegamento da un $\langle \gamma_{n-1} \rangle$ è operante, per l'assioma **D**, una scelta del predecessore fra due rami $\langle 1, 0 \rangle$ ugualmente componibili. In altri termini, la fondatezza (*soundness*) rispetto a **S5**, in un sistema **KD45 annidato**

¹²² Questo è il corrispettivo logico che emerge dalla nostra analisi della dialettica “positiva” *ens-esse* propria della metafisica tommasiana, rispetto alla dialettica “negativa” *esse-essenza* della dialettica hegeliana. Cfr. *infra*, n. 125.

come quello qui presentato come (PRS) esplicita, vale solo per un livello n e tutti gli $n+k$ dispiegati, dunque è sempre “locale” (finita), mai “generale” (infinita), anche se crescente con la complessità del sistema.

Il sistema, insomma, è in grado di generare progressivamente molteplici logiche consistenti, senza che ve ne possa essere una che *effettivamente* le includa tutte, proprio come i teoremi di Gödel, costruttivamente – e non platonicamente – intesi, suggeriscono, e come la stessa risposta positiva alla geniale quanto provocativa domanda di Wheeler – “è forse la cosmogonia la legislatrice della fisica?” – suggeriva, a proposito delle leggi fisiche nel contesto di una cosmologia evolutiva.

Naturalmente, queste sono considerazioni solo preliminari: molta più analisi è richiesta per approfondire la relazione fra una LM **KD45** e la sua struttura iterata e annidata nella LMQ di **RN**, da una parte, e la negazione paraconsistente dall'altra. Un approfondimento che deve riguardare anche i rapporti fra la negazione paraconsistente e le logiche modali sottese all'interpretazione modale del quadrato delle opposizioni logiche – soprattutto rispetto al suo problematico vertice **O** $\langle \neg \Box \rangle$, inteso come il contraddittorio del vertice **A** $\langle \Box \rangle$ ¹²³.

In particolare, il confronto fra la logica della modalità stratificata di **RN** e le logiche paraconsistenti sembra avere delle possibili connessioni con la gerarchia dei sistemi logici, e delle algebre correlate, proprio della logica paraconsistente, C_ω , di N. C. A. Da Costa¹²⁴. Ambedue gli approcci, infatti, ammettono la LNC, ov-

¹²³ Un'analisi molto interessante al riguardo, è stata già sviluppata per esempio da Béziau stesso in: J.-Y. BÉZIAU, *Journal of applied logic*, 3 (2005), 7-14, ma limitata ai sistemi **S5** e **S4** e al sistema modale a 4 valori di verità **M4**.

¹²⁴ Cfr. N. C. A. DA COSTA E E. H. ALVES, «Semantical analysis of the calculi

vero $\langle \models \neg(\alpha \wedge \neg\alpha) \rangle$, tuttavia ammettono anche che, per sistemi del tipo n (in C_ω), o del livello n (in \mathbf{RN}), (dove $1 \leq n < \omega$), formule come $\langle p^m \wedge \neg p^{m \neq n} \rangle$ valgono nella teoria, e dove dunque l'affermazione non è coestensiva con la sua negazione.

Infine, una considerazione generale riguardo la relazione con le logiche dialettiche e il *dialetticismo* (*dialetheism*). Sia nella logica di \mathbf{RN} che in molte logiche paraconsistenti, C_ω inclusa, LNC è valida, sebbene ambedue invalidino **(PE)**. In questo senso, ambedue sono profondamente differenti dal dialetticismo, cioè dalla posizione metafisica tipica, per esempio, della *Scienza della Logica* hegeliana secondo la quale esistono delle contraddizioni logicamente vere (e quindi ontologicamente reali). In questo senso, sia la logica di \mathbf{RN} , e quindi, sia la logica della partecipazione¹²⁵, sia queste logiche paraconsistenti¹²⁶, possono dare il loro contributo al definitivo superamento di un approccio ideologico a questo problema che ha caratterizzato tanta parte della logica e della metafisica durante il XIX secolo e durante l'intero XX secolo.

5. CONCLUSIONI: DALL'ONTOLOGIA, ALLA METAFISICA, ALLA TEOLOGIA NATURALE

Nel geniale quanto sintetico saggio di C. Fabro, *La prima rifor-*

«n», *Notre Dame Journal of Formal Logic*, 18 (1977), 621-30.

¹²⁵ Cfr. in particolare il geniale scritto di Cornelio Fabro sulla dialettica hegeliana e sulla critica tomista ad essa, in base alla teoria della partecipazione dell'essere. Uno scritto che costituisce, a mio giudizio, la massima, sintetica espressione della maturità metafisica del suo Autore, e ora pubblicato postumo: C. FABRO, *La prima riforma della dialettica hegeliana*, a cura di Ch. Ferraro, Editrice del Verbo Incarnato, Segni, 2004.

¹²⁶ Cfr. N. C. A. DA COSTA, J.-Y. BÉZIAU E O. BUENO, «Paraconsistent logic in a historical perspective», *Logique & Analyse*, 150-151-152 (1995), 111-25, spec., pp. 112-13.

ma della dialettica hegeliana, già ricordato¹²⁷, e pubblicato postumo a cura del professor Ch. Ferraro della Facoltà di Filosofia della PUL, Fabro sottolinea come la dialettica “verticale” tommasiana *ente-essere* in epistemologia (e *essere-ente* in metafisica) si opponga a quella hegeliana *essere-essenza* nella costituzione del *concetto*. Siffatta dialettica tommasiana è il corrispettivo logico – in logica dialettica, appunto – della partecipazione metafisica dello *esse* – come relazione causale, non-transitiva, non-simmetrica, non-riflessiva – dalla Causa Prima, $\langle \Gamma \rangle$ di RN, metafisicamente interpretato, allo *ente* “secondo la misura” dell’essenza dell’ente, generata dal concorso delle “cause seconde” – i $\langle \gamma_n \rangle$ di RN. La famosa – e discussa – *immanenza causale* della Causa Prima nella struttura metafisica di ciascun ente, unita alla sua *trascendenza metafisica*, sarebbe così resa esplicita nella struttura formale di RN, come una lettura “metafisica” della **Figura 4** rende visivamente evidente.

In altri termini, la struttura sintattico-formale di RN si presta benissimo a un’interpretazione *metafisica* (partecipazione trascendentale) e non solo *ontologica* (partecipazione predicamentale), come quella sviluppata in questo saggio, data l’*analogia di proporzionalità* (stessa struttura sintattica interpretata su diversi domini di oggetti) esistente fra le due “partecipazioni”, discussa nei due trattati sulla nozione di partecipazione di C. Fabro già citati. Allo stesso tempo, all’interno di ciascuna semantica della partecipazione, il rapporto fra i due analogati, ha un *fondamento causale*, e quindi l’analogia in questione è un’*analogia di proporzione* – *secundum esse* nella struttura ontologica di RN, *secundum intentionem* nella struttura epistemica di RNC, e *secundum intentionem et secundum esse* nella (costruenda) interpretazione metafisica di RN – che potremmo provvisoriamente denotare con RNM¹²⁸.

L’aver messo al primo posto, però, l’analogia di proporzione ontologica *secundum esse et non secundum intentionem*, quella che nel testo di Tommaso suppone la distinzione fra “corpo celeste” e

¹²⁷ C. FABRO, *La prima riforma della dialettica hegeliana*, cit.

¹²⁸ Ovviamente, mi sto rifacendo qui al celeberrimo testo tomista del *Comento alle Sentenze*, I,19,5,2, ad1, oggetto del commento di Fabro, praticamente in tutta la seconda parte di *Partecipazione e causalità*. Cfr. anche G. BASTI, «Analogia, ontologia e problema dei fondamenti», in *Analogia e autoreferenza*, Marietti 1820, Milano-Genova, 2004, pp. 159-236, dove l’analisi di questo testo, nella nascente prospettiva del RN è sviluppata.

“corpo terrestre” – il concetto di “corpo”, analogo per il “fisico” e il “metafisico”, univoco per il “logico” – evidenza, però, in che senso il mio lavoro intende porsi “in continuità” con l’opera di Fabro, ma anche “in superamento” di essa. A molti critici è sfuggito, infatti, che l’analogia di proporzione come “semantica” della partecipazione che costituisce il cuore teoretico della seconda parte del monumentale libro di Fabro, *Partecipazione e causalità*, è “zoppa” proprio perché mancante di questa forma di analogia. Essa, infatti, nel testo del *Commento alle Sentenze* di Tommaso, costituisce l’equilibrante *trait-d’union* fra l’analogia di proporzione logica *secundum intentionem et non secundum esse* (secondo il famoso esempio della “sanità” analogamente detta del cibo (causa) e dell’urina (effetto), rispetto alla sanità del corpo di cui solo si predica propriamente la sanità) e l’analogia di proporzione *metafisica secundum intentionem et secundum esse* – per esempio, dello *esse* dell’Essere Sussistente a quello dell’ente, o dello *esse* della sostanza rispetto a quello dell’accidente.

Naturalmente questa “deformità” della ricostruzione fabriana ha un motivo storico: il paradigma newtoniano della fisica moderna che – come il falso aneddoto della “mela” ha reso evidente anche ai bambini – con la sua “legge di gravitazione universale”, ha ridicolizzato la distinzione aristotelica fra fisica “celeste” e “terrestre” e ha reso l’univocità logica della nozione di corpo anche un’univocità fisica e metafisica.

E’ evidente che il cambio di paradigma in atto nella fisica fondamentale ci consente di essere più rispettosi anche di questa teoria aristotelica, senza peraltro giustificare facili quanto stupidi e fuori di luogo trionfalismi apologetici. Mai come nel caso della gravità e delle sue leggi si deve parlare di *work in progress* nella fisica fondamentale contemporanea. Semmai, la formalizzazione di quest’ontologia aristotelica, quale quella tentata in questo saggio, può consentire al filosofo formale di entrare in un costruttivo dialogo interdisciplinare con i fisici e i matematici, visto che questi lavori in corso non riguardano solo la fisica ma anche – e soprattutto – la matematica, il calcolo e i loro fondamenti insiemistici, come, insieme con Perrone, avevamo anticipato ne *Le radici forti del pensiero debole*¹²⁹.

¹²⁹ Cfr. G. BASTI E A. L. PERRONE, *Le radici forti del pensiero debole. Dalla metafisica, alla matematica, al calcolo.*, Il Poligrafo e Lateran UP, Padova-Roma, 1996.

Tornando a Fabro, l'*handicap* qui evidenziato nella sua semantica metafisica della partecipazione, è grave, perché inficia la sua teoria della *differenza metafisica* fra "essere ed esistere", Infatti, il "salto" dalla logica alla metafisica senza la mediazione dell'ontologia fisica nella sistematizzazione fabriana, la espone a quella critica di *ontoteologia*¹³⁰ che Severino gli ha rivolto. Ovvero, Fabro ha bisogno di supporre l'essere di Dio per giustificare la "differenza metafisica", dando ragione ad Heidegger quando accusava di ontoteologia tutta la scolastica medievale, Tommaso incluso. Una critica, questa che, purtroppo trova riscontro nell'ultima produzione di Fabro, dopo *Partecipazione e causalità*, eccessivamente orientata verso un volontarismo che, allora, trova nell'attenzione di Fabro al pensiero di Kierkegaard solo una parziale giustificazione. Naturalmente, a giustificazione di Fabro, ammettere che si potesse parlare nella fisica contemporanea di una differenziazione fra diversi livelli di realtà fisica, con diverse leggi, dove il livello precedente è "necessario" ma non "sufficiente" a giustificare la "emergenza" del successivo, così da giustificare un'*analogia secundum esse e non secundum intentionem* su base causale dei concetti relativi, era qualcosa di inconcepibile all'inizio degli anni '60 dello scorso secolo quando *Causalità e partecipazione* fu scritto.

Questo limite non si applica alla formalizzazione della logica della partecipazione in RN. Infatti, l'interpretazione metafisica della struttura formale di RN significa semplicemente che l'azione causale di $\langle \Gamma \rangle$, che nella sua interpretazione ontologica *suppone* l'esistenza del vuoto quantistico (materia prima come *dynamis*). Viceversa, nella sua interpretazione metafisica *si estende anche all'essere dell'esistenza* del vuoto quantistico – della *materia prima* nella vulgata aristotelica. Ovvero, in termini tomisti, l'interpretazione ontologica di $\langle \Gamma \rangle$ è quella di una *causalità fisica universale* che include, come nella cosmologia evolutiva attuale, tutto l'uni(multi-)verso.

Allo stesso tempo, la chiara distinzione fra interpretazione *ontica* e *deontica* della medesima LM KD45 in RN è in grado di esorcizzare, una volta per sempre, lo spettro ontoteologico (e plotiniano)¹³¹ dalla metafisica della partecipazione, ma anche di avvia-

¹³⁰ Per il rapporto fra ontoteologia e volontarismo nihilista, cfr. G. BASTI, «Ontologia formale. Tommaso d'Aquino ed Edith Stein», cit..

¹³¹ Cfr. la critica di S. Galvan all'ipotesi del "principio antropico (forte)" in

re a soluzione la *vexata quaestio* del finalismo cosmico nell'interpretazione della metafisica di Tommaso. Essa è tornata alla ribalta "ecclesiastica" in quest'ultimo quinquennio, sotto il pontificato di Benedetto XVI, e sulla spinta della polemica del fondamentalismo "creazionista", verso il fondamentalismo "evoluzionista" sui *mass-media* di tutto il mondo, ormai da quasi vent'anni, dall'impulso, cioè, dato dalla presidenza Bush alle posizioni fondamentaliste negli USA.

In estrema sintesi, le due interpretazioni semantiche *ontica* e *deontica* della struttura **KD45**, comune a tutte e cinque le "vie" tomiste, rendono evidente la distinzione esistente fra le prime "quattro vie" di Tommaso – quelle che suppongono la dimostrabilità metafisica della Causa Prima identificabile con Dio da parte dei credenti¹³² – dalla "quinta via", quella finalistica. La via che è

cosmologia perché cade nella fallacia plotiniana di identificare "causa prima" e "causa ultima" senza supporre come Tommaso la natura intelligente della "causa ultima", visto che in logica deontica non vale l'assioma T, bensì D. Cfr. S. GALVAN, «Sul finalismo», in *Determinismo e complessità*, a cura di F. T. ARECCHI, Armando, Roma, 2000, pp. 223-38 e il mio commento in BASTI, *Filosofia della Natura e della Scienza*, cit., pp. 453-457.

¹³² In tutte le prime "quattro vie" (Cfr. *S.Th.*, I, 2, 3co.) è facile riscontrare una struttura logico-inferenziale basata sulla contro-implicazione, addirittura esplicita nella terza. Tutte le prime tre si concludono con la medesima espressione che identifica il Primo Principio con quello che "*omnes (intelligunt, nominant, dicunt) Deum*" che, significativamente, nella quarta e nella quinta si trasforma in un "*hoc dicimus Deum*". Questa unanimità di consenso nell'identificare con Dio il principio primo era perfettamente plausibile in una cultura teista come quella medievale (e antica), una unanimità che oggi, nella nostra cultura post-moderna non è più. La struttura logica della contro-implicazione si trova anche nella quinta, ma in un'interpretazione chiaramente deontica, in quanto è evidente che la natura "intelligente" del primo principio è supposta – cfr. la metafora dell'arciere – come correttamente dev'essere nell'uso deontico di **KD45**. Supposto, infatti, il carattere "intelligente" del principio primo, il carattere contro-implicativo *propter quid* dell'inferenza causale, diviene il carattere *propter finem*, citato nella quinta via. Fra l'altro, la metafora dell'arciere colà usata è utilissima anche per capire come l'ipotesi degli infiniti universi, in quanto propria dell'approccio *statistico* alla fisica fondamentale – quindi anche della QM – elimina la necessità di questa intelligenza in quanto, *necessariamente*, per la legge dei "grandi numeri", una freccia colpirà il ber-

stata fatta propria anche dal Kant della *Ragion Pratica*, e quindi dalla teologia razionale protestante. In essa, esplicitamente, per parlare di finalismo cosmico, il carattere "intelligente", e quindi identificabile con il Dio della teologia è, correttamente da Tommaso come da Aristotele, *supposto*, non provato, come pretendono i fondamentalisti. Quindi, in estrema sintesi, la struttura **KD45 annidata** di RN può essere interpretata:

1. Come struttura dell'ontologia formale di una cosmologia evolutiva, se si suppone l'esistenza del sostrato materiale, come si *deve* ammettere in fisica fondamentale (= interpretazione *ontologica* di RN).
2. Può essere estesa alla struttura formale della metafisica della partecipazione trascendentale dello *esse*, se la causalità dalla Causa Prima è estesa anche all'esistenza dello stesso sostrato materiale, così da fornire i necessari *preambula fidei* per la nozione teologica della *creatio ex nihilo* (= interpretazione *metafisica* di RN).
3. Può essere ancora estesa a includere la teologia naturale e il finalismo cosmico della "quinta via", se si suppone il carattere personale della Causa Prima metafisica (= interpretazione *deontica* di RN) – lasciando ovviamente aperta la questione della dimostrabilità metafisica della natura personale della Causa Prima.

Credo che tutto questo sia sufficiente a illustrare le potenzialità teoretiche della *filosofia formale* e come possa servire, innanzitutto, a svelare l'impianto logico-inferenziale "forte" delle discipline filosofiche che ne fanno uso, restituendo ad esse a pieno titolo la caratterizzazione di *scienze filosofiche* nella post-modernità. E, per ciò stesso, serve a fornire una base per il dialogo interdisciplinare con le scienze matematiche e naturali, senza

saggio se ne sono lanciate un numero straordinariamente grande, al limite *infinito*, senza supporre alcun "arciere" (causa intelligente) – o alcun "orologio" newtoniano (legislatore intelligente). E' questa la chiave teorica dell'interpretazione cosiddetta "debole" del "principio antropico" in cosmologia evolutiva, pubblicizzata da Hawking nei suoi molteplici testi divulgativi sull'argomento, come pure dell'approccio *statistico* – mediato sulle grandi popolazioni di individui – in biologia evolutiva di Dawkins con la sua metafora "dell'orologio cieco" – controparte laplaciana e post-moderna di meccanica statistica dell'orologio intelligente della meccanica deterministica newtoniana.

confusioni fra i metodi, oltre che fornire un impianto teoretico per il dialogo interculturale e inter-religioso, incluso il dialogo fra credenti e non-credenti. Quelli che, naturalmente, non cedono alle facili e suicide lusinghe dell'ontoteologia, fra i primi, e quelli che, fra i secondi, rifiutano la lusinga dello "illuminismo oscurantista" dello *etsi deus non daretur*, che relega la religione e la teologia nel recinto della superstizione e dell'irrilevanza per la teoresi – moderni epigoni del Lucrezio del *De Rerum Natura* che collocava gli dei nell'irrilevanza "causale" degli *intermundia*. I non-credenti, cioè, che accettano la sfida dello "illuminismo illuminato" di pascaliana memoria, di essere disposti a pensare *veluti si Deus daretur* – dove l'uso della minuscola nel primo caso non è un errore di stampa¹³³.

ABSTRACT

Il saggio di *filosofia formale* che qui presentiamo ha un duplice argomento. Da una parte, presentiamo la formalizzazione dell'ontologia (cioè, l'ontologia formale) della metafisica della partecipazione di Tommaso d'Aquino. Malgrado nel saggio sia essenzialmente formalizzata la "partecipazione predicamentale" di origine aristotelica, dell'individuo alla specie e della specie al genere (generi naturali), nondimeno la sua struttura formale (sintassi) può essere applicata anche alla semantica della "partecipazione trascendentale" di ogni ente all'essere (*esse ut actus*). Allo stesso tempo, questa ontologia formale che definiamo *Realismo Naturale (RN)* può essere interpretata anche – e questo è il secondo argomento del saggio – come l'ontologia formale dell'attuale cambio di paradigma in fisica fondamentale, dalla meccanica classica e quantistica (*quantum mechanics*, QM), alla teoria quantistica dei campi (*quantum field theory*, QFT). L'ontologia formale del RN è basata sulla logica (sintassi) dell'implicazione inversa ($q \leftarrow p$) e della sua versione modale ($\neg \diamond(q \wedge \neg p)$), come semantica della *implicazione causale*, "è impossibile che un effetto sia senza la sua causa" e, ontologicamente, della *causalità formale*, secondo il suggerimento di Aristotele e di Tommaso, contro l'identificazione di necessità logica e causale di Leibniz e Kant. Essenzialmente per questa ragione il RN è anche l'ontologia propria delle transizioni di fase

¹³³ Cfr. BENEDETTO XVI, *L'Europa di Benedetto nella crisi delle culture*, Cantagalli, Siena, 2005, p. 61s.

in QFT, con la “generazione” o “eduazione” (impredicibile emergenza) di un nuovo dominio di coerenza di fase, cioè la “forma”, di un sistema fisico dal vuoto quantistico, sostrato dinamico di tutta la realtà fisica, come la materia prima dell’ontologia aristotelica.

ABSTRACT

The present work of *formal philosophy* is concerned with a double, related issue. On one side, we present in it a formalization of the ontology (i.e., a formal ontology) of the Aquinas metaphysics of participation. Despite it essentially formalizes the Aristotelian “predicative participation” of individuals to species and of species to genera (natural kinds), nevertheless its formal structure (syntax) can be applied also to the semantics of Aquinas’ “transcendental participation” to being (*esse ut actus*) of each existent thing (*analogia proportionalitatis* between the two participations, while there is an *analogia proportionis* between the analogata in each of them). At the same time, such a formal ontology, we named as *Natural Realism* (NR), can be interpreted also – and this is the other issue discussed in this paper – as the formal ontology of the actual change of paradigm in fundamental physics and cosmology from the quantum mechanics (QM) to the quantum field theory (QFT). In it, the Aquinas notion of a composed substance, actually existing as a totality composed by its parts formally distinct among them, though virtually existing within the actual existing whole, is implemented in the new interpretation of the QM particle-wave *representational* duality, in terms of the QFT *dynamical* duality between a particle (e.g., an electron) and its force field (the electronic force field), in which the former individual (particle) is now the relative massive quantum. Just as a photon is the non-massive quantum of the electromagnetic field.

The formal core of NR is thus systematically different, despite several phenomenological contact points, from the analogue proposal of the *Conceptual Natural Realism* (CNR), recently proposed by N. B. Cocchiarella as a formal ontology of QM. NR ontology, is based, indeed, on the logic of the *converse implication* ($q \leftarrow p$) and of its modal version ($\neg \diamond(q \wedge \neg p)$), as the logic of the *causal necessity*, according to Aristotle’s and Aquinas’ suggestion. In it, the truth in the inferential chain is not conserved, as it is required in any dynamic and non-statistical process of *form generation* (morphogenesis), and so it is formally different from the *logic implication*. Mainly for this reason NR is also the proper logic also of the phase transitions in QFT, with the dynamic generation (unpredictable emergence) of a new phase

coherence domain, i.e. a complex physical systems, from the quantum vacuum including "from the inside", like the *first matter* of the Aristotelian ontology, all the physical realm.