

MAGISTRALIA

FILOSOFI DEL TERZO MILLENNIO – MANUALIA

I

Direttore

Gianfranco BASTI
Pontificia Università Lateranense

Comitato scientifico

Raffaella GIOVAGNOLI
Pontificia Università Lateranense

Philip M. LARREY
Pontificia Università Lateranense

Flavia MARCACCI
Pontificia Università Lateranense

Coordinatore editoriale

Alfonso D'AMODIO

MAGISTRALIA

FILOSOFI DEL TERZO MILLENNIO – MANUALIA



Lo scopo di questa Collana, nella sua parte dei Manualia, è quello di fornire dei manuali aggiornati e il più possibile completi per le diverse discipline filosofiche agli studenti, ai professori e agli appassionati di queste discipline. Particolare attenzione sarà rivolta al dialogo fra discipline filosofiche e discipline scientifiche, dato che le sfide e gli argomenti più interessanti e attuali nei vari campi dell'ontologia, dell'epistemologia e dell'etica nascono oggi dall'interno delle discipline scientifiche e spesso trovano delle proposte di soluzione che nascono, di nuovo, dall'interno delle discipline scientifiche stesse. Si pensi solo alle problematiche ontologiche legate alla cosmologia e alle origini dell'universo prima e dopo il big-bang e, in generale, alla fisica teorica quanto-relativistica. A quelle legate alle origini e allo sviluppo filogenetico e ontogenetico della vita e delle funzioni biologiche in biochimica e in genetica. A quelle legate alla natura delle funzioni cognitive e deliberative nelle scienze e neuroscienze cognitive. Ovviamente, queste problematiche ontologiche sono legate a quelle epistemologiche ed etiche in tutti questi settori, soprattutto nelle loro applicazioni tecnologiche, specialmente in ingegneria genetica e nel campo oggi dibattutissimo dell'Intelligenza Artificiale che sta cambiando la nostra società e la nostra cultura. È indispensabile quindi fornire non solo ai filosofi presenti e futuri, ma anche agli scienziati e agli studenti dei vari campi di studio scientifici e tecnologici, dei manuali che approfondiscano la relazione fra queste discipline in rapidissima evoluzione e le grandi Tradizioni filosofiche del presente e del passato che rischiano di finire altrimenti nel "museo delle cere" di un turismo culturale più o meno erudito.

Classificazione Decimale Dewey:

113 (23.) COSMOLOGIA (FILOSOFIA DELLA NATURA)

121 (23.) GNOSEOLOGIA. (TEORIA DELLA CONOSCENZA)

GIANFRANCO BASTI

**FILOSOFIA DELLA NATURA
E DELLA SCIENZA
I FONDAMENTI**

II EDIZIONE RIVEDUTA E AMPLIATA





©

ISBN OPERA COMPLETA
979-12-218-1841-3

ISBN TOMO I
979-12-218-1842-0

ISBN TOMO II
979-12-218-1843-7

PRIMA EDIZIONE
ROMA 7 APRILE 2025

Indice

Con collegamenti attivi ai titoli nella versione PDF

- 1 *Lista degli acronimi*
- 5 *Lista delle definizioni*
- 7 *Introduzione generale*
 - 0.1 *Quadro generale dell'opera, 7*
 - 0.1.1 *Un consiglio per la lettura, 9*
 - 0.2 *Verità e causalità nella scienza, 10*
 - 0.3 *Strumentalizzazioni ideologiche della filosofia e della scienza nella modernità, 13*
 - 0.4 *Il superamento delle vecchie contrapposizioni nell'età contemporanea, 14*
 - 0.4.1 *Dalla filosofia analitica alla filosofia formale, 14*
 - 0.5 *La «questione galileiana» alle origini della modernità, 16*
 - 0.5.1 *Un nuovo rapporto filosofia-scienza, 16*
 - 0.5.2 *La fondazione delle verità ipotetiche nella logica aristotelica delle scienze fisiche, 17*
 - 0.5.2.1 *Dualità fra necessità causale e logica nel realismo aristotelico, 17*
 - 0.5.2.2 *Cosmologia aristotelica e cosmologia tolemaica, 20*
 - 0.5.2.3 *Un testo esemplificativo di Tommaso della dualità relazioni reali/logiche e delle sue conseguenze, 21*
 - 0.5.3 *La perdita della fondazione causale delle verità ipotetiche in fisica e le conseguenze per la questione galileiana, 28*
 - 0.5.4 *Il metodo galileiano come metodo della scienza moderna, 30*

VIII – INDICE

- 0.5.5 *La questione galileiana: una ricostruzione storico-critica*, 36
- 0.5.6 *Un bilancio della questione galileiana e delle sue conseguenze*, 44
- 0.5.7 *La nascita del pensiero moderno, la questione galileiana e le conseguenze per il rapporto scienza-filosofia*, 48
- 0.6 Conclusione: una tassonomia delle diverse ontologie formali e lo schema di questo volume, 56

PARTE PRIMA

FILOSOFIA DELLA NATURA E DELLA SCIENZA: UN PROFILO STORICO DELLA PROBLEMATICIA

- 61 I. Dalle origini al XIX secolo
 - I.1 Filosofia della natura e scienza moderna: le origini, 61
 - I.2 Eclissi moderna della filosofia della natura, 70
 - I.3 Filosofia hegeliana della natura, 72
 - I.4 Radice dello scientismo illuminista, 73
 - I.4.1 *Apogeo del programma illuminista*, 73
 - I.4.2 *Assolutizzazione dell'evidenza*, 74
 - I.5 Crisi dei fondamenti della matematica nel secolo XIX, 77
 - I.5.1 *La nascita delle geometrie non-euclidee e l'assiomatizzazione della matematica*, 77
 - I.5.2 *La formalizzazione di Riemann*, 80
 - I.6 La nascita delle teorie degli insiemi e i fondamenti della matematica, 88
 - I.6.1 *La teoria non-assiomatica degli insiemi di Cantor e l'antinomia di Cantor*, 88
 - I.6.1.1 *Metodo assiomatico come antidoto ai tranelli dell'evidenza e del relativismo*, 88
 - I.6.1.2 *L'approccio costruttivista di Cantor ai fondamenti della matematica*, 91
 - I.6.1.3 *Il carattere non-assiomatico o "ingenuo" della teoria di Cantor*, 94
 - I.6.1.4 *I tre capisaldi della teoria di Cantor e la sua nozione tripartita di infinito*, 95
 - I.6.1.5 *L'ipotesi del continuo e i tre tipi di infinito*, 100
 - I.6.1.6 *La teoria dei tipi ordinali di transfinito*, 103
 - I.6.1.7 *L'antinomia di Burali-Forti*, 108
 - I.6.2 *La teoria logicista di Frege sui fondamenti e l'antinomia di Russell*, 108
 - I.6.3 *Il carattere sintattico delle antinomie e la natura necessariamente ipotetica della matematica*, 113
 - I.7 Sommario del Primo Capitolo, 117

- 121 2. Le rivoluzioni scientifiche del XX secolo e oltre
- 2.1 Nascita della «nuovafisica», 121
- 2.2 Ridimensionamento della fisica newtoniana: lo schema di questo capitolo, 121
- 2.3 Termodinamica, 126
- 2.3.1 *Termodinamica classica*, 126
- 2.3.2 *Termodinamica statistica*, 129
- 2.3.3 *Nozione di entropia*, 133
- 2.3.4 *Entropia fisica ed entropia informazionale*, 139
- 2.4 Dalla Meccanica Classica alla Meccanica Statistica e oltre nella Teoria della Complessità, 143
- 2.4.1 *Alcuni elementi di meccanica statistica*, 143
- 2.4.2 *Ipotesi ergodica, instabilità dinamica e sistemi caotici*, 148
- 2.4.2.1 *Complessità e rottura dell'ergodicità*, 148
- 2.4.2.2 *Instabilità dinamica, transizioni di fase e rottura dell'ergodicità nei sistemi complessi*, 150
- 2.4.2.3 *La congettura di Kardar-Parisi-Zang e la modellizzazione stocastica dei sistemi complessi*, 154
- 2.5 Teoria della relatività, 163
- 2.5.1 *Concezione newtoniana dello spazio-tempo*, 163
- 2.5.2 *Relatività speciale*, 166
- 2.5.3 *Relatività generale*, 174
- 2.6 Meccanica quantistica, 178
- 2.6.1 *Principio di quantizzazione*, 178
- 2.6.2 *Atomo di Bohr*, 179
- 2.6.3 *Principio d'indeterminazione*, 183
- 2.6.4 *Principio di esclusione di Pauli*, 185
- 2.6.5 *Dualità particella-onda*, 188
- 2.6.6 *La meccanica ondulatoria di Schrödinger*, 192
- 2.6.7 *Principio di complementarità e il dibattito Einstein-Bohr sulla fisica quantistica*, 196
- 2.6.8 *La meccanica delle matrici di Heisenberg e gli spazi di Hilbert*, 204
- 2.6.9 *Il formalismo degli spazi di Fock e il principio di sovrapposizione*, 213
- 2.7 Teoria quantistica dei campi e il Modello Standard delle particelle elementari, 217
- 2.7.1 *L'interpretazione di Dirac della Teoria Quantistica dei Campi*, 217
- 2.7.2 *Il Modello Standard delle particelle elementari: Gruppi di Simmetria e Teorema di Goldstone*, 221

- 2.7.3 *Il Modello Standard delle particelle elementari e la necessità del suo completamento*, 234
- 2.8 L'interpretazione della complessità nella QFT come Fisica Fondamentale, 241
 - 2.8.1 *L'interpretazione termica del vuoto quantistico*, 241
 - 2.8.2 *Il cuore della QFT come Fisica Fondamentale: la trasformata di Bogoliubov*, 245
 - 2.8.3 *Il Teorema di Goldstone e il ruolo dei bosoni di Nambu-Goldstone in QFT*, 246
 - 2.8.4 *La nozione di foliazione del vuoto quantistico e la complessità*, 252
 - 2.8.5 *Il raddoppio dei gradi di libertà e la sua rilevanza fisica, biologica e logica*, 258
- 2.9 Conclusioni: fine del mito riduzionista e principio di causalità, 261
- 2.10 Sommario del Secondo Capitolo, 264

- 271 3. La ricerca sui fondamenti della matematica nel XX secolo e oltre
 - 3.1 Lo sviluppo delle teorie assiomatiche degli insiemi, 271
 - 3.1.1 *Lo schema di quest' capitolo*, 272
 - 3.1.2 *Il principio di elementarità insiemistica di Russell*, 276
 - 3.1.3 *La teoria degli insiemi di Zermelo-Fraenkel*, 279
 - 3.1.4 *La teoria degli insiemi di Von Neumann-Bernays-Gödel*, 283
 - 3.1.5 *La teoria degli insiemi generici di Paul Cohen e la teoria del forcing*, 286
 - 3.1.5.1 *La teoria degli insiemi generici*, 286
 - 3.1.5.2 *La teoria del forcing*, 289
 - 3.1.6 *La teoria degli insiemi non-benfondati di De Giorgi-Forti-Honsell*, 295
 - 3.1.7 *La teoria degli insiemi non-benfondati di Aczel*, 298
 - 3.2 I Teoremi di Incompletezza di Gödel e i Teoremi di Limitazione di Tarski e Turing, 307
 - 3.2.1 *Il dibattito Frege-Hilbert, il programma formalista di Hilbert e il metodo assiomatico*, 307
 - 3.2.2 *Distinzione fra completezza "semantica" e "sintattica" di una teoria*, 316
 - 3.2.3 *I due Teoremi di Incompletezza di Gödel*, 322
 - 3.2.4 *Teoremi di limitazione*, 325
 - 3.2.4.1 *Il Teorema di Turing della fermata per la Macchina di Turing Universale*, 326
 - 3.2.4.2 *Il Teorema di Tarski sulla indefinibilità della verità dall'interno di un sistema formale*, 331
 - 3.2.4.3 *La teoria dei modelli in semantica formale*, 336
 - 3.3 Dalla Teoria degli Insiemi alla Teoria delle Categorie in logica e matematica, 342
 - 3.3.1 *Sfondo storico-filosofico: l'algebra triadica delle relazioni da Peirce a Tarski*, 342

- 3.3.1.1 *La struttura triadica dell'ontologia formale fenomenologica come fondamento ante-predicativo della logica*, 343
- 3.3.1.2 *L'algebra relazionale triadica della logica di Peirce e la logica come semiotica formale*, 346
- 3.3.2 *L'assiomatizzazione del calcolo algebrico delle relazioni in Tarski*, 346
- 3.3.2.1 *L'assiomatizzazione del calcolo delle relazioni*, 346
- 3.3.2.2 *Dal calcolo delle relazioni su base insiemistica alla Teoria delle Categorie*, 347
- 3.4 *Alcuni elementi di Teoria delle Categorie*, 352
- 3.4.1 *Primitivi e assiomi della teoria e la definizione di categoria algebrica*, 352
- 3.4.2 *La nozione di insieme-per-omomorfismo (hom-set) in TC*, 355
- 3.4.3 *Principali tipi di omomorfismo in TC*, 359
- 3.4.4 *Uso dei diagrammi commutativi come metodo dimostrativo della TC*, 362
- 3.4.5 *Funtori, dualità e trasformazioni naturali in TC*, 366
- 3.4.6 *L'equivalenza duale fra le categorie delle algebre e delle coalgebre in TC*, 370
- 3.4.6.1 *Oggetti finali, iniziali e terminali, in una categoria*, 371
- 3.4.6.2 *Applicazione ad una logica categoriale: significati come omomorfismi*, 375
- 3.4.6.3 *Il Teorema di Stone e l'interpretazione topologica delle Algebre di Boole (e dell'informatica)*, 379
- 3.4.6.4 *Funzione-significato in TI e TC*, 385
- 3.5 *Conclusioni: la morte scientifica dello scientismo e la rinnovata scientificità della filosofia*, 388
- 3.6 *Sommario del Terzo Capitolo*, 394

PARTE SECONDA

**FILOSOFIA DELLA NATURA E DELLA SCIENZA:
UN QUADRO TEORETICO DELLA PROBLEMATIC**

- 401 4. *Filosofia della Natura e Filosofia della Scienza*
- 4.1 *Due definizioni*, 401
- 4.1.1 *Definizioni descrittive e formali della Filosofia della Natura e della Scienza*, 401
- 4.1.2 *Lo schema di quest' capitolo*, 404
- 4.2 *La rinascita della Filosofia della Natura e la nascita della Filosofia della Scienza agli inizi del XX secolo*, 406
- 4.2.1 *Nascita della Filosofia della Scienza*, 406
- 4.2.2 *Rinascita della Filosofia della Natura*, 407
- 4.2.2.1 *Pierre Duhem*, 408
- 4.2.2.2 *Alfred N. Whitehead*, 409

XII – INDICE

- 4.2.2.3 *Ripresa della filosofia naturale scolastica*, 413
- 4.2.3 *La necessità della formalizzazione come antidoto al relativismo*, 414
- 4.2.3.1 *Caso elo necessità nell'evoluzione dell'universo*, 416
- 4.2.3.2 *Uso scientifico ("debole") versus uso ideologico ("forte") del principio antropico in cosmologia*, 419
- 4.3 *Gli inizi della Filosofia della Scienza e la Filosofia Analitica*, 425
- 4.3.1 *Ludwig Wittengstein*, 425
- 4.3.1.1 *Il "primo Wittengstein": il Tractatus Logico-Philosophicus*, 426
- 4.3.1.2 *Il "secondo Wittengstein": Le Ricerche Filosofiche*, 433
- 4.3.2 *Il Movimento Neopositivista*, 439
- 4.3.2.1 *Moritz Schlick e il Circolo di Vienna*, 439
- 4.3.2.2 *Il contributo di Rudolph Carnap al movimento neopositivista*, 443
- 4.3.2.3 *La crisi del positivismo logico e del movimento analitico*, 446
- 4.4 *Karl R. Popper: il falsificazionismo*, 447
- 4.4.1 *La critica di Popper al criterio di demarcazione neopositivista*, 447
- 4.4.1.1 *Una nota biografica*, 447
- 4.4.1.2 *Uso falsificativo del metodo ipotetico-deduttivo e le sue conseguenze*, 450
- 4.4.1.3 *Uso corroborativo del metodo ipotetico-deduttivo*, 458
- 4.4.2 *Gli epigoni di Popper*, 460
- 4.4.2.1 *La struttura delle rivoluzioni scientifiche di T.S. Kuhn*, 460
- 4.4.2.2 *I programmi di ricerca scientifica di I. Lakatos*, 461
- 4.4.2.3 *L'anarchismo metodologico di P.K. Feyerabend*, 462
- 4.5 *La critica di Quine all'analiticà logica delle teorie scientifiche*, 463
- 4.5.1 *"I due dogmi dell'empirismo" e la crisi della filosofia analitica*, 463
- 4.5.1.1 *La nozione di "impegno ontologico" di un determinato linguaggio*, 464
- 4.5.1.2 *Il primo dogma dell'empirismo logico*, 465
- 4.5.1.3 *Il secondo dogma dell'empirismo logico*, 467
- 4.5.2 *Impossibilità di una giustificazione formale della referenza extra-logica in TI*, 468
- 4.6 *La Filosofia della Natura e della Scienza del Realismo Naturale*, 474
- 4.6.1 *Lo schema di questa sottosezione*, 474
- 4.6.2 *Il problema logico di qualsiasi ontologia ed epistemologia formali delle scienze naturali*, 476
- 4.6.3 *Le "tre età" della riscoperta della logica modale nel XX secolo*, 478
- 4.6.3.1 *L'era sintattica di Lewis*, 480
- 4.6.3.2 *L'era classica di Kripke*, 492
- 4.6.3.3 *L'era attuale algebrica della logica modale*, 500

- 4.6.4 *L'interpretazione categoriale della logica modale e le sue conseguenze per la filosofia formale*, 505
 - 4.6.4.1 *Logica modale del secondo ordine*, 505
 - 4.6.4.2 *Logica modale del primo ordine*, 508
- 4.7 *Conclusione: la logica dell'ontologia formale del Realismo Naturale*, 522
 - 4.7.1 *Il Realismo Strutturale Ontico come risposta alla duplice critica di Popper e di Quine al realismo scientifico*, 522
 - 4.7.2 *Il cuore del Realismo Strutturale Ontico nel Realismo Naturale aristotelico-tomista*, 524
 - 4.7.2.1 *La fondazione causale delle ipotesi*, 524
 - 4.7.2.2 *La fondazione della effettività delle ipotesi matematiche in fisica*, 534
 - 4.7.3 *Il cuore del Realismo Strutturale Epistemico del Realismo Naturale Aristotelico-Tomista*, 538
 - 4.7.4 *Il Realismo Naturale come ontologia formale del realismo aristotelico-tomista*, 542
 - 4.7.4.1 *Morfismo riflessivo e inseità della sostanza aristotelica*, 542
 - 4.7.4.2 *La formalizzazione della nozione di forma naturale come entelechia*, 546
 - 4.7.4.3 *La formalizzazione del sillogismo dimostrativo causale*, 549
- 4.8 *Sommario del quarto capitolo*, 551

- 561 5. *Metafisica classica e pensiero moderno*
 - 5.1 *Premessa: il senso di questo capitolo*, 561
 - 5.2 *L'essere: dalle origini a Parmenide*, 564
 - 5.2.1 *La scuola di Mileto ed Eraclito di Efeso*, 564
 - 5.2.2 *La scuola di Pitagora*, 565
 - 5.2.3 *Parmenide di Elea*, 566
 - 5.3 *L'atomismo di Democrito*, 567
 - 5.3.1 *Prima risposta a Parmenide*, 567
 - 5.3.2 *L'atomismo metafisico*, 568
 - 5.4 *L'idealismo di Platone*, 570
 - 5.4.1 *La scoperta degli universali*, 570
 - 5.4.2 *Conoscenza come riconoscimento*, 574
 - 5.4.3 *Dottrina della partecipazione formale*, 576
 - 5.4.4 *Antropologia dualista*, 576
 - 5.4.5 *Seconda risposta a Parmenide*, 577
 - 5.5 *L'attualismo di Aristotele*, 578
 - 5.5.1 *Essenze e universali logici*, 578

XIV – INDICE

- 5.5.2 *Nozione di sostanza e categorie predicative*, 584
 - 5.5.3 *Terza risposta a Parmenide*, 592
 - 5.5.4 *Fondazione causale delle essenze*, 595
 - 5.6 L'essere come atto di Tommaso d'Aquino, 606
 - 5.6.1 *Limiti dell'ilemorfismo*, 606
 - 5.6.2 *Partecipazione dell'essere*, 608
 - 5.6.3 *Struttura causale della partecipazione*, 621
 - 5.6.4 *Fondazione induttiva del vero*, 624
 - 5.6.5 *Infinità dell'Essere vs. finitezza dell'ente*, 627
 - 5.7 Conclusione: metafisica vs. epistemologia, 632
 - 5.7.1 *Trascendentale classico e moderno*, 632
 - 5.7.2 *Tavola tomista dei trascendentali*, 641
 - 5.7.2.1 *Trascendentali come modi equivalenti di dire "ente" con significati diversi*, 641
 - 5.7.2.2 *La formalizzazione logica dei trascendentali usando la Teoria delle Categorie*, 649
 - 5.8 Sommario del quinto capitolo, 650
- 657 6. Una metafisica aggiornata dell'ente fisico
- 6.1 Premessa alla nuova edizione di questo capitolo, 657
 - 6.2 Metalogica della metafisica, 658
 - 6.2.1 *La teoria scolastica delle suppositiones*, 658
 - 6.2.2 *Collegamento con la semantica del RN nell'analisi di Poincot della logica scolastica*, 660
 - 6.2.3 *Collegamento con la logica del De Veritate di Tommaso*, 662
 - 6.2.4 *L'ontologia formale della copula "è" della proposizione semplice in Tommaso*, 665
 - 6.2.4.1 *Analisi logico-ontologica della copula «è» negli enunciati*, 666
 - 6.2.4.2 *Verità e desistenza come meta-predicati proposizionali*, 668
 - 6.2.4.3 *L'esistenza in Tommaso, in Kant e l'ontologia della realtà virtuale*, 671
 - 6.3 La differenza reale essere-essenza in ontologia, 672
 - 6.3.1 *Differenza reale essere-essenza come differenza causalmente fondata*, 672
 - 6.3.2 *Essenza, natura e quidditas*, 673
 - 6.3.3 *Entità e esistenza*, 678
 - 6.3.4 *Per se e per accidens*, 680
 - 6.4 Distinzione reale essere-essenza in metafisica, 684
 - 6.4.1 *Fondazione metafisica della causalità*, 684
 - 6.4.2 *Modello aristotelico di causalità fisica*, 685
 - 6.4.2.1 *Modello delle quattro cause*, 685

- 6.4.2.2 *Passaggio alla metafisica tomista della partecipazione dell'essere come atto*, 697
 - 6.4.2.3 *Prima analisi informale del modello tommasiano*, 700
 - 6.4.3 *Modello tomista di causalità metafisica*, 702
 - 6.4.3.1 *Rilevanza cosmologica del modello*, 702
 - 6.4.3.2 *Il modello di Hawking di universo eterno e la funzione d'onda dell'universo di Hartle-Hawking*, 706
 - 6.4.3.3 *Il modello di Penrose delle singolarità locali dei buchi neri in cosmologia*, 714
 - 6.4.3.4 *Tempo e creazione*, 719
 - 6.5 *Conclusione Generale: la topologia della n -sfera come spazio metafisico della partecipazione dell'essere*, 728
 - 6.5.1 *La costruzione della n -sfera in topologia*, 728
 - 6.5.2 *Applicazione alla metafisica della partecipazione di Tommaso*, 739
 - 6.5.2.1 *Il realismo modale categoriale in fisica e cosmologia*, 739
 - 6.5.2.2 *Il realismo modale categoriale in metafisica*, 747
 - 6.5.2.3 *Alcuni punti qualificanti della metafisica della partecipazione in cosmologia*, 758
 - 6.6 *Epilogo: scienza, filosofia e teologia*, 773
 - 6.7 *Sommario del Sesto Capitolo*, 785
- 657 7. Appendici
- 791 Appendice A al Capitolo 2
- Alcuni elementi del formalismo matematico della fisica moderna
- A1. Lo spazio degli stati in Meccanica Classica e il «pendolo ideale», 791
 - A2. La centralità della Trasformata di Fourier, 796
 - A2.1 *Lo sviluppo in serie di Fourier*, 797
 - A2.2 *L'analisi di Fourier*, 798
 - A.3 Dalla cinematica alla dinamica, 801
 - A3.1 *Rappresentazione dinamica di un sistema meccanico*, 801
 - A3.2 *Sistemi dinamici conservativi e le equazioni canoniche di Lagrange e Hamilton*, 803
 - A4. Lo spazio di misura come spazio di probabilità, 809
 - A4.1 *Il carattere statistico delle misure sperimentali nella scienza moderna*, 809
 - A4.2 *Il cuore della statistica: il teorema del limite centrale e la distribuzione normale*, 811
 - A4.3 *La nozione di spazio di probabilità*, 817
 - A4.4 *La centralità della nozione di transizione di fase e dei gradi di libertà di uno spazio di probabilità*, 819

- 822 Appendice B al Capitolo 2
Cinematica dell'evoluzione dinamica dei sistemi in meccanica statistica e sistemi caotici
- B1. La nozione di attrattore in uno spazio di fase come spazio di probabilità, 822
 - B1.1 *Caratterizzazione cinematica di un sistema dinamico classico: dal caso ideale al caso sperimentale*, 822
 - B1.2 *Cinematica dei sistemi dinamici in uno spazio di probabilità*, 822
 - B1.3 *Dal pendolo ideale a quello reale e la nozione di attrattore in cinematica*, 823
 - B2. L'attrattore strano per sistemi caotici e il clima come sistema complesso, 826
 - B2.1 *L'attrattore di Lorenz in meteorologia*, 826
 - B2.2 *Definizione topologica di sistema caotico*, 835
 - B2.3 *Rilevanza del comportamento caotico nei sistemi biologici*, 838
- 841 Appendice C al Capitolo 2
Il formalismo delle matrici di Heisenberg in fisica quantistica
- 843 Appendice D al Capitolo 3
L'assioma di anti-fondazione nella Teoria degli Insiemi Non-Ben Fondati di De Giorgi-Honsell-Forti
- 848 Appendice E al Capitolo 3
La rilevanza degli insiemi NWF e del Teorema della Coalgebra Finale in fisica, informatica e logica
- 855 Appendice F al Capitolo 3
La TC come metalinguaggio della topologia in matematica, logica e fisica
- 859 Appendice G al Capitolo 4
Il continuo dei metodi induttivi di Carnap
- 862 Appendice H al Capitolo 4
Algebra degli operatori dalla fisica alla logica
- H1. La nozione di morfismo limitato in TC, 862
 - H2. Algebra degli operatori in fisica e logica, 863
 - H2.1 *L'algebra degli operatori in fisica*, 863
 - H2.2 *L'algebra degli operatori in logica*, 865
 - H2.3 *Morfismi limitati come bisimulazioni fra strutture fisiche e logiche in ontologia*, 866
- 875 *Bibliografia generale*

Lista degli Acronimi

Offriamo qui una lista dei principali acronimi usati nel volume. Gli acronimi, quando possibile, seguono le abbreviazioni italiane, salvo il caso di acronimi ormai consolidati nella letteratura scientifica e salvo il caso di possibili confusioni, per cui viene usato l'acronimo in lingua inglese con traduzione italiana del significato. Infine, per non allungare troppo la lista, alcuni acronimi definiti e usati solo in particolari contesti non sono qui elencati.

AC	Axiom of Choice (Assioma di Scelta)
AFA	Anti-Foundation Axiom (Assioma di Anti-Fondazione in TI)
ANN	Artificial Neural Networks (Reti Neurali Artificiali in TCS)
APG	Accessible Pointed Graph (Grafo Accessibile Puntato in TI)
BA	Boolean Algebra (Algebra di Boole) in logica matematica
BAO	Boolean Algebra with Operators (Algebra Booleana con Operatori) in logica matematica e modale
b.o.	Buon ordinamento di insiemi
CD	(Phase) Coherence Domains (Domini di Coerenza di Fase) nei Campi Quantistici della QFT
CH	Continuum Hypothesis (Ipotesi del Continuo nella TI)
CM	Calcolo Modale (in LM)
CMBR	Cosmic Microwave Background Radiation (Radiazione Cosmica di Fondo a Microonde)
CNBR	Cosmic Neutrino Background Radiation (Radiazione Cosmica di Fondo di Neutrini)
CCR	Canonical Commutation Relation (in QM e QFT)
FA	Foundation Axiom (Assioma di Fondazione in TI)
FOL	First Order Logic (Logica del Primo Ordine)
GCH	Generalized Continuum Hypothesis (Ipotesi del Continuo Generalizzata in TI)
FOL	First Order Logic (Logica del Primo Ordine)
FT	Fourier Transform (Trasformata di Fourier)
GR	General Relativity (Teoria della Relatività Generale)
HOL	Higher Order Logic (Logica di Ordine Superiore in quanto contrapposta a una FOL)

2 – FILOSOFIA DELLA NATURA E DELLA SCIENZA

LM	Logica Modale
LTS	Labeled State Transition Systems (Sistemi Indicizzati a Transizione di Stato in TCS)
MBO	Modal Boolean Algebra with Operators (Algebra Booleana Modale con Operatori in TCS)
MS	Meccanica Statistica
N	Von Neumann (Teoria degli Insiemi di)
NG	Nambu-Goldstone Bosons (Bosoni di Nambu-Goldstone)
NBG	Von Neumann-Bernays-Gödel (Teoria degli Insiemi di)
NTM	Non-deterministic Turing Machine (Macchina di Turing Non-deterministica in TCS)
NWF	Non-wellfounded sets (Insiemi Non-benfondati)
PA	Peano Arithmetic (Aritmetica (assiomatizzata) di Peano)
PLC	Principio di Libera Costruzione (in TI) di E. De Giorgi
PDF	Probability Density Function (Funzione di Densità di Probabilità)
PMF	Probability Mass Function (Funzione di Massa di Probabilità)
QED	Quantum Electro-Dynamics (Elettrodinamica Quantistica)
QFT	Quantum Field Theory (Teoria Quantistica dei Campi)
QM	Quantum Mechanics (Meccanica Quantistica)
QV	Quantum Vacuum (Vuoto Quantistico)
RGL	Raddoppio dei Gradi di Libertà (in QFT)
RM	Realismo Modale in filosofia formale
RN	Realismo Naturale in filosofia formale
RS	Realismo Strutturale in filosofia formale
RSE	Realismo Strutturale Epistemico (Epistemic Structural Realism)
RSO	Realismo Strutturale Ontico (Ontic Structural Realism)
RTBA	Representation Theorem for Boolean Algebras (Teorema di Rappresentazione per Algebre Booleane) di M. Stone in logica
SAP	Strong Anthropic Principle (Principio Antropico Forte) in Cosmologia
SM	Standard Model (Modello Standard delle Particelle Elementari)
SQ	Second Quantization (Seconda Quantizzazione nella QFT)
SR	Special Relativity (Teoria della Relatività Speciale).
SSB	Spontaneous Symmetry Breaking (Rottura Spontanea di Simmetria del QV in QFT)
TC	Teoria delle Categorie
TCS	Theoretical Computer Science (Informatica Teorica)
TI	Teoria degli Insiemi
TM	Turing Machine (Macchina di Turing in TCS)
UTM	Universal Turing Machine (Macchina di Turing Universale)
WAP	Weak Anthropic Principle (Principio Antropico Debole) in Cosmologia
WF	Wellfounded sets (Insiemi benfondati in TI)

Z	Zermelo (Teoria degli insiemi di)
ZF	Zermelo-Fraenkel (Teoria degli insiemi di)
ZFC	ZF + Choice Axiom (ZF con l'Assioma di Scelta)

