

ISSN 2282-7765

ISSN 2282-7757

[online]

[printed]

Volume 13, Number 2, December 2025

Science & Philosophy

Journal of Epistemology, Science and Philosophy

Honorary Editor

Franco Eugeni

Chief Editor

Fabrizio Maturo

Managing Editor

Fabio Manuppella

Advisory Editors

Franco Blezza

Nicolae Rambu

Ezio Sciarra

SCIENCE & PHILOSOPHY - JOURNAL OF EPISTEMOLOGY, SCIENCE AND PHILOSOPHY

ISSN 2282-7757; eISSN 2282-7765.

Science & Philosophy is an International, peer-reviewed, open access journal, published every six months (June-December). Science & Philosophy aims to publish original research articles but also short communication and review papers of general significance that are written clearly and well organized.

The journal is a source of information for professionals in a wide range of scientific discipline. Indeed, Science & Philosophy is a multi-disciplinary journal that covers fundamental and applied research in various areas related to Science, Epistemology and Philosophy, including Mathematics, Statistics, and Social Science.

Both English and Italian languages are accepted for publications. In the case of an article in Italian, it is necessary to provide the title, the abstract, and the keywords also in English.

The journal is oriented on the scientific analysis of social phenomena, both by developing research with quantitative and qualitative methods and by interpreting with philosophical criticism. Science & Philosophy has its focus in the study of social phenomena both macro and micro, using the interdisciplinary approach of the social sciences, from economics to law, from politics to sociology, from history to social statistics. The journal focuses on the analysis of both phenomena and trends, for designing local developments and systems ecology. Scientific analysis is supported by an ethic of sociability.

Science & Philosophy publishes **open access articles** under the terms of the **Creative Commons Attribution (CC BY) License**. The Creative Commons Attribution License (CC-BY) allows users to copy, distribute and transmit an article, adapt the article and make commercial use of the article. The CC BY license

permits commercial and non-commercial re-use of an open access article, as long as the author is properly attributed.

Webmaster

Manuppella, Fabio, Pescara, Italy. fabio.manuppella@gmail.com

Legal Manager

Di Domenico, Bruna, Pescara, Italy

Note on Peer-Review

All manuscripts are subjected to a double-blind review process. The reviewers are selected from the editorial board, but they also can be external subjects. The journal's policies are described at: <http://eiris.it/ojs/index.php/scienceandphilosophy/about/submissions#authorGuidelines>

Copyright on any research article published in Science & Philosophy is retained by the author(s). Authors grant Science & Philosophy a license to publish the article and identify itself as the original publisher. Authors also grant any third party the right to use the article freely as long as its original authors, citation details and publisher are identified.



Publisher: APAV - Accademia Piceno-Aprutina dei Velati in Teramo

Tax Code 92036140678, **Vat Id. Number** 02184450688

Registered Office Address: via del Concilio, 24 - 65121 Pescara

Operational Office: via Chiarini, 191 - 65126 Pescara

Chief Editor

[Maturio Fabrizio](#) - Faculty of Technological and Innovation Sciences, Universitas Mercatorum, Piazza Mattei, 10, 00186 Roma, RM, Italy. fabrizio.maturio@unimercatorum.it – fabmatu@gmail.com

Honorary Editor

Eugeni Franco - Department of Communication Sciences - University of Teramo, Teramo, Italy - eugenif3@gmail.com.

Associate Editors

[Blezzza Franco](#) - Department of Business Administration, University G. d'Annunzio of Chieti - Pescara, Italy - franco.blezza@unich.it;

[Râmbu Nicolae](#) - Faculty of Philosophy and Social - Political Sciences, Alexandru Ioan Cuza University, Iasi, Romania - nikolausrambu@yahoo.de;

[Sciarra Ezio](#) - Department of Social Sciences, University G. d'Annunzio of Chieti - Pescara, Italy - esciarra@unich.it.

[Veraldi Roberto](#) - Department of Business Administration, University G. d'Annunzio of Chieti - Pescara, Italy - roberto.veraldi@unich.it;

Editorial Board

Anatriello Giuseppina - Dipartimento di Architettura, University of Naples Federico II, Naples - giuseppina.anatriello@unina.it;

Arribas Jose Maria - Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, Spain - jarribas@poli.uned.es;

Callejo Gallego Manuel Javier - Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, Spain - mcallejo@poli.uned.es;

Casolaro Ferdinando - Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy - ferdinando.casolaro@unina.it;

Chitoiu Dan - Al.I.Cuza University of Iasi, Philosophy Department, Iasi, Romania - dan811@yahoo.com;

Cimagalli Folco - Department of Jurisprudence, Economics, Politics and Modern Languages, LUMSA University - folco.cimagalli@gmail.com;

Ciprian Alecu - Gheorghe Zane Institute for Economic and Social Research, Iasi, Romenia - aiciprian@yahoo.com;

Corsi Vincenzo - Department of Business Administration, University G. d'Annunzio of Chieti - Pescara, Italy - vincenzo.corsi@unich.it;

Corsini Piergiulio - Department of Civil Engineering and Architecture, University of Udine - piergiulio.corsini@uniud.it;

Costa Davide - University "Magna Graecia of Catanzaro" - davide.costa@unicz.it;

Cruz Rambaud Salvador - Department of Economics and Business, Universidad de Almería, Almería, Spain - scruez@ual.es;

Cuconato Simone - Department of Humanities, University of Calabria, Cosenza, Italy - simone.cuconato@unical.it;

Deriu Fiorenza - Department of Statistical Sciences, Sapienza University of Rome, Rome, Italy - fiorenza.deri@uniroma1.it;

Emanuela Piga Bruni - Faculty of Society and Communication Sciences, Universitas Mercatorum, Rome, Italy - emanuela.pigabruni@unimercatorum.it;

Fantinelli Stefania - Dipartimento di Scienze Psicologiche Della Salute e Del Territorio, Università degli Studi G. d'Annunzio Chieti-Pescara - sfantinelli@yahoo.it;

Figueiredo Elisabete - Department of Social, Political and Territorial Sciences, University of Aveiro, Vila Real, Portugal - elisa@ua.pt;

Gardaphe Frederick - Queens College, City University of New York, U.S. - fred.gardaphe@qc.cuny.edu;

Gatto Romeno - Department of Mathematics, Computer Science and Economics, University of Basilicata, Potenza, Italy - romano.gatto@unibas.it;

Gavrila Mihaela - Department of Communication and Social Research - Sapienza University of Rome, Italy - mihaela.gavrila@uniroma1.it;

Gerla Giangiacomo - Department of Mathematics / DIPMAT, Salerno University, Salerno, Italy - gerla@unisa.it;

Gjuraj Tonin - Rektor of the Universiteti European i Tiranës, Albania - tonin.gjuraj@uet.edu.al;

Hošková - Mayerová Šárka - Department of Mathematics and Physics, University of Defence, Brno, Czech Republic - sarka.mayerova@seznam.cz;

Iacono Mauro - Department of Mathematics and Physics, University of Campania Luigi Vanvitelli, Caserta, Italy - mauro.iacono@unicampania.it;

Innamorati Stefano - Department of Industrial and Information Engineering and Economics, L'Aquila University, L'Aquila, Italy - stefano.innamorati@univaq.it;

Ispas Cristina - Universitatea Eftimie Murgu Reșița, Romania - c.ispas@uem.ro;

Madureira Livia - Universidade de Trás - os - Montes e Alto Douro (UTAD), Portugal - lmadurei@utad.pt;

Malizia Pierfranco - Department of Economics, Politics and Modern Languages of L.U.M.S.A., Rome, Italy - pfmalizaia@yahoo.it;

Marconi Domenico - Faculty of Biosciences and Agro - Food and Environmental Technologies, Teramo University, Italy - dmarconi@unite.it;

Markovic Ljiljana - Faculty of Philology, Department of Oriental Studies, University of Belgrade, Belgrade, Serbia - liliana.markovic@gmail.com;

Mascella Raffaele, Faculty of Communication Sciences, University of Teramo, Italy - rmascella@unite.it;

Marradi Alberto - University of Florence, Florence, Italy - alkmar@libero.it;

Migliorato Renato - Department of Mathematics, University of Messina, Messina, Italy - renato.migliorato@gmail.com;

Montesperelli Paolo - Department of Communication and Social Research, Sapienza University of Rome, Rome, Italy - paolo.montesperelli@uniroma1.it;

Nicotra Luca - Cultural Association of Art and Science, Rome, Italy - luca.nicotra1949@gmail.com;

Pagano Umberto - Dipartimento Di Giurisprudenza, Economia e Sociologia, Università “Magna Græcia” di Catanzaro – umberto.pagano@unicz.it

Palladino Nicla - University of Perugia, Perugia, Italy - nicla.palladino@unipg.it;

Paone Fiorella - Department of Business Administration, University G. d'Annunzio of Chieti - Pescara, Italy - fiorella.paone@gmail.com;

Petrovic Mina - Department of Sociology, Faculty of Philosophy, University of Belgrade, Serbia - mipetrov@ssb.rs;

Porreca Annamaria - Department of Medical, Oral and Biotechnological Sciences, Laboratory of Biostatistics, University "G. d'Annunzio" Chieti-Pescara, Chieti, Italy - annamaria.porreca@unich.it;

Rosati Norton Delfico Mauro - Rosati Law Firm & Partners - International LEGAL Advisors - info.btsconsultant@gmail.com;

Rotondo Paolo - Mathesis, Italyn Society of Mathematical and Physical Sciences, Italy - paolo_rotondo@libero.it;

Ruggiero Christian - Sapienza University, Rome, Italy - christian.ruggiero@uniroma1.it;

Savarese Elisa - I.T.I. Renato Elia, Castellammare di Stabia, Italy - elisa - elsava2@gmail;

Secondini Simonetta - University G. d'Annunzio of Chieti - Pescara, Italy - simonetta.secondini@tin.it;

Sessa Salvatore - Department of Architecture, University of Naples Federico II, Naples, Italy - sessa@unina.it;

Sideri Daniela - Faculty of Psychology, University G. d'Annunzio of Chieti - Pescara, Italy - sideridaniela@gmail.com;

Squillante Massimo - Department of Law, Economics, Management and Quantitative Methods (D.E.M.M.), University of Sannio - prorettore@unisannio.it;

Soitu Daniela - Tatiana - Al.I.Cuza University of Iasi, Philosophy Department, Iasi, Romenia - danielag@uaic.ro;

Tofan Ioan Alexandru - Department of Philosophy, Alexandru I. Cuza University, Iasi, Romenia - atofanro@yahoo.com;

Ventre Aldo Giuseppe Saverio - Department of Architecture and Industrial Design, University of Campania Luigi Vanvitelli, Caserta, Italy - aldoventre@yahoo.it;

Ventre Viviana - Department of Mathematics and Physics, University of Campania "Luigi Vanvitelli", Caserta, Italy - viviana.ventre@unicampania.it;

Viglioglia Maria Teresa - Independent Researcher, Melfi, Italy - viglioglia.teresa@tiscali.it;

Vincenzi Giovanni - Department of Mathematics / DIPMAT, University of Salerno, Salerno, Italy - vincenzi@unisa.it;

Vougiuklis Thomas - Department of Primary Level Education, Democritus University of Thrace, Alexandroupolis, Greece - tvougiou@eled.duth.gr;

Vranes Aleksandra - Faculty of Philology, University of Belgrade, Belgrade, Serbia - aleksandra.vranes@gmail.com;

Yalap Hakan - Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, Faculty Of Education, Nevşehir, Turkey - hakanyalap@hotmail.com;

Zifaro Maria - Faculty of Society and Communication Sciences- Universitas Mercatorum, Rome, Italy - maria.zifaro@unimercatorum.it.

Manager and Webmaster

Manuppella Fabio, APAV, Pescara, Italy

Legal Manager

Di Domenico Bruna, Teramo, Italy

Publisher

Accademia Piceno - Aprutina dei Velati in Teramo (A.P.A.V.)

Participation in the editorial board is renewed annually on the basis of the actual contribution, participation in the journal, and direction strategies defined by the chief editors. No communication is expected for the annual changes to the content of the board.

The Ascent of Instrumentalism in the Natural Sciences and its Consequences

Mario Alberto Natiello*

Hernán Gustavo Solari†

Abstract

We discuss instrumentalism as a component of the social changes that accompanied the second industrial revolution, following particularly the case of Germany. These changes constituted a departure from the Enlightenment tradition of natural philosophers towards a new approach to knowledge. We claim that instrumentalism cannot be separated from the disciplining of science that produced the sciences and further specialism, nor can it be separated from the intervention of the State, in representation of society, that conceived science as an economic resource, invested in it, in its teaching and use, making scientific knowledge an instrument of massive use, massively developed. But science as “economy of thought” (a view developed by Mach and others) has collateral casualties; ranking first among them is: free reasoning. The changes in education implemented in Prussia and the personalities displayed by the leaders of the new ethos of science produced (as expected) social conditions in which the development of critical reason was impeded. Only instrumental reason developed, thus producing technoscience, a constant development of new techniques (instruments) and a decline in the human constitution of the intellectual elite. The distance between the professional graduated from the universities and logic machines decreased by the improvement of the second and the decline in autonomous, self-controlled reasoning of the former.

*Centre for Mathematical Sciences, Lund University. Box 118, S 221 00 LUND, Sweden. email: mario.natiello@math.lth.se (corresponding author) Orcid: 0000-0002-9481-7454

†Departamento de Física, FCEN-UBA and IFIBA-CONICET; Pabellón I, Ciudad Universitaria (1428) - C.A.B.A - Argentina. email: solari@df.uba.ar Orcid: 0000-0003-4287-1878

Keywords: instrumental reason; guild of specialists; Artificial Intelligence

AMS subject classification: 01A80, 03-03, 03B42, 68T99¹

1 Introduction

In philosophy of science, *instrumentalism* is a form of *utilitarianism* stating the view that theories are merely instruments for predicting observable phenomena or systematising observation reports². Hence, the truth value of a scientific theory lies solely in the possibility of applying the theory in order to fulfil some predetermined goal. It connects with *pragmatism*, a line of thought advocated by William James and John Dewey^{3,4}. For any given belief James asks “what concrete difference will its being true make in anyone’s actual life?” [41] Here the goal would be to operate some concrete difference in our actual lives. In turn, Dewey asserts that “Reasonableness or rationality is, according to the position here taken, as well as in its ordinary usage, an affair of the relation of means and consequences.” [17, vol. 12 p. 17] He continues: “It is reasonable to search for and select the means that will, with the maximum probability, yield the consequences which are intended”. If theories are just means, and one looks for the “best” theory, it still may be that best is not good enough.

Despite coming close to the target, these accounts fail to capture the broader picture of instrumentalism. Our view, which we call *rational empiricism* and develops the heritage of the Enlightenment and more recently of Peirce and Whewell is that instrumentalism has an earlier origin in the natural sciences that can be traced to about 1870 (around half a century before e.g., Dewey) and its imprints

¹Received on December 20, 2025. Accepted on December 30, 2025. Published on December 31, 2025. doi: 10.23756/sp.v13i2.1730. ISSN 2282-7757; eISSN 2282-7765. ©Mario Alberto Natiello and Hernán Gustavo Solari. This paper is published under the CC-BY licence agreement.

²Anjan Chakravartty (2011), ‘Scientific Realism’ 4.1, *Stanford Encyclopedia of Philosophy* (consulted 2025-12-23).

³Dewey is credited with having coined the term instrumentalism in 1916, his ideas going back to 1903:

In the logical version of pragmatism termed instrumentalism, action or practice does indeed play a fundamental rôle. But it concerns not the nature of consequences but the nature of knowing. To use a term which is now more fashionable (and surely to some extent in consequence of pragmatism) than it was earlier, instrumentalism means a behaviorist theory of thinking and knowing. [16, p. 331]

⁴James and Dewey refer to Peirce, who was considered the father of pragmatism, but Peirce could not sustain their theses and renamed his own standpoint as *pragmaticism*, to distance his ideas from theirs.

science ever since, thus leading the development of education (instruction), technology and economy. Even the criticism of Horkheimer [38, p. 64] fails to recognise the instrumentalist orientations in e.g., quantum mechanics and relativity, although he recognises that “...reason has become an instrument.” (ibid, p. 21). Rather than an academic classification of discourse, we regard instrumentalism as the predominant force in the shaping of contemporary society. We share the view of Konrad Lorenz as reported in [1, p. 54] namely that technoscience (normal science) produces tools ready to use by anybody, even those who cannot understand how they work. In that sense, *understanding*⁵ is not always an intended predetermined goal.

We will review and identify instrumentalist content in science through the work of Hertz, Mach, Einstein and Dirac (among others) and advance into its consequences for science and for society as a whole. In particular, we will discuss in which way the current forms of Artificial Intelligence based on models that nobody knows exactly how —or why— they work [67, 34] represents a developed form of instrumentalism.

2 Instrumentalism in science

2.1 The origins: Hertz

Instrumentalist ideas can be traced back to the final decades of the XIX century with Hertz. Famous for his experiments on electromagnetic waves, Hertz was a disciple of Helmholtz, a scientist whose importance in the shaping of science in Germany cannot be overestimated (see below). To place ourselves in the historical context, we note that Hertz claims that by 1879 the electromagnetic laws that “enjoyed universal recognition” led to Maxwell’s equations [36, p. 6]. In fact, Hertz was satisfied with having access to a working set of dynamical equations, regardless of the contents underlying the mathematical symbols. In his words,

“I have not always felt quite certain of having grasped the physical significance of his [Maxwell’s] statements. [36, p. 20]. [...] To the question: ‘What is Maxwell’s theory?’ I know of no shorter or more definite answer than the following:– Maxwell’s theory is Maxwell’s system of equations. Every theory which leads to the same system of equations, and therefore comprises the same possible phenomena, I would consider as being a form or special case of Maxwell’s theory; [...]” [36, p. 21]

⁵Clearly this word has different meanings for instrumentalists, pragmaticists and others.

Hertz claimed that theories have to be provided with what he called *interpretation*, an element that runs alongside the mathematics and helps in constructing experiments related to theory, while at the same time theory can be detached from its construction. In this way several nonequivalent interpretations can be attached to a theory. Hertz' deep epistemological change has been highlighted by D'Agostino:

“...by separating the mathematical structure of a theory from its modes of representation he [Hertz] has profoundly challenged the conception of a physical theory as an indivisible unity of the two – a conception accepted by Maxwell and other nineteenth-century mathematical physicists.” [15, 22].

In practice, Hertz retained the form of Maxwell's equations but he felt free to detach them from the constructive work undertaken by Maxwell. This is a far reaching break with the Enlightenment tradition. Let us stop here for a moment to briefly review this tradition.

Contradictory theories that share the same observational record should not be distinguished according to Hertz. This can be compared with Maxwell's standpoint, where the agreement of theories based on contradictory premises (one with ether, the other without) was regarded as an issue of concern that required further research:

That theories apparently so fundamentally opposed should have so large a field of truth common to both is a fact the philosophical importance of which we cannot fully appreciate till we have reached a scientific altitude from which the true relation between hypotheses so different can be seen. [49, p. 228]

2.2 The Enlightenment tradition

With the present day insight we may say that the Enlightenment tradition had taken a radically different path as compared to Hertz. Indeed, since Galileo and Newton we regard scientific theories as an interplay between the sensible world that generates stimuli to our senses and the world of ideas, where we try to organise those stimuli. The outcome of this interplay are the foundational concepts of the theory (we arrive at them at the *end* of our inquiries rather than as a starting point) and their interrelations in the form of natural laws guided by reason. The consequences of these laws are investigated with the use of mathematical logic and the most we can hope for is to fail in our efforts of refuting the theory (by means of an observation that conflicts with rational predictions).

The keyword is reason. Non refuted theories are our current beliefs [55] and refutations are regarded as opportunities to exercise the “marvellous self-correcting property of reason” [55, CP 5.579] attempting to enlarge the theory

(beyond the scope of the refutation) in a way that it becomes more consilient [66, p. XXXIX, aphorism XIV], meaning that it explains a larger class of facts. This process has been described by Peirce as *abduction* or *retroduction* [55].

In this context, *understanding* refers to a search for unity, where theories are constructed attempting to eliminate arbitrary assumptions (or at least being independent of eventual inevitable arbitrary choices)[62] and they gradually encompass a broader body of phenomena in a consistent way.

Hertz, on the contrary, advocates what is now common place, namely that agreement with (the equations governing) observations is the only goal that a theory can hope for. In short: If it works, it is correct. Needless to say, this is an unacceptable weakening of the term understanding, since mutually incompatible theories may provide the same predictions. Verification is never enough. Further, understanding –in the Enlightenment form– focuses in eliminating arbitrary or unobservable ingredients. For example, resorting to the photon and the quantisation of the electromagnetic field to explain spectroscopic chemical observations is both unnecessary and of undecidable reality. [63, p. 198]

The detachment of concepts from the context in which they were created is a recurrent issue in instrumentalist theories and it constitutes one of the fundamental differences with the Enlightenment tradition. For example, a survey of the different meanings of “velocity” in different versions of electromagnetic theory can be found in [3, Vol. 5, p. 314]. The issue here is that concepts (in this case relative velocity between two circuits, thus defined originally by Maxwell and amenable to measurement in any situation) are introduced in a theory to fulfil a function; they have a meaning. Eventually, the concept enters some equation through a symbol (say v). If later the same symbol v in the same equation(s) is reinterpreted as something different, it is mandatory to check whether the new meaning conflicts with the original one. For e.g., Lorentz, the same symbol v enters the same equation as in Maxwell (a case of the so-called Lorentz force) but it has a different meaning: it is the velocity of a target particle with respect to the ether, something that is not clearly defined and cannot be measured. In order to perform observations, Lorentz’ theory required to hide under the rug the problem of measuring velocities relative to the ether.

2.3 The second industrial revolution

Instrumentalism enters the scene in natural sciences at a moment in history where the developments of electromagnetic theory boosted the so-called second industrial revolution. It was a period of important transformations in society, some of them reaching until present days. We will focus here in some of the consequences for the natural sciences.

The quest for technological development and its perceived social benefits in

terms of welfare and economic growth gave momentum to **specialisation**. The philosophy of Enlightenment focused on the unity of knowledge. However, to connect new observations with previous knowledge slowed the pace of technological applications and the sciences shifted focus towards the result side. It gradually led to the appearance of *experts*, namely scientists with considerable acquaintance in some narrow branch of science and comparable ignorance of other branches. The sciences were more and more reorganised into **guilds of specialists**, which developed control elites managing the relations with the state (which by then was the main economic supporter of academy in Europe). The relationship of scientists with the state opened up for political influences. Indeed, **political persecution** of scientists in German universities is recorded since at least 1837 where the *Göttinger Sieben* were fired for protesting against the King of Hannover.

The organisation of experimental science changed deeply as well. The process can be followed in Germany. By the beginning of the XIX century laboratories were private, often located at the residence of the researcher. Otherwise, they were laboratories with teaching purposes, like the one used by Ohm. With Humboldt's university, laboratories became integrated to the University (and supported by the state through the University). Such was the case of the laboratory used by Weber at Göttingen. Yet, research was conducted individually, perhaps with the aid of a young researcher as it was the case of Riemann in Weber's laboratory. In the next stage, University laboratories grew larger and better funded by the state. The example of the Physics laboratory directed by Helmholtz at Berlin U. is paradigmatic. The laboratory was well funded and considerable power was held by the director. Several students pursued their careers at the lab under the general supervision of Helmholtz. Even visiting scholars were allocated time for the use of the facilities as it was the case of Rowland. The laboratory exerted influence not only at Berlin U. but beyond it, and the work in the laboratory was organised by a hierarchy of researchers [68]. In the late XIX century, state-run institutions dedicated to research emerged. Again, we see the figure of Helmholtz associated to Siemens in front of this new stage creating the *Physikalisch-Technische Reichsanstalt* [9, 10].

The influence of “power brokers” within each guild increased along with the number of teachers and students. This influence was directed both towards the state, suggesting lines of research, and within the universities, being part of committees for teaching appointments and the like. Helmholtz lobbied in 1879 for the institution of a prize on electromagnetic theory by the Prussian Academy of Science (Berlin) and encouraged his disciple Hertz to run for it [4, p. 49]. It is a clear example of how political influence leads to funding, support for a disciple and eventually academic merits. The German imperial state, under the rule of Bismarck operated a change in the culture of science spreading beyond Ger-

many. In particular, German physics dominated the scene through various decades. Helmholtz' better and worse sides were reproduced throughout the social body of science.

Similarly, the **organisation of teaching** was reshaped in favour of technoscience. Mach, along with other thinkers of his time, advocated for a faster and goal oriented instruction in order to accelerate the formation of experts.

As compared with the Enlightenment period, the quality control of research shifted from a somewhat monastic attitude of self control and harmony with the universe, towards **peer control**, enacted by the specialist guild, following the "trends" or interests of the elites.

2.3.1 Specialisation

The instrumentalist demands of technoscience epistemology opens up for specialisation. Again, Mach is explicit in this respect:

The division of labor, the restriction of individual inquirers to limited provinces, the investigation of those provinces as a life-work, are the fundamental conditions of a fruitful development of science. Only by such specialization and restriction of work can the economical instruments of thought requisite for the mastery of a special field be perfected [48, p. 609].

We notice how Mach envisions one of the cornerstones of technoscience and its relation with contemporary economic development. Further, science as an asset to be transmitted in order to develop economic wealth is necessarily based in language. For Mach, "Language, the instrument of this communication, is itself an economical contrivance. Experiences are analyzed, or broken up, into simpler and more familiar experiences, and then symbolized at some sacrifice of precision." [48, p. 578]. Not only precision is sacrificed, as acknowledged. The process of simplification breaks the connections present in the real world and hides the assumptions made in the process of idealisation. It ignores the process that constructed the token of knowledge. The end result are concepts without conceptualisation, mere opinions that cannot be distinguished from pure products of imagination, which indeed, have replaced observation and classroom experience, sacrificed in the altar of the economy of thought.

The restriction of research to "limited provinces" was already an established practice, it had been identified around 1830 in *After Hegel* [5], where the idea of the sciences being "autonomous" repeatedly appears:

Rather than attempting to provide a basis for the sciences, philosophy should recognise "the fact of science," i.e., the fact that the sciences

are autonomous, that they have proven their own success, and that there is no point in worrying about scepticism regarding them. [5, p. 20]

Whewell coined the term “Scientist” and “Physicist” to distinguish the new social character from the old experimental philosopher [72]. Specialisation and compartmentalisation are imposed to Nature (who does not know about them) and confines the efforts of scientists to the specific areas. Gradually, “speciation” takes place. Research issues that do not clearly belong in one or the other compartment are left to the promises of interdisciplinary research, which rarely are enacted.

Such imposed restrictions prevent researchers to develop their own human potential and critical spirit, as identified by Humboldt:

THE true end of Man, or that which is prescribed by the eternal and immutable dictates of reason, and not suggested by vague and transient desires, is the highest and most harmonious development of his powers to a complete and consistent whole. Freedom is the grand and indispensable condition which the possibility of such a development presupposes; but there is besides another essential,—intimately connected with freedom, it is true,—a variety of situations. Even the most free and self-reliant of men is thwarted and hindered in his development by uniformity of position. [39, p. 53]

Experimental philosophers were coming into (almost) extinction and the new social actor, the professional scientist, was replacing them in the development of science.

As long as the truth-value of a theory lies in its agreement with observations, it is not a demand for theories to be consistent with each other. Each theory may have its own way to assess its truth-value, despite possible clashes with other related theories. Accelerated charged particles radiate in classical electrodynamics but do not radiate as part of e.g., an atom. Moreover, entities without anchorage in the sensible world could be a part of the theory, such as the derivation of a velocity from Dirac’s equation [63, p. 194] (which has no connection with the mechanical velocity that it was supposed to represent) or the formalism of matrix mechanics as Born admitted in his Nobel lecture: “What the real significance of this formalism might be was, however, by no means clear” [63, p. 176]. Indeed, the textbook versions of quantum mechanics, electrodynamics and mechanics display several conflicting points.

Helmholtz identified at least two dangers with specialisation, namely isolation and overvaluation, while depicting the behaviour of scientists and students of his time:

Instrumentalism in the Natural Sciences and its Consequences

First, then, I would say that union of the different Faculties is necessary to maintain a healthy equilibrium among the intellectual energies of students. Each study tries certain of our intellectual faculties more than the rest, and strengthens them accordingly by constant exercise. But any sort of one-sided development is attended with danger; it disqualifies us for using those faculties that are less exercised, and so renders us less capable of a general view; above all it leads us to over-value ourselves. Anyone who has found himself much more successful than others in some one department of intellectual labour, is apt to forget that there are many other things which they can do better than he can: a mistake—I would have every student remember—which is the worst enemy of all intellectual activity. How many men of ability have forgotten to practise that criticism of themselves which is so essential to the student, and so hard to exercise, or have been completely crippled in their progress, because they have thought dry, laborious drudgery beneath them, and have devoted all their energies to the quest of brilliant theories and wonder-working discoveries! [35, p. 10-11]

Helmholtz writes as a person who has witnessed these behaviours. For him, specialisation is given as a fact or a necessity and its consequences have to be dealt with. Apparently, he does not conceive an alternative. This very transition away from the unity of science and towards specialisation that Helmholtz was experiencing and influencing will be analysed a few decades later by Ortega y Gasset, who asserts that the heritage of Enlightenment faded away in a few generations and “the majority of scientists help the general advance of science while shut up in the narrow cell of their laboratory, like the bee in the cell of its hive, or the turnspit in its wheel” [The Barbarism of ‘Specialisation’, 54, p. 111]. Ortega’s description is vivid, passionate and sharply critical.

Specialisation commences precisely at a period which gives to civilised man the title “encyclopaedic.” The XIXth Century starts on its course under the direction of beings who lived “encyclopaedically,” though their production has already some tinge of specialism. In the following generation, the balance is upset and specialism begins to dislodge integral culture from the individual scientist. When by 1890 a third generation assumes intellectual command in Europe we meet with a type of scientist unparalleled in history. He is one who, out of all that has to be known in order to be a man of judgment, is only acquainted with one science, and even of that one only knows the small corner in which he is an active investigator. He even proclaims it as a virtue that he takes no cognisance of what lies outside the narrow

territory specially cultivated by himself, and gives the name of “dilettantism” to any curiosity for the general scheme of knowledge. [The Barbarism of ‘Specialisation’, 54, p. 110]

[...] But this creates an extraordinarily strange type of man. The investigator who has discovered a new fact of Nature must necessarily experience a feeling of power and self-assurance. With a certain apparent justice he will look upon himself as ‘a man who knows’. And in fact there is in him a portion of something which, added to many other portions not existing in him, does really constitute knowledge. This is the true inner nature of the specialist, who in the first years of this [XX] century has reached the wildest stage of exaggeration. The specialist “knows” very well his own, tiny corner of the universe; he is radically ignorant of all the rest.

Here we have a precise example of this strange new man, whom I have attempted to define, from both of his two opposite aspects. I have said that he was a human product unparalleled in history. The specialist serves as a striking concrete example of the species, making clear to us the radical nature of the novelty. For, previously, men could be divided simply into the learned and the ignorant, those more or less the one, and those more or less the other. But your specialist cannot be brought in under either of these two categories. He is not learned, for he is formally ignorant of all that does not enter into his specialty; but neither is he ignorant, because he is “a scientist”, and “knows” very well his own tiny portion of the universe. We shall have to say that he is a learned ignoramus, which is a very serious matter, as it implies that he is a person who is ignorant, not in the fashion of the ignorant man, but with all the petulance of one who is learned in his own special line. [The Barbarism of ‘Specialisation’, 54, p. 111-112]

2.3.2 Teaching: The economy of thought and didactic transpositions

We will exemplify this phenomenon mainly with quotes by Mach, a philosopher that is still mentioned in elementary physics textbooks, in spite of his misunderstandings. Mach’s work constitutes an important and coherent example of a line of thought that was widespread in those times. In his own words,

In recent times the view in question [science as economy of thought] has been repeatedly though diversely expressed, first by myself in my lecture *Ueber die Erhaltung der Arbeit* (1872), then by Clifford in his *Lectures and Essays* (1872), by Kirchhoff in his *Mechanics* (1874),

Instrumentalism in the Natural Sciences and its Consequences

and by Avenarius (1876). To an oral utterance of the political economist A. Herrmann I have already made reference in my *Erhaltung der Arbeit* (p. 55, note 5);[...] [48, p. 592]

The main goal of technoscience is to develop improved technology within the accepted current status of knowledge, as efficiently as possible. In the present times, *efficiency* cannot be detached from economic profit. In this sense, technoscience demands the production of skilful and expert professionals. To this end, Mach advocates for reshaping current knowledge in order to optimise knowledge transfer. Concepts need not be transferred as they were originally developed, as long as the transmitted (and possibly simplified) concept has the same observational value. In Mach's words,

When we wish to bring to the knowledge of a person any phenomena or processes of nature, we have the choice of two methods: we may allow the person to observe matters for himself, when instruction comes to an end; or, we may describe to him the phenomena in some way, so as to save him the trouble of personally making anew each experiment.[48, p. 6]

It is the object of science to replace, or *save*, experiences by the reproduction and anticipation of facts in thought. Memory is handier than experience and often answers the same purpose. This economical office of science, which fills its whole life, is apparent at first glance; and with its full recognition all mysticism in science disappears.

Science is communicated by instruction, in order man may profit by the experience of another and be spared the trouble of accumulating it for himself and thus, to spare posterity, the experiences of whole generations are stored up in libraries. [48, p. 577]

Knowledge which is historically first, is not necessarily the foundation of all that is subsequently gained. As more and more facts are discovered and classified, entirely new ideas of general scope can be formed. We have no means of knowing, as yet, which of the physical phenomena goes *deepest*, whether the mechanical phenomena are perhaps not the most superficial of all, or whether all do not go *equally deep*. Even in mechanics we no longer regard the oldest law, the law of the lever, as the foundation of all the other principles.[48, pp. 596–597]

This discourse exemplifies the habit of *didactic transposition*, namely when the organisation and content of concepts is reshaped to optimise instruction. It hides

several dangers, the most important being that it responds to the idea that knowledge is received from the outside, rather than produced by ourselves. This shift in the construction of knowledge dehumanises the students, who cease to be autonomous beings that decide what is true and what is not by the power of their own reasoning. Instead, the students lend their brains to run forms of thinking provided by the instructors, being thus treated not as autonomous beings with own aims but rather as biological machines being programmed to fulfil a function in society.

Another danger is that altering the order in the presentation of concepts may hide misunderstandings on the side of the teacher. We have pinpointed elsewhere some of Mach's own misunderstandings [63, p. 38-45] of Newtonian mechanics that have propagated to standard textbooks. Indeed, Mach does not understand Newton's concept of mass, thus ending with two concepts of mass rather than just one. If didactic transpositions can be done at all, it is because the goal is to convince students to use a given set of imported ideas. Transposition requires a new process of conceptualisation when constructing the concepts.

It is apparent that the key motivation in Mach is "instruction", namely to transmit knowledge "as it is", in a manner as efficient as possible. In Mach's words, "My conception of economy of thought⁶ was developed out of my experience as a teacher, out of the work of practical instruction" [48, p. 591]. This attitude may be tolerable when we are in the situation of training ourselves into a proven and recognised technique, but it is clearly inappropriate to develop our capability to address tasks that require critical and synthetic judgement.

Despite Mach's or Hertz' convictions, concepts do not exist independently of the context in which they were constructed. Rather than starting points, concepts are arrival points summarising the ideas we want to develop. Separating concepts from their content –an absurdity within the epistemology inherited from Enlightenment– turns science into a game of words void of content. This attitude has far reaching consequences in our time. The methodology of generative AI (Artificial Intelligence) is based upon relations between meaningless symbols and therefore it depends on (and supports) the instrumentalist approach. The warnings made by Peirce in 1887 about logical machines [7, 55, C.P 2.56] still apply, for example: "They do not appear to think, at all, in any psychical sense; and even if we should discover that they do so, it would be a fact altogether without bearing upon the logical correctness of their operations, which we should still have to assure ourselves of in the same way we do now" and indeed this is one of the main current problems as reported in [34]. Present day experience with

⁶Mach's ideas about the economy of thought appeared first (1872) in the pamphlet (his wording) "*Die Gestalten der Flüssigkeit*" (The forms of fluids) and in a more detailed form by 1882 in his thesis "*Die ökonomische Natur der physikalischen Forschung*" (The economic nature of physical research).

AI suggests that whenever the user is capable of independent thinking and only uses AI tools to pick up hints, they could be of help. Those unable to exercise independent thinking (for example because they are ignorant about the subject matter) run serious risk of being misled. AI operates only at the level of symbols, it generates likely discourse on the base of previous discourses used for training. Actually, such form of thinking would satisfy the requirements put by Carnap [11] who reduces thinking to logical propositions and language, a line of thought related to that of the young (first) Wittgenstein [70], sharply criticised by the mature (second) Wittgenstein [69].

2.3.3 Political persecution

Apart from the example above about the Göttingen Sieben, the reorganisation of the universities opened up for the politicisation of the academic environment, where competing power-brokers attempt to become hegemonic in their zone of influence. Such attitude was described by Bourdieu [6] and it may be recognised in the present days. The politician of science strives to impose the idea that *their science* is the best and deserves best funding. Further, it contributes in positioning their disciples socially in the guild, thus broadening their influence. In the period which we discuss, Helmholtz, Hertz, Clausius and others all the way to H. A. Lorentz were supporters of the ether (the conjectured undetectable site of electromagnetic action) and attempted to discredit in different ways alternative standpoints, in particular the ether-free alternative of the Göttingen school (Gauss, Riemann, Weber, L. Lorenz, etc.). In 1881 Helmholtz promoted to rename the unit of current *Ampère* rather than (as was customary by then) *Weber*. [2, p. 51].

2.3.4 The inner and the outer view of science.

The reason why science interests us appears to have always been dual. For the men of science the motivation had been a direct relation with Nature. For the rest of the society, the main interest has been to draw benefits from such knowledge. In the XVII century, Galileo Galilei represents the inner view of science, the view of those that develop science, while Francis Bacon represents the outer view, the view of those that expect to benefit from science. While the inner view predominated, Science was akin to experimental or natural philosophy, belonged to Kant's second faculty [43] and was eventually supported by patrons just like the arts. When society, through the state, decided to develop sciences, the second view took command. Science moved from the second faculty to Kant's first faculty.

For Kant and many others, ethics was in unity with reason, they could not be conceived separately. When Science moved to the first faculty, scientists separated it from ethics. Ethics operates on what we do with knowledge and the sciences

focused on generating knowledge regardless of ethical issues.

With this deep change science became a profession, the doings and products of the professionals had to be controlled and what perhaps is more important, the new ethos of science attracted different personalities. The personality previously attracted into science is well represented by W. Humboldt (who can be considered a founder of language studies). Humboldt writes:

The axiom that nothing on earth is so important as the highest power, and most varied cultivation of the individual, and that, therefore, the primary law of true morality is, educate yourself, and only the second, influence others by what you are; these axioms are so firmly impressed upon my mind that nothing can change them. [65]

Later, C. Peirce describes in the spirit of Enlightenment how true science can only be developed by those with a passionate thirst for reason and learning:

If we endeavor to form our conceptions upon history and life, we remark three classes of men. The first consists of those for whom the chief thing is the qualities of feelings. These men create art. The second consists of the practical men, who carry on the business of the world. They respect nothing but power, and respect power only so far as it [is] exercised. The third class consists of men to whom nothing seems great but reason. If force interests them, it is not in its exertion, but in that it has a reason and a law. For men of the first class, nature is a picture; for men of the second class, it is an opportunity; for men of the third class, it is a cosmos, so admirable, that to penetrate to its ways seems to them the only thing that makes life worth living. These are the men whom we see possessed by a passion to learn, just as other men have a passion to teach and to disseminate their influence. If they do not give themselves over completely to their passion to learn, it is because they exercise self-control. Those are the natural scientific men; and they are the only men that have any real success in scientific research. [55, CP. 1.43]

Let us contrast this standpoint with Helmholtz' considerations about the (social) relations with academic peers:

How many such men have become bitter misanthropes, and put an end to a melancholy existence, because they have failed to obtain among their fellows that recognition which must be won by labour and results, but which is ever withheld from mere self-conscious genius! And the more isolated a man is, the more liable is he to this danger; while, on the other hand, nothing is more inspiring than to feel yourself

Instrumentalism in the Natural Sciences and its Consequences

forced to strain every nerve to win the admiration of men whom you, in your turn, must admire. [35, p. 11]

For the Enlightenment, to be in harmony with the Cosmos is more important than social recognition or admiration, it is the inner relation what counts. For Helmholtz social relation is what counts. A majority of scientists appear to adhere today, over one hundred years after Helmholtz, to the outer view.⁷

⁷Baruch Spinoza makes clear in [64, pp. 2-3] that “Riches, Fame, and the Pleasures of Sense” are the principles orienting the life of the common men and discuss how they interfere and prevent the development of reason. The social recognition that Helmholtz praises is precisely what Spinoza calls “fame”. We quote Spinoza:

[5] (1) In the case of fame the mind is still more absorbed, for fame is conceived as always good for its own sake, and as the ultimate end to which all actions are directed. (2) Further, the attainment of riches and fame is not followed as in the case of sensual pleasures by repentance, but, the more we acquire, the greater is our delight, and, consequently, the more are we incited to increase both the one and the other; on the other hand, if our hopes happen to be frustrated we are plunged into the deepest sadness. (3) Fame has the further drawback that it compels its votaries to order their lives according to the opinions of their fellow men, shunning what they usually shun, and seeking what they usually seek.

This latter is the principle of action of the mass men, or the mediocre men in José Ingenieros [40], who writes:

To vary is to become somebody, differentiate oneself is to have character, a plume, big or small: finally, a Crest, indicating that we don't simply live as a reflection of others. The capital function of the mediocre man is the imitative patience. The one of the superior man is creative imagination. The mediocre aspires to blend with those who surround him; the original tends to differentiate from them. While one thinks with society's head, the other aspires to think with his own. Therein lies the distrust that surrounds the original characters: nothing seems more dangerous than a man that attempts to think with his own head. [40]

The scientist is then a paradoxical character: they need to be somewhat original to be appreciated as men of science, they cannot be absolutely mediocre, but they cannot be original in extreme either, much less propose radically different points of views, because they aspire to the recognition of their colleagues and to achieve it they must align with the guild. The result of the tension is beautifully summarised by Bourdieu

[...] there is invention according to a previously invented art of inventing, which, by solving all the problems likely to be raised within the limits of the established problematic, through the application of proven methods (or by working to save established principles from heretical challenges [...]) tends to occlude the fact that it only solves the problems it can raise and only raises the problems it can solve; on the other side, there is heretical invention, which, by challenging the very principles of the old scientific order, creates a radical dichotomy, with no chance of compromise, between two mutually exclusive systems.[6]

2.3.5 Instrumentalism and the outer view.

Agreement with observations has always been a fundamental criteria for acceptance of new knowledge. At the same time, achieving external goals is the determining criteria for acceptable technologies, in one word: success. Success makes the social acceptance or rejection of a technique and it has always been so. The technique is a tool in terms of the present discussion, something that assists us in achieving our goals more efficiently. In contrast, how the idea that led to the new tool occurred to us is not relevant in principle, but mere anecdote. A science oriented and supported in view of the technical possibilities that it opens (technoscience) unavoidably will tend to enhance the relevance of useful results (such as predictions) and disfavour the grounding of the new ideas in observations and previous understanding. Actually, if a tool works in a good number of cases but not in a restricted set of exceptional cases, the solution to the technical problem is to develop specialised tools that overcome the exceptional difficulties of those cases (a procedure called *patching* below). Thus, technology calls for specialisation by itself. The philosophical view would have considered that the “exceptions” actually refuted the theory and a new theory would have been thought, making us overcome our blindness. Thus, the Enlightenment attitude towards science promotes critical thinking where technoscience promotes specialisation.

2.3.6 The state’s need to control the scientist’s activities and the guild of specialists

Today, under late capitalism, the premise that the one that supports economically an activity acquires by this fact the right to exercise control (or at least monitor the activity) appears as natural. Thus, the professionalisation of the scientific activity demands some sort of quality control of its outcome.

In Medieval times craftsmen gathered in guilds that ensured production standards (they exerted “quality control”), achieved political influence and put entry requirements to newcomers. In our times scientists gather in groups of practitioners of constantly specialising research fields constituted by reciprocally recognised scientists (peers). In such form they achieve the same goals that medieval guilds on behalf of the bourgeois’s science [53].

The “quality control” of scientific results has been gradually shaped into today’s peer review practice. Each super-specialised journal has its own set of reviewers, who control that a proposed publication fits the interests of the group, satisfying also some demands on originality. Both originality and correctness are shaped after the subjectivity of the guild. A manuscript in e.g., population dynamics containing elementary mathematics may be deemed original by experts in population

dynamics while applied mathematicians may regard it as elementary or standard, i.e., *not* original. Specialisation allows for the coexistence of opposing criteria. Indeed, most scientists do not recognise this issue as a problem, but rather as the normal state of affairs, being specialisation so deeply rooted into our consciences.

2.4 Instrumentalism in the early XX century physics

The first decades of the XX century witnessed the upraise of Relativity and Quantum Mechanics. Many of their creators attempted to explain or develop the epistemological background sustaining their theoretical effort, thus providing fresh examples of the instrumentalist epistemology. Indeed, these results in physics stimulated the activity in epistemology. Philosophers such as Carnap, Popper, Reichenbach, Russell and even Horkheimer (among others) “knew” beforehand that Relativity and Quantum Mechanics were the highest peaks in human science and elevated some of their authors (especially Einstein) to exemplary figures whose results could not be questioned. A social mandate.

2.4.1 Einstein and Relativity

Early in the XX Century the conflict between the interpretation of Maxwell’s equations and the hypothesis regarding the ether was evident. The ether was not a good hypothesis from the instrumentalist point of view, a problem that threatened not only the belief in the ether but more radically, it threatened instrumentalism in itself since the ether was its first product and it had been opposed by Gauss, Riemann and others that sustained the old rational empiricism of the experimental philosophers. Declining the existence of the ether and moving back to the latest safe point in the development of Electromagnetism amounted to recognise that the instrumentalist epistemology inculcated especially in the German universities was not making the expected mark. Einstein saved instrumentalism in 1905. In two separated works he proposed a new form of thinking about light conforming, as much as possible, with the ancient saying “matter cannot act where it is not”. The material ether was then left behind and the alternative of a quasi-material entity –the photon– carrying electrical action was introduced in [24]. In addition, if the new (imagined) entity was to be in agreement with the action described by Maxwell’s equations, and the material ether was to be removed, the solution at hand was to replace the ether by empty space [25] and the relational space-time used to construct electromagnetism by Minkowski’s space so that Maxwell’s equations equivariance with respect to Lorentz’ transformations was justified, based upon the imagined photon. The construction was supported with the introduction of two postulates [23]: constancy of the (body-like) speed of light with respect to different “inertial frames” and the principle of relativity, taken from Poincaré,

whose epistemic origin could not be ascertained neither by Poincaré nor by Einstein or for the matter by any other until present times. The new interpretation of Electromagnetism required some additional corrections, such as adherence to the instrumentalist view detaching the theory from its construction and once more reinterpreting its symbols at will. Special Relativity (SR) gradually gained acceptance and its critics have been subsequently ignored or vehemently fought throughout the years. There is essentially one textbook presentation of SR, with rods and clocks, dictated by this acceptance.

Einstein's instrumentalist view is manifest:

There is no inductive method which could lead to the fundamental concepts of physics. Failure to understand this fact constituted the basic philosophical error of so many investigators of the nineteenth century. It was probably the reason why the molecular theory, and Maxwell's theory were able to establish themselves only at a relatively late date. Logical thinking is necessarily deductive; it is based upon hypothetical concepts and axioms. How can we hope to choose the latter in such a manner as to justify us in expecting success as a consequence? [26, p. 365].

Physics constitutes a logical system of thought which is in a state of evolution, and whose basis cannot be obtained through distillation by any inductive method from the experiences lived through, but which can only be attained by free invention. The justification (truth content) of the system rests in the proof of usefulness of the resulting theorems on the basis of sense experiences, where the relations of the latter to the former can only be comprehended intuitively. [26, p. 381]

As with Hertz, this point of view precludes deeper criticism of the foundations of the theory. For example, it is never discussed why light, or electromagnetic waves in general, should have a "velocity" in the first place; it appears to be an accepted habit. The whole scaffolding of SR collapses with the belief in this velocity. However, L. Lorenz' electromagnetic waves rest on delayed action at a distance and do not require a "velocity of light". Moreover, all of classical electrodynamics can be formulated within Lorenz' framework, thus explaining the "relativistic" Doppler effect without SR (i.e., in a manner that is compatible with the rest of electrodynamics and with mechanics) or transformations among inertial frames, using Lorentz' boosts in a novel manner.

These issues and other inconsistencies and conflicts with SR are extensively discussed in [63, sections 2.4.1, 3.2]

2.4.2 Bohr, Dirac and Quantum Mechanics

Quantum mechanics (QM) was developed in order to organise microscopic phenomena, mostly of electromagnetic nature. The experimentally observed quantisation was imposed on a planetary model of the hydrogen atom by Bohr. Further, the formalism of matrix mechanics by Heisenberg and Schrödinger's wave mechanics took over. The theory provided means to agree with e.g., spectroscopic results, described as transitions (detected as electromagnetic waves) between stationary "states" (manners of existence) of atoms. [44, p. 80] reports in the scientific biography of Paul Dirac that he (Dirac)

"...shared the positivist and instrumentalist attitude of the Copenhagen-Göttingen camp, including its belief that quantum mechanics is devoid of ontological content. He thought that the value of quantum mechanics lay solely in supplying a consistent mathematical scheme that would allow physicists to calculate measurable quantities. This, he claimed, is what physics is about; apart from this, the discipline has no meaning."

Several *interpretations* of QM appeared, being the most popular among physicists the statistical interpretation by Max Born, also called the *Copenhagen interpretation*⁸. Apart from the declared lack of meaning beyond agreement with experiments, this interpretation is marred by a number of "patches" to hide or circumvent contradictions. For instance, *Schrödinger's cat* was raised to become a central issue, while Schrödinger meant to ridicule [60] the statistical interpretation. Further, dynamics is ruled by the Schrödinger equation for the wave function, unless we perform a measurement on the system, after which its wave function collapses to a stationary state. The collapse is not prescribed by Schrödinger equation and it is assumed to take place instantaneously. Also, the efforts by Dirac [20] to interpret negative energy states simply ignores the practical difficulties. The idea of an infinite aggregation of electrons does not survive scrutiny. Such aggregation would have associated an infinite mass and infinite charge which nevertheless would not produce any observable effects. The hypothesis is there to "patch" the issue of negative energies, but at the same time it destroys the connection with mechanics and electromagnetism. Surprisingly enough, Dirac [21] set out to improve on Klein-Gordon's equation, being one of the motives that it allowed for solutions of negative energies.

⁸In a survey by Nature [33] the Copenhagen interpretation had 36% support, against 17% for the closest "competitor".

3 The development of true science

But I repeat that I am astonished at the ease with which when speaking of technicism it is forgotten that its vital centre is pure science, and that the conditions for its continuance involve the same conditions that render possible pure scientific activity. **Has any thought been given to the number of things that must remain active in men's souls in order that there may still continue to be "men of science" in real truth? Is it seriously thought that as long as there are dollars there will be science?** This notion in which so many find rest is only a further proof of primitivism. As if there were not numberless ingredients, of most disparate nature, to be brought together and shaken up in order to obtain the cocktail of physico-chemical science! Under even the most perfunctory examination of this subject, the evident fact bursts into view that over the whole extent of space and time, physico-chemistry has succeeded in establishing itself completely only in the small quadrilateral enclosed by London, Berlin, Vienna, and Paris, and that only in the XIXth Century. This proves that **experimental science is one of the most unlikely products of history**. Seers, priests, warriors and shepherds have abounded in all times and places. But **this fauna of experimental man apparently requires for its production a combination of circumstances more exceptional than those that engender the unicorn**. Such a bare, sober fact should make us reflect a little on the super volatile, evaporative character of scientific inspiration. **Blissful the man who believes that, were Europe to disappear, the North Americans could continue science!** It would be of great value to treat the matter thoroughly and to specify in detail what are the historical presuppositions, vital to experimental science and, consequently, to technical accomplishment. But let no one hope that, even when this point was made clear, the mass-man would understand. The mass-man has no attention to spare for reasoning, he learns only in his own flesh. [54, p. 84–85](emphasis added).

Ortega y Gasset (OyG) concerns presented by 1930 can now be evaluated in historical terms. Europe almost disappeared during WW II (1939-1945). Scientists were involved on both sides of the battlefield and their contributions were of great and decisive importance. Think of the radar, V1 and V2 bombs, cryptography –based on a just born computer science–, the race for the atomic bomb, chemical and biological warfare. Hundreds of scientists fled to the United States of America (US), those of the winner side mostly before or during the war, those of the

losing side after the war. The centre of gravity of science moved to the US. New institutions were created, such as the NSF (1950)⁹ under H. Truman's presidency after a the study by V. Bush [8]: "Science, the endless frontier", a visionary work in the political spirit of F. Bacon. Funding of science escalated swiftly. For example, particle accelerators, once table top devices, reached an economic limit before 1960¹⁰. New technology allowed to build a linear accelerator of 3219 m between 1962 and 1966¹¹. The extent of fields opened by the old science and the first generation of technoscience may have been beyond what OyG could imagine. The large accelerators produced particles which according to the underlying theories (SR-Electromagnetism and QM) would be moving with respect to the laboratory at speeds close to that of light. However, these two theories were in a deep conflict[28, 27]. While a self-critical experimental philosopher would have considered this conflict as a clear indication that the shortcuts used to produce both theories were incompatible and this would have prompted them in turn to rework matters without separating in theory what was unity in Nature, physicists tried to imagine a new layer of objects. Quantum electrodynamics (QED) and Relativistic quantum mechanics were born. The new creatures required to leave aside a new level of reason. Actually, unless mathematics was converted in a new conventional tool representing conventional manipulation rules of symbols uprooting consistency from mathematics, the task was impossible [52]. Feynman [32] and Dirac [44, pp.184-185,], the initiators of QED, yielded to evidence. Yet, the mass-men harvesting in the paradigm could not follow. As expected by OyG, later generations of technoscience would get in deep trouble. Instrumentalism required to make of mathematics an instrument devoid of meaning and logical consistence, a mere set of prescribed manipulation rules.

Not only was OyG correct in this matter, Nisbet [53] observes the fall of the academic dogma. *Knowledge is good in itself* was left behind, knowledge was encouraged only as an instrument of socio-economic development. Laboratories adapting to the new policy flourished while those bound to the academic dogma followed an extinction process. In later years, after the collapse of the Soviet Union, the same social operation was applied in countries so different as France, Brazil and Argentina (just to mention a few) under the command of the World Bank [37].

It appears to us that OyG was right on target. However, he did not address how the mass-men become irrational. Let us provide some insight into this matter.

⁹History of the NSF, consulted 2025-12-12.

¹⁰History of particle accelerators, consulted 2025-12-12.

¹¹Stanford Linear Acceleration Center, consulted 2025-12-12.

4 Programming the human machine

Let us examine the educational process that results in new scientists. In the first place, it recruits students with different inclinations. A majority of them, as informal studies reveal, do not have a sharply defined scientific interest. Those that have a hard time deciding between biology, chemistry, physics and mathematics abound. The same students consider philosophy among their interests as well. Not to mention computer sciences and their myriad of specialisations. Whatever their inclinations, none of them appear to be enticed by “trial and error”, the ancient method of technology and according to Popper (and others) the essence of science¹².

During the first stage of instruction, already at the University, they learn about ideas in science, grounding this process in their previous beliefs. The example of physics, that we know best, implies that space and time are used in terms of the intuitions carried along by the students. No attempt is made to produce a critical revision of these ideas, the relational character of them, the consequences of our basic views or the subjectivity of a non relational space and time. Actually, time is portrayed as a spatial coordinate, a definite image provided by plots. The difficult process that entails the relation between what is observed and the mathematical symbols (or whatever is the representation adopted) is left as “an exercise” to the student that will distillate it in academic (i.e., extremely singular) contexts by imitation and repetition. No time is spent to elaborate on this transcendental step which is also left in an opaque zone outside consciousness. Observations and experimentation are largely absent (because of Mach’s economy of thought). Thus physics, to a great extent, develops in terms of imagined experiments. Students must incorporate the received lesson, show their acquaintance with the given ideas and show that they can use them in a training environment. The fixation of beliefs proceeds, in practice, by the method of authority discussed by Peirce [55, CP 5.358], clearly inferior to the method of science. The authority of professors and books force students to drop their doubts accepting paradoxes like Schrodinger’s cat or the various paradoxes of Relativity. Take for example the concept of the light quanta, the photon. The idea was introduced by Einstein [24] to explain the photoelectric effect and became later an inspiration for quantum mechanics. The concept is introduced at the undergraduate level in the physics curricula and most if not all physicists consider they understand it. However, Albert Einstein wrote to his friend Michele Besso on December 12th. 1951:

¹²The instrumentalist dogma in Popper reads: Reason works by trial and error. We invent our myths and our theories and we try them out: we try to see how far they take us. And we improve our theories if we can. The better theory is the one that has the greater explanatory power: that explains more; that explains with greater precision; and that allows us to make better predictions. [58, p. 259]

Instrumentalism in the Natural Sciences and its Consequences

A total of fifty years of conscious speculation have not brought me any closer to answering the question “What are light quanta?” It is true that nowadays any rascal thinks he knows the answer, but he is mistaken.[29, Letter 177, p. 398]

The photon raises doubts for his creator some 45 years after its invention, yet those that have been taught about it entertain no doubts. Actually, the photon is a result of the instrumentalist approach. It is a mental instrument that helps to predict relations that are later corroborated. The problem is that there is no need to introduce the photon in order to match observations, at least for the photoelectric and Compton effects. The results follow from electromagnetism when carefully used. [63, Section 5.D., p. 198]

Once graduated, students are incorporated to the culture of science in the little cell where they are expected to produce their initial work. The process called “enculturation” [59] is described as “acquisition of conceptual blind spots and epistemological prejudices”. These blind spots and prejudices allow our students to avoid conflict with the guild that monitors their field of study, i.e., the authority is transferred from books and professors to the guild, but the method of fixation of beliefs (or cessation of doubt) continues to be what is enforced by the authority. The *majority of age* of the student, in the terms used by Kant [42], never arrives. Those that attempt to follow their own ideas will see their social progress relented. Those that consider to challenge the beliefs of the paradigm soon understand that their academic life could reach a rapid end if such inclination is followed. Even those that after a successful career dare to challenge the basic beliefs of the guild will run into a social confrontation that menaces their professional or academic life. Such are the stories told by Dingle [18, 19], Essen [30, 31], Woit [71], Smolin [61] and Phipps [57, 56], testimonies of the few that survived the social attacks when they challenged the beliefs of the physicist’s community. Even Schrödinger [60] underwent such social problems.

These social circumstances display how the repression of independent and (true) critical thinking works without the need of killing nowadays “Giordano Bruno(s)” and how only the exercise of instrumental reason is permitted.

Several warnings that apply to these processes come to our mind.

Protection, therefore, against the tyranny of the magistrate is not enough: there needs protection also against the tyranny of the prevailing opinion and feeling; against the tendency of society to impose, by other means than civil penalties, its own ideas and practices as rules of conduct on those who dissent from them; to fetter the development, and, if possible, prevent the formation, of any individuality not in harmony with its ways, and compel all characters to fashion themselves upon the model of its own. [51, pp. 10–11]

The students that successfully adapt to the process of formation as scientists actually do not perceive the limits put by society on them. This is achieved by allowing freedom to be exercised between the socially determined limits that mass-men know well it is nonsense to trespass. In this way, repression is exercised only over the small, statistically insignificant, populations of people with “extreme ideas”, ideas not approved by the collective authority that guards the interest of the scientific elite.¹³

W. von Humboldt had his saying as well:

The man who frequently submits the conduct of his actions to foreign guidance and control, becomes gradually disposed to a willing sacrifice of the little spontaneity that remains to him. He fancies himself released from an anxiety which he sees transferred to other hands, and seems to himself to do enough when he looks for their leading, and follows the course to which it directs him. Thus, his notions of right and wrong, of praise and blame, become confounded. The idea of the first inspires him no longer; and the painful consciousness of the last assails him less frequently and violently, since he can more easily ascribe his shortcomings to his peculiar position, and leave them to the responsibility of those who have shaped it for him. [39]

In short, we see how instrumentalism and the “economy of thought” prevent the development of critical reason, free thinking and other forms deviant from instrumental reason. The students that approached science with a wide range of interests end up with formations into fields narrower than disciplines and with the definite impression that, for example, philosophy has no relevance for biology (or any other discipline) and that, if a second discipline is to be perused, the right thing to do is to follow the path designed for those that had never received education at the university. The system of “majors and minors” of the US does not change this perception. Instead of perceiving one science with different particular realisations determined by the collection of problems of interest, knowledge becomes extended and additive, rather than profound.

It is this view the constitutive element of the often heard statement that “One obvious consequence of this vast extension of the limits of science is, that every student is forced to choose a narrower and narrower field for his own studies, and can only keep up an imperfect acquaintance even with allied fields of research.” [35, p. 4] Certainly, the full catalogue of science cannot be covered in this form, but nothing prevents human beings to be in an internal disposition that allows them to work at the level of people trained in the corresponding discipline in a short time (relative to those required by professional training).

¹³The idea is taken from N. Chomsky [12] who applies it in a more general context.

Instrumentalism in the Natural Sciences and its Consequences

Professional training in science is thus biased towards the formation of experts, specialised in a narrow field of science shaped under the control of the guild (peers). To the extent critical reason is resigned or limited, the professional acts as a biological computer, designed within the socially accepted science of each guild. This programme favours the advance of new instruments as much as it obstacles independent thought outside this frame. The free exercise of reasoning is replaced by the “freedom” of choosing among the available options and reason is limited to its instrumental version.

Any critical view is perceived by the community of the paradigm not only as a rational debate but also as a social challenge. While we cannot establish whether the “winner” of a debate was guided in the argumentation by reason or by convenience (e.g., to preserve the social prestige enjoyed by the paradigm), we can be certain that the opponent that yields to reason is the one showing true rationality. The duality of the paradigm

The term ‘paradigm’ enters the preceding pages early, and its manner of entry is intrinsically circular. A paradigm is what the members of a scientific community share, and, conversely, a scientific community consists of men who share a paradigm. [Postscript of 1969, 45]

makes of every scientific criticism a social challenge. For the mass-men, the inner satisfaction of being utterly loyal to reason weights next to nothing in front of the social satisfaction produced by the appraisal of the community of pairs. In the ensuing conflict of interests, the common interest of the paradigm weights far more than the interest of humanity (reason).

The sort of knowledge that is favoured by the instrumentalist approach is the creation of *tools*¹⁴ adapted to fulfil a given specialised purpose. Society at large uses such devices every day (think of mobile phones). Indeed, everyday reality is shaped by such tools, so that we can hardly conceive a life without them.

Mach’s “economy of thought” is actually a process that converts knowledge in “instrumental knowledge”, knowledge that can be productively used even by those that only understand the rules of its use. In OyG words:

What happens is that, enclosed within the narrow limits of his visual held, he [the scientist] does actually succeed in discovering new facts and advancing the progress of the science which he hardly knows, and incidentally the encyclopedia of thought of which he is conscientiously ignorant. How has such a thing been possible, how is it still possible? For it is necessary to insist upon this extraordinary but undeniable fact: experimental science has progressed thanks, in great

¹⁴In [1] Konrad Lorenz describes a knowledge token of modern society as a “tool [...]. It is something that even the most idiotic person can use” (our translation).

part, to the work of men astoundingly mediocre, and even less than mediocre. That is to say, modern science, the root and symbol of our actual civilisation, finds a place for the intellectually commonplace man and allows him to work therein with success. The reason of this lies in what is at the same time the great advantage and the gravest peril of the new science, and of the civilisation directed and represented by it, namely, mechanisation. A fair amount of the things that have to be done in physics or in biology is mechanical work of the mind which can be done by anyone, or almost anyone. For the purpose of innumerable investigations it is possible to divide science into small sections, to enclose oneself in one of these, and to leave out of consideration all the rest. The solidity and exactitude of the methods allow of this temporary but quite real disarticulation of knowledge. The work is done under one of these methods as with a machine, and in order to obtain quite abundant results it is not even necessary to have rigorous notions of their meaning and foundations.[54, pp. 110–111]

The process in which instrumentalism emerges is a process of industrialisation of science. Knowledge itself becomes instrumental and massively produced. When knowledge becomes instrumental, it lends itself to be used by people that lack the capabilities to build it, that do not need to know where and why it works. Instrumental knowledge becomes a tool, and as any other tool it is ready to be used by anyone.

4.1 Validation, iterated instrumentalism and patching

Perhaps an example is appropriated here. A professional in medicine, as part of the health authority of a large city (in what follows “the official”), responsibly fears for a possible epidemic of dengue. They know that there are vectors of dengue in the city (*Aedes aegypti* to be more precise) and they decide to prepare for a possible stress on the health system in case of an epidemic outbreak. Their first task is to get an estimate of the possible size and distributions in time of cases that require hospitalisation. After some research they end up with some papers by a prestigious scientist in prestigious journals that explain how their authors believe the question can be answered. Moreover, the authors generously made the coding available for public use (upon request). With this tool at disposition the research moves into gathering the necessary local information to feed the code. This is, research now proceeds within the limits indicated by published science. Nobody told the official that *Aedes aegypti* might not be a determination precise enough in terms of the sensitivity of the code. Actually, the producer of the code

never thought about it. It is a scaring possibility that does not favour “selling the product”, hence ignored by the community of the paradigm. The same can be said about DENV (dengue virus), actually, the variability of the virus is well known but rather inconvenient for the paradigm. For example, the “extrinsic incubation time” required for a mosquito infected with DENV to become infectious is a key element in the prediction of dengue in temperate climates, the case the health official intends to predict. Our official, following our prestigious scientist, uses as estimator a number he pulls out from the literature. It is almost impossible for them to know that such number has no meaning, that the distribution of measured times is not peaked around a number but rather extremely flat and much less that it is not determined by the species but rather by the relation of the species with its habitat (which includes prevention measures taken by the authorities).

The model the official is using has been “**validated**” in other regions.¹⁵ Our doctor knows nothing about critical epistemology (it is not their field of expertise, clearly) they take the word “validation” by its “propaganda value” and think that they can trust the model. After processing the data with the model they are relieved to know that DENV epidemics are not possible in this city and no preventive measures are needed. This finding certainly explains why there are no records of such epidemics in the city.

However, the next summer a (fortunately) minor epidemic outbreak takes place. Our official revises the calculations and concludes that they have overestimated the length of the intrinsic incubation time, which was not appropriated for the exceptionally hot summer they had (about a 20% excess in time estimation). Actually, the model assumed the life span of the adult mosquitoes to be shorter than the incubation period, which was the reason why the model prevented (in silica) DENV to circulate. It does not occur to our official that the life span of the modelled mosquito was short by a factor of two or three, and that mosquitoes do not have a programmed death after n days as the model assumes; all this is hidden under the validation. If the mosquito represented in the code had been incorrect –they think– the matter would have popped out during the validation attempts. Our official is using the instrumentalist approach. However, what happened was “compensation of errors” during the testing phase. Such compensation worked for the validation data which was similar to the data used in the construction of the model, but it does not work in general. It is the same type of knowledge (uncritical experience) that made European people to believe that “all swans are white”.

¹⁵Validation is a popular process in predictive sciences. A model is constructed using some data and observations. The model is next used to “predict” results in some other situation that has been observed and the predicted kind of data has been collected. If there is a match (always a subjective thing) between the data produced by the model and the data obtained from the event, according to some metric and statistical criteria, the model is considered **validated**. A validated model is consequently trusted following the instrumentalist spirit.

This story is real. We are not providing the references to protect the identity of the official and the scientists involved. If not protected they could become scapegoats for a crime committed by our civilisation. Neither the official nor the scientist involved are fools and much less dishonest, actually we are inclined to believe they are earnestly honest and good human beings, but they are victims of a system with a faulty epistemology that they are not allowed to control and they have been impeded to achieve the necessary critical abilities, for after all, as professionals, they are confined to their hive.

How would a professional of philosophy or medicine know about this actual problem when they do not understand mathematics, statistics, computer science, mathematical modelling, general biological concepts, and the particular biology that matters to the example? How would any one confined to a hive know about the universe? By the year 400 BC, Chuang Tzu discussed the problem [Autumn floods, 13], this is not new.

Current **Iterated instrumentalism** is a process that no longer exploits science, it produces new instruments using older instruments. The instruments are used without consideration of how appropriate they are. After all, correctness is only to be determined by the results. At the end, if the results are well aligned with our interests they can be considered correct. If the results are in clear contradiction with observations, the tools have to be patched. **Patching** is a process of specialisation that produces adequate tools for special (low occurrence probability) situations. Patching saves the standard tool, it prevents refutation. A successful patching process eliminates the evidence that refutes the theory or at least, introduces hypotheses that are harder to refute. This doing preserves the capital of the paradigm. For example, if you are a scientist that with effort and sacrifice (especially of your critical reason) have acquired some shares of the General Relativity paradigm, when the paradigm confronts problems, you might be willing to accept the existence of an hypothetical entity which is hard, if not impossible, to access experimentally (call it pink matter). The new patched theory, owned by the same community, preserves the value of your shares. If the patched theory begins to be inadequate after some years, it can be further patched introducing “pink energy”, a new patch that attempts to preserve the gains in “irrefutability” made with pink matter by rendering its failures “invisible”. If the patching process succeeds in moving contradictions to a place beyond experimental reach, instrumentalism allows the community to claim that the hypothesised entities are real. The social value of their shares will then increase: the theory made new “predictions”. (Any relation of this fable with reality is not casual.)

5 Artificial intelligence (AI), the ultimate instrument

For Ortega y Gasset (see above) it was transparent that instrumental science or technoscience rests on scientific development. If science stops developing, so would technoscience soon after stop as well. Certainly, “soon” is an imprecise measure, depending on how future projects could be spawned from present knowledge. We may be prepared to admit that technological development based on electrodynamics and quantum mechanics¹⁶ proceeds today at a lower pace than that derived from biology, biochemistry and medical advances.

The raw material of technoscience are the experts, which to a large extent are “programmed” to enact the standpoint of the guild and extend it within the allowed boundaries. It is no longer a surprise that a machine designed ad-hoc for the same purpose could successfully replace the expert.

This situation constitutes a dramatic difference with the status quo discussed by Ortega y Gasset (1930) since with AI technology takes over the whole process. In AI there is no underlying science to be exploited. Instead, it deals with a technique to generate discourse by reproducing possible, and probable texts, learned by imitation (which is also an important part of the training of expert professionals). Moreover, AI systems can use external tools in a similar way as many humans do, namely without knowing how, nor why they work. AI discourse is selected by comparing tokens, which reinforces uniformity. Tokens with low occurrence in the training set are less likely to be selected to generate new discourse.

Since their methodology is geared towards token matching, ultimately based on a training set, there is no evidence that AI systems can distinguish truth from falsity (this is obvious if “truth” is incompatible with the training set, in which case there is no token to pick). On the contrary, AI systems are known to *hallucinate* (namely generate text that looks plausible but it is severed from reality, such as correctly formulated false quotes or nonexistent references). AI developers hope to improve the methodology in order to avoid this and other problems. However, thought guided by reason differs in many planes from the generation of discourse by likelihood. Human reasoning rests in observations as a first source of truth, it is aware of the fallibility of both thoughts and observations, it is in addition self-aware and it displays the double requirement of coherence and unity with both other areas of knowledge and the observations. Generated discourse relies in token matching within a (very large) training set so its control mechanism is likelihood rather than truth.

Patching IA models is relevant also here. In the end, patching operates by further specialising the tool to situations with low occurrence probability such as the already mentioned hallucinations. After enough patching we expect to “elim-

¹⁶Ortega y Gasset wrote his book around 1930, when physics had a sort of leading role in science.

inate errors” which in this case means that the errors will be so subtle that most of us will fail to recognise they are there. The mass will then claim that those that perceive errors in AI technology are actually AI haters and society will sentence them to silence.

We have seen in the course a few years how AI systems were able to create videos of false facts. Those videos were easy to recognise as fakes using our abilities constructed and selected over thousands of years of adaptation to Nature. Knowing how fake videos were recognised, new generations of the technology improved to patch the algorithms producing precisely such clues. Today fake videos cannot be distinguished from real ones by humans with their built-in knowledge and sensors. Most people apparently do not understand that to use a brain prepared to consider the real and to make inferences using incomplete sensorial information is not apt for properly considering virtual reality, which is incomplete by construction. The photograph, the film, the sound record never had any reality other than being a photograph, a film, or a sound record. Our (vulgar) inference to the best explanation (IBE)[47, 50] made the rest. Simply stated, IBE in this subject matter fails, it can no longer be trusted.

6 Final discussion

Dewey presents a view of instrumentalism (see footnote 3) where knowledge is produced in the same terms than behaviour in behaviourist theories. If we take his words at face value, we tend to increase the frequency of those actions (thoughts) that lead to satisfaction (positive reinforcement) while those thoughts that lead to undesired results become less likely to be repeated. What constitutes success for an intellectual activity, however, opens a diversity of options that depend deeply upon the subject. For a large number of people, money is an almost universal reinforcement, this is the sense in which scientists are perceived as disinterested people [6] since they do not respond to stimuli that are common place in other human activities. It is easy to identify two families of stimuli for the workers of science: as Helmholtz hints us, peer recognition is one and it constitutes an external stimulus. The other stimulus is linked to reason, it is an internal stimulus that can be described as an inner demand for coherence. It demands the unity of ourselves and the unity of the universe to be a central requirement of any knowledge and relation to the world. The task of reason is to show (or construct) this unity of the world. This demand is primary, it emerges when we decide that there is Ego and not-Ego (the environment) and the totality we call universe. We have tried to use consistently the expression experimental philosopher for those who respond to stimuli of the second kind and scientist for those responding to the first kind. The experimental philosophers need freedom if they are going to

Instrumentalism in the Natural Sciences and its Consequences

develop their reason to its highest possible level. They are like those species that almost certainly die in captivity. In contrast, the scientist can be domesticated to serve the general interest of society, their dependence on social stimuli makes it possible.

This domestication, operated during the second industrial revolution, led to the social selection of the scientist and the almost extinction of the experimental philosopher. Since reason can be regarded as a result of millennial evolution it cannot be extinguished so easily but the development to the highest levels can be impeded by restricting freedom as in domestication. The industry developed for milking the scientific cattle inhibited the development of critical reason that went into a de facto extinction, its genetics is still present and in rare cases such as that of Piaget it emerges up to recognisable levels.

In the more general sense in which instrumentalism has been used considering science an instrument to achieve other goals (usually material ones) we have tracked the idea to F. Bacon and its definite prevalence with regard to the industrial revolution. The evolution of Germany into a modern capitalist society offers a credible account on how this social transformation happened. Certainly, instrumentalism was only one of several pieces of that transformation and cannot be understood without making reference to the complete social operation.

We have argued that the restriction of science to instrumental science had several aspects of reason as collateral victims. The massive reproduction of a science conceived as an instrument and valued as such, impeded the development of critical and synthetic reason needed to preserve the unity of science and reason. Science became an extensive catalogue impossible to be learned, each science became independent of the others and all of them were proclaimed independent of reason. The philosopher, the master in reasoning as Galileo said, became obsolete.

The professional of science, the scientific, produced at the universities was confined to increasingly narrow fields making impossible the development of their capabilities to the maximum possible level compatible with their inborn possibilities. This social process generated an era of material progress while the human character declined in compensation. Reason leads to ethics (practical reason in Kant) and knowledge entails love as Humboldt explains, but ethics and love of Nature may slow the accumulation of capital and the development of economic forces. The new science supported in a mutilated reason, instrumental reason, became a perfect tool to achieve the goals of the powers that be.

Modern society is characterised by the use of tools for which we have different levels of understanding. Problems that in earlier times in history were handled through handcraft, where every step in the process was under complete control, have gradually replaced handcraft with tools having different levels of instrumentalist iteration. Society has also accepted this compartmentalisation to the extent that hardly anybody can fully understand the most sophisticated tools. The previ-

ous knowledge leading to the tool remains enclosed in it and gradually disappears from society, since we just need to know how to press a button. Even this button may be produced by a tool that does not know how it works. We become less intelligent, in the sense that we are less prepared to face the challenges of the world without tools of any level of iteration.

In the process of reproduction of instrumentalism, new instruments are constructed using old instruments. In such form, and in the absence of “*liberty stricto sensu*”¹⁷, the possibilities of doing are increased at the expense of the possibilities of knowing/understanding. Instrumental reason can then be seen as a reason that has been deprived of its liberty (*stricto sensu*). After years of education, the professional of science has internalised [46] the controls that prevent the full development of critical thinking. The problem with critical thinking is that it cannot be confined to a subject matter. Once we learn about the existence of hives that limit our thinking activity we will explore the forms that those hives take in other aspects of human life such as society and politics. Thus, the mutilation of reason into instrumental reason is an effective form of social control as well.

When science becomes of interest for society (at the beginning represented by the State) it has to be taught in the form that the State (society) indicates. As Kant writes it: “... For the government does not teach, but it commands those who, in accepting its offices have contracted to teach what it wants (whether this be true or not)... “ [43]. The scientist must rent his intellectual power to use and expand the received scientific doctrines. Once a science is mature (in Kuhn’s terms) or a paradigm is hegemonic (in Gramsci’s terms) any critical perspective is viewed as a regression. Hence, the social structure of science determines that science is always advancing, since no doubt regarding the doctrine is allowed. The scientist is dehumanised and they get close to a computing machine that lends its computing power to the tasks and forms mandated by the programmer. There is then a convergence between the advanced computing machines of our time and the professional which can be thought of as biological computers or robots. Actually, AI can be regarded as the perfect instrument (and instrumentalist). It has no consciousness and no form to tell the difference between true and false, its dial is graduated between likely and unlikely. Neither AI, nor us know why it works, it has been developed by the ancient method of technology: trial and error;

17

[Speaking of liberty] The accent would not be placed on the free decision (to do otherwise), or on the non-determination of the will (to have been able to desire (will) otherwise), but on a causal power to create something new, something not expected given the previous state of things, i. e., to produce some ontological novelty in the world. Related to our proposal regarding free will, a positive notion of freedom. [14]

leaving no room for meaning. Its evaluation is only subject to external controls, namely its success.

The arc of civilisation that goes from the second industrial revolution and reaches our times presents a monotonic decline of our humanity and an equally monotonic rise of techniques. From the highs of Science and the lows of technology it travels towards the low of science and the highs of technology. It can also be viewed as the constant decline of reason and liberty (*stricto sensu*) and the social ascent of the *idiots*, etymologically understood¹⁸ as the people centred in their own (private) interest as opposite to the common (public) interest.

References

- [1] P. Aprile. *Il nuovo elogio dell'imbecille*, Libreria Pienogiorno. Libreria Pienogiorno, 2022.
- [2] A. Assis. Weber's electrodynamics. In *Weber's Electrodynamics*, volume 66 of *FundaMental theorfes of physics*. Springer, 1994. ISBN 978-94-017-3670-1.
- [3] A. K. T. Assis. *Wilhelm Weber's Main Works on Electrodynamics Translated into English*, volume 5. Apeiron, 2024.
- [4] D. Baird, R. I. Hughes, and A. Nordmann. *Heinrich Hertz: classical physicist, modern philosopher*, volume 198. Springer Science & Business Media, 1998.
- [5] F. C. Beiser. *After Hegel*. Princeton University Press, Princeton & Oxford, 2014.
- [6] P. Bourdieu. The specificity of the scientific field and the social conditions of the progress of reason. In M. Biagioli, editor, *The Science Studies Reader*, chapter 3, pages 31–50. Routledge, New York, 1999. Translated from an original in French (1975) by Richard Nice.

¹⁸The roots of “idiot” come from Ancient Greek ἰδιώτης (*idiótēs*), from ἴδιος (*ídios*, “one’s own, pertaining to oneself, private”) ([Wiktionary](#) consulted 2025-12-21), literally “private person”. The *idiótēs* of the Ancient Greek is only concerned with their private business and does not participate in public (common) affairs. From this etymological start point the semantic derive makes “layman, person lacking professional skill”, since those participating in public affairs usually had some special skills. And the derive continues when passing from Ancient Greek to Latin, and later to Old French, next to Middle English with a current meaning of “a stupid person or someone who is behaving in a stupid way” ([Cambridge dictionary](#) consulted 2025-12-21) which is certainly not what we mean.

- [7] A. W. Burks. Peirce's theory of abduction. *Philosophy of Science*, 1:301–306, 1946.
- [8] V. Bush. Science the endless frontier. Office of Scientific Research and Development, USA, July 1945.
- [9] D. Cahan. Werner siemens and the origin of the physikalisch-technische reichsanstalt, 1872-1887. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 12 (2):253–83, 1982. URL <https://doi.org/10.2307/27757497>. JOSTOR. Accessed 8 Dec. 2025.
- [10] D. Cahan. The institutional revolution in german physics, 1865-1914. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 15(2):1–65, 1985. ISSN 00732672. URL <http://www.jstor.org/stable/27757549>.
- [11] R. Carnap. The elimination of metaphysics through logical analysis. In A. J. Ayer, editor, *Logical positivism*, chapter 3, pages 60–81. The Free Press, Glencoe, Illinois, 1959.
- [12] N. Chomsky. *The Chomsky reader*. Pantheon, New York, 1987.
- [13] Chuang Tzu. *The complete works of Chuang Tzu*. Columbia University Press, 1968. ISBN 0-231-03147-5.
- [14] M. Córdoba, J. Dupré, M. Ferro, F. Holik, P. N. Fernandez Larrosa, and M. Blaustein. What is liberty? philosophical and interdisciplinary perspectives on free will. Available from authors, 2025.
- [15] S. D'Agostino. Il pensiero scientifico di maxwell e la teoria del campo elettromagnetico nella memoria “on faraday's lines of force”. *Scientia*, 103: 291, 1968.
- [16] J. Dewey. *Essays in Experimental Logic*. University of Chicago Press, Chicago, 1916.
- [17] J. Dewey. *The later works*. Southern Illinois university press, 2008.
- [18] H. Dingle. Relativity and electromagnetism: an epistemological appraisal. *Philosophy of Science*, 27(3):233–253, 1960.
- [19] H. Dingle. *Science at the crossroads*. Martin Brian and O'Keefe, 1972.
- [20] P. A. Dirac. Discussion of the infinite distribution of electrons in the theory of the positron. In *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, volume 30, pages 150–163. Cambridge University Press, 1934.

- [21] P. A. M. Dirac. The quantum theory of the electron. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 117(778):610–624, 1928.
- [22] S. D’Agostino. The bild conception of physical theory: Helmholtz, hertz, and schrödinger. *Physics in Perspective*, 6(4):372–389, 2004.
- [23] A. Einstein. On the electrodynamics of moving bodies. *Annalen der Physik*, 17(891):50, 1905.
- [24] A. Einstein. On a heuristic point of view about the creation and conversion of light. *Annalen der Physik*, 17(6):132–148, 1905.
- [25] A. Einstein. Über den Äther. *Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft*, 105(2):85–93, 1924. URL <http://www.askingwhy.org/blog/speeches-of-einstein-and-schrodinger/concerning-the-aether-einstein/>. English translation.
- [26] A. Einstein. Physics and reality. *Journal of the Franklin Institute*, 221(3):349–382, 1936. ISSN 0016-0032. doi: [https://doi.org/10.1016/S0016-0032\(36\)91047-5](https://doi.org/10.1016/S0016-0032(36)91047-5). URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016003236910475>.
- [27] A. Einstein. Considerations concerning the fundamentals of theoretical physics. *Science*, 91(2369):487–492, 1940.
- [28] A. Einstein, B. Podolsky, and N. Rosen. Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical Review*, 47:777–780, 1935.
- [29] A. Einstein, M. Besso, M. Puigcerver, and P. Speziali. *Albert Einstein Correspondencia con Michele Besso: 1903-1955*. Colección Metatemas. Tusquets Editores, 1994.
- [30] L. Essen. *The special theory of relativity: A critical analysis*, volume 5. Clarendon Press Oxford, 1971.
- [31] L. Essen. Relativity and time signals. *Wireless world*, 84(1514):44–45, 1978.
- [32] R. P. Feynman. *QED. The Strange Theory of Light and Matter*. Princeton University, 1983.
- [33] E. Gibney. What does quantum mechanics say about reality ? *Nature*, (643):1175–1179, 2025. doi: <https://doi.org/10.1038/d41586-025-02342-y>.

- [34] M. Heikkilä. Nobody knows how ai works. *MIT Technology Review*, 2024.
- [35] H. Helmholtz. *Popular lectures on scientific subjects. (First series)*. D. Appleton and Company, 1873. Translated by Edmund Atkinson.
- [36] H. Hertz. *Electric waves*. MacMillan and Co, 1893. Translated by D E Jones with a preface by Lord Kelvin.
- [37] L. B. Holm-Nielsen. Promoting science and technology for development: The world bank’s millennium science initiative. *First International Senior Fellows meeting, The Wellcome Trust, London, UK*, April 2002. URL https://www.usp.ac.fj/worldbank2009/frame/Documents/Publications_global/Promoting_science_technology_for_dev_En02.pdf. Downloaded from the World Bank database on February 27th 2011.
- [38] M. Horkheimer. *Eclipse of Reason*. Oxford University Press, 1947.
- [39] W. v. Humboldt. *The Sphere and Duties of Government (the Limits of State Action)*. The online library of liberty, 1792 Printed 1854. URL http://files.libertyfund.org/files/589/Humboldt_0053.pdf.
- [40] J. Ingenieros. *The mediocre man (El hombre mediocre)*. June 13th 2017, 2017.
- [41] W. James. *The meaning of truth*. Project Guthenberg, 2004. URL <https://www.gutenberg.org/ebooks/5117>.
- [42] I. Kant. An answer to the question: What is enlightenment?, 1784. First appeared in the Berlinische Monatsschrift, December, 1784.
- [43] I. Kant. The conflict of the faculties (the contest of the faculties). *Der Streit der Fakultäten*. Hans Reiss, ed., Kant: Political Writings, 2d ed. (Cambridge: Cambridge University Press, 1991), 1798. URL <https://la.utexas.edu/users/hcleaver/330T/350kPEEKantConflictFacNarrow.pdf>.
- [44] H. S. Kragh. *Dirac: A Scientific Biography*. Cambridge University Press, 1990.
- [45] T. S. Kuhn. *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago press, 2012. Fourth edition.

Instrumentalism in the Natural Sciences and its Consequences

- [46] G. Lindzey and E. Aronson. *Handbook of social psychology*. New York : Random House ; Hillsdale, N.J., third edition, 1985. URL https://archive.org/details/handbookofsocial0001unse_s7n8_3ed.
- [47] P. Lipton. *Inference to the best explanation*. Routledge, (2nd edition) edition, 2004.
- [48] E. Mach. *The Science of Mechanics. A Critical and Historical Account of its Development*. The open court publishing co., Chicago and London, 1974. Translated by Thomas J McKormack.
- [49] J. C. Maxwell. Xli . address to the mathematical and physical sections of the british association (1870). In W. D. Niven, editor, *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, volume II. Dover Publications, 2003. From the British Association Report, 1870.
- [50] W. H. McAuliffe. How did abduction get confused with inference to the best explanation? *Transactions of the Charles S. Peirce Society: A Quarterly Journal in American Philosophy*, 51(3):300–319, 2015.
- [51] J. S. Mill. *On Liberty*. The floating press, 2009.
- [52] M. A. Natiello and H. G. Solari. On the removal of infinities from divergent series. *Philosophy of Mathematics Education Journal*, 29:13, 2015. ISSN 1465-2978. The published version of this manuscript has typos in some equations. A preprint without typos can be found at <https://arxiv.org/abs/1407.0346>.
- [53] R. A. Nisbet. *The Degradation of the Academic Dogma : the University in America, 1945-1970*. The John Dewey society lectureship series, London, 1971.
- [54] J. Ortega y Gasset. *The revolt of the masses*. W. W. Norton & Company (1992), 1930.
- [55] C. Peirce. In A. B. Charles Hartshorne, Paul Weiss, editor, *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. Charlottesville, Va. : IntelLex Corporation, electronic edition edition, 1994. URL <https://searchworks.stanford.edu/view/9390384>.
- [56] T. E. Phipps. Invariant physics. *Physics essays*, 27(4):591–597, 2014.
- [57] T. E. Phipps Jr. *Old Physics for New*. Apeiron, Montreal, 2006. ISBN 0-9732911-4-1.

- [58] K. Popper. *Conjectures and Refutations*. Routledge classics, 2012.
- [59] W.-M. Roth. ‘enculturation’: acquisition of conceptual blind spots and epistemological prejudices. *British Educational Research Journal*, 27:5–27, 2001.
- [60] E. Schrödinger. The present situation in quantum mechanics: A translation of schrödinger’s “cat paradox” paper. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 124:323–38, 1980.
- [61] L. Smolin and J. Harnad. The trouble with physics: the rise of string theory, the fall of a science, and what comes next. *The Mathematical Intelligencer*, 30(3):66–69, 2008.
- [62] H. G. Solari and M. A. Natiello. A constructivist view of Newton’s mechanics. *Foundations of Science*, 24:307, 2018. URL <https://doi.org/10.1007/s10699-018-9573-z>.
- [63] H. G. Solari and M. A. Natiello. *Rational empiricism. The idealist view of (elementary) physics*. Lund Open Books, Lund Sweden, 2025. ISBN 978-91-8104-600-7 (print), eISBN: 978-91-8104-601-4 (electronic). URL <https://doi.org/10.37852/oblu.330>.
- [64] B. Spinoza (Benedict de Spinoza). *On the Improvement of the Understanding (Treatise on the Emendation of the Intellect)*. The Gutenberg project, 2014. URL <https://www.gutenberg.org/files/1016/1016-h/1016-h.htm>.
- [65] A. von Humboldt. *Wilhelm von Humboldt’s gesammelte Werke*, volume I. G. Reimer, Berlin, 1841. Original in German. Letter to Georg Forster, 16 August, 1791.
- [66] W. Whewell. *The philosophy of the inductive sciences*, volume 1. JW Parker, 1840.
- [67] D. H. Will. Large language models can do jaw-dropping things. but nobody knows exactly why. *MIT Technological Review*, 2024.
- [68] M. N. Wise. On the relation of physical science to history in late nineteenth-century germany. In L. Graham, W. Lepenies, and P. Weingart, editors, *Functions and Uses of Disciplinary Histories*, pages 3–34. Springer Netherlands, Dordrecht, 1983. ISBN 978-94-009-7035-9. doi: 10.1007/978-94-009-7035-9_1. URL https://doi.org/10.1007/978-94-009-7035-9_1.

Instrumentalism in the Natural Sciences and its Consequences

- [69] L. Wittgenstein. *Philosophical Investigations*. Basil Blackwell, 1986. URL <https://drive.google.com/file/d/0Bw-duXxYihdvWVlFaUhzclY5Vmc/view>.
- [70] L. Wittgenstein. *Tractatus Logico-Philosophicus*. Gutenberg Project, 2025. URL <https://www.gutenberg.org/ebooks/5740>.
- [71] P. Woit. *Not even wrong: The failure of string theory and the continuing challenge to unify the laws of physics*. Random House, 2011.
- [72] R. Yeo. *Defining science: William Whewell, natural knowledge and public debate in early Victorian Britain*. Ideas in context. Cambridge University Press, 1993.

Connecting the Dots: Science, Philosophy, and the Great Mysteries of the Universe

Edoardo J. Bruno*

Abstract

This study examines how the great mysteries of the universe—such as what existed before the Big Bang, the concept of infinity, and the possible existence of a first or ultimate cause of the cosmos—can be answered in a specific way. Despite their importance, these topics have received limited attention within the academic community. The study highlights the complexity of the ongoing debate surrounding issues such as the beginning and end of the universe and the origin of life, which has led to numerous hypotheses in recent decades. The study reveals that these mysteries may be unraveled using tools such as artificial intelligence, contact with extraterrestrial civilizations, and the in-depth study of cosmological mathematics and information. These findings demonstrate that science and philosophy can answer questions about the cosmos that humanity has pondered for centuries.

Keywords: Universe; Life; Infinity; Technology; Philosophy of Science.¹

* Catholic University of Milan, Italy; edoardo.bruno@gmail.com.

¹ Received on July 3, 2025. Accepted on December 31, 2025. Published on December 31, 2025.

doi: 10.23756/sp.v13i2.1697. ISSN 2282-7757; eISSN 2282-7765. ©Edoardo Jacopo Bruno. This paper is published under the CC-BY licence agreement.

1. Introduction

The mysteries of the cosmos are highly debated in academia, primarily the following questions, which remain unanswered: What is the origin and the end of the universe? (Adams and Laughlin, 2000; Del Popolo, 2021; Hawking, 2002) Why does something exist rather than nothing? (Brenner, 2022; Carroll, 2021; Goldschmidt, 2014) Is the cosmos infinite or finite? (Barrow, 2005; Heller and Woodin, 2011; Rucker, 1984).

Hawking and Mlodinow (2010, p. 5) argued that historically, such questions were primarily examined through philosophy, which has since lost relevance over the past century; the idea of science and philosophy together analyzing the physical processes of the universe was rejected and today, science alone dominates the quest to unravel cosmic mysteries (Hawking and Mlodinow, 2010).

Gödel's (1990) incompleteness theorems may be linked to questions regarding the possibility of discovering the mysteries of the cosmos. He argued that certain mathematical truths may never be discovered because they lie beyond human comprehension, demonstrating that mathematics cannot establish its own consistency. Penrose (2004, pp. 17–23) has used Gödel's theories to assert that since mathematics cannot analyze everything in science, certain physical processes related to the cosmos will remain undiscoverable. Consequently, science will always have limitations in comprehensively unveiling cosmic mysteries.

In contrast to these ideas, the present study argues that while science drives humanity toward discovering the universe's enigmas, philosophy is fundamental to gaining a deeper understanding of the cosmos. The following sections discuss the mysteries of the universe that emerged after the Big Bang, highlighting the debates and hypotheses surrounding physical laws, universal constants, the origin of life, the theory of everything, and extraterrestrial life.

Furthermore, this study explores questions about the origin and ultimate fate of the universe, emphasizing the complexities that continue to hinder the formulation of valid answers. Additionally, it examines whether concepts such as infinity and the first and ultimate causes can be applied to recent theories—such as the existence of the multiverse, the cyclic universe, the universe-from-nothing, and the holographic universe—as well as the ultimate fate of the universe. Finally, the study addresses whether all questions concerning the universe can ever be answered. This study highlights a possibility rarely explored in academia—that future human civilization might uncover cosmic mysteries.

2. Great Mysteries of the Universe: The Big Bang, Physical Laws, Universal Constants, and the Theory of Everything

The Big Bang represents the first great mystery of the universe. The fact that a universe with a precise and ordered space-time suitable for sustaining life emerged from a tiny primordial energy core continues to provoke lively academic debates. Scientifically, one might expect a void- or energy-dominated universe to emerge from the primordial energy core. Instead, our cosmos comprises various elements—ordinary matter, dark matter, and dark energy—that form the foundation of life.

The Big Bang theory raises the first fundamental question posed by Leibniz (1898) centuries ago: “Why is there something rather than nothing?” To date, no definitive answer has been obtained. The only certainty is that since the Big Bang, a sequence of components emerged, prompting new questions concerning, for example, the existence of physical laws² within the cosmos. Over the centuries, Isaac Newton, Albert Einstein, and Max Planck formulated fundamental laws such as gravity, relativity, and quantum mechanics.

A distinctive characteristic of physical laws is their precision and order. If the physical laws had been even slightly different, life would have been impossible; the cosmos would have collapsed billions of years ago, exploded immediately after the Big Bang, or be dominated solely by energy. Einstein argued that presence of the laws of nature in the cosmos should not be undervalued (Solovine and Einstein, 1987, p. 118), and that chaos or disorder was far more likely to have prevailed in the universe, necessitating human intervention to impose order on it. He stated that the physical laws are so perfect and precise that they were not meant to emerge in the cosmos.

Einstein reasoned that the universe is endowed with natural laws compatible with the possibility of life developing on a planet, leading scientists to question the existence of such laws. Furthermore, one wonders why these particular laws (that allowed the development of life), rather than other laws, exist. Closely related to the question of natural laws is “the theory of everything,”³ which unifies all known physical phenomena. Throughout the history of science, new physical theories have emerged based on Newton’s gravity in modern quantum models. The problem lies in whether this sequence of laws has an endpoint, and whether, at some stage, a theory of everything capable of

² Physicist Feynman (1965) addressed the nature of physical laws.

³ Weinberg (1993), Barrow (1991), and Close (2017) addressed the possibility of (not) discovering a theory of everything that unifies all the physical processes of the universe into a single structure.

Connecting the Dots: Science, Philosophy, and the Great Mysteries of the Universe

unifying all physical laws will emerge. The main obstacle is the apparent incompatibility between relativity and quantum mechanics. Relativity focuses solely on gravity to describe the universe on a considerably large scale corresponding to the observable universe. Conversely, quantum mechanics focuses on three non-gravitational forces (electromagnetism, strong nuclear force, and weak nuclear force) to explain phenomena that occur at extremely small scales, down to millionths of a centimeter.

Gödel's (1990) argument that any mathematical model is inherently incomplete further makes the development of a theory of everything challenging. Consequently, uniting all known phenomena within a single framework is unattainable because any proposed theory of everything would necessarily be a mathematical model.

Several theories of everything have emerged in recent decades, including string theory (Kaku, 1999), loop quantum gravity (Bojowald, 2010), causal fermion systems (Finster, 2006), causal set theory (Surya, 2019), causal dynamical triangulation (Ambjorn et al., 2010), and ER=EPR (Maldacena and Susskind, 2013).

These theories are classified as quantum-gravity theories because they attempt to reconcile two seemingly irreconcilable frameworks explaining our universe: relativity and quantum mechanics. Hawking (2016, p. 201) outlines three possibilities for the theory of everything: (1) such a theory exists, and humanity will eventually discover it; (2) it does not exist because there are an infinite number of theories; (3) it does not exist because events occur in a fundamentally causal manner.

Another issue related to the laws of nature is the universal constants.⁴ Similar to physical laws, if the constants of nature were slightly different from those we observe, life on Earth might never have emerged. According to a British astronomer, the cosmos revolves around six fundamental constants: the ratio between the strength of the electric forces that hold atoms together and the gravitational force acting between them; the strength of the binding force between atomic nuclei and the process by which all atoms on Earth are formed; the amount of dark matter in the universe, including galaxies, diffuse gas, and dark matter; cosmic antigravity; the fabric of the universe; and the number of spatial dimensions. If any of these values differed slightly, the world as we know it would not exist (Rees, 1999, p. 2).

The most prominent constant, notable for its precision, is epsilon (i.e., the strength of the bond between atomic nuclei and the process by which all atoms on Earth are formed). It has a value of 0.007. A value of 0.006 or 0.008 would prevent the development of life in the universe. This reasoning applies to many other constants, including those governing the strong, weak, and electromagnetic nuclear forces, alongside the fine-structure and

⁴ Eddington (1956) and Barrow (2002) demonstrated that universal constants have been the subject of lively debate in the academic world.

cosmological constants. One possible explanation for this finely tuned universe⁵ is that the physical laws and universal constants change over time and space.

Even if this hypothesis cannot be ruled out, the question remains: why were the physical laws and universal constants necessary for life established in a particular region of the universe and not in other regions? Thus, the fine-tuning of universal constants and the existence of laws of nature conducive to life are some of the greatest mysteries of the universe.

3. From Post-Big Bang Phenomena to the Emergence of Life: A Journey Through the Evolution of the Universe

A topical issue in academia is the sequence of events following the Big Bang. Immediately after the initial explosion, the symmetry caused by the Higgs field created the conditions necessary for the formation of mass in the universe. The superforce that originated from the Big Bang was subsequently divided into four fundamental forces: gravity, electromagnetism, weak nuclear force, and strong nuclear force. Furthermore, the universe underwent a rapid expansion known as inflation, during which small quantum fluctuations resulted in the formation of galaxies, stars, and planets.

Subsequently, among the quarks and particles produced by the mass of the universe, quarks grouped into triplets to form protons and neutrons, which then combined into nuclei. These processes are essential for the creation of atoms and constitute the backbone of the universe. Hydrogen and helium, fundamental elements for the emergence of life, were formed through primordial nucleosynthesis. Although matter and antimatter were initially present in equal amounts in the early cosmos, a small imbalance caused by an unknown physical phenomenon led to the predominance of matter over antimatter. These events, which occurred within the first three minutes of the Big Bang, raise the question of a fine-tuned universe, given their essential role in the emergence of life in the cosmos (Weinberg, 1977).

As the gravitational force took control, the elements formed during the first three minutes of the Big Bang created the conditions necessary for the formation of early stars, galaxies, and numerous physical elements. The formation of early stars was particularly significant because, upon explosion, they dispersed the chemical elements essential for life on other planets and galaxies. The phases that followed the Big Bang raise important

⁵ Regarding the finely-tuned universe, see Dicke (1961), Davies (2007), and Gribbin and Rees (1989).

Connecting the Dots: Science, Philosophy, and the Great Mysteries of the Universe

questions about why they were all fine-tuned to facilitate the emergence of life in the cosmos (Singh, 2004).

Among the most fundamental concepts is the arrow of time, which explains why time appears to have a specific direction in which every physical event evolves from state X in the past to state Y in the future. Furthermore, the cosmos we inhabit comprises 4.9% ordinary matter, 26.8% dark matter, and 68.3% dark energy. However, because the nature of dark matter and dark energy remains unknown, we understand only 4.9% of the universe (Sloan, 2020).

Regarding the origin of life on Earth, statistically improbable phenomena have been observed. The disc of matter around the sun facilitated the creation of the Earth and other planets in the solar system. The Earth is in a habitable zone, positioned neither too far nor too close to the sun—a location essential for the creation of water, the fundamental ingredient that supports life. Furthermore, Earth benefits from its near-circular orbit, which allows the planet to remain in the habitable zone. If the Earth's orbit were excessively elliptical, it would remain in the habitable zone for short periods only, rendering the emergence of life impossible (Lewis and Barnes, 2016).

Several other factors ensured favorable conditions for life on Earth, such as the presence of Jupiter and the Earth's natural satellite, the Moon. Jupiter occupies a strategic position as it attracts most asteroids that would otherwise frequently collide with Earth, thereby destroying life. Similarly, the Moon stabilizes the Earth's axis of rotation, enabling a stable environment conducive to life.

The phenomena described above are fundamental for establishing the foundations of life on Earth and are represented by elements such as carbon, iron, oxygen, and nitrogen. However, what led to the origin of life on Earth approximately four billion years ago is unknown. The most significant event in this context is the primordial cell formation. Two principal theories exist regarding the origin of life: (1) terrestrial abiogenesis—life arose as a result of physical and chemical processes on Earth (Bernal, 1951; Haldane, 1929; Oparin, 1924); (2) panspermia—life originated when a comet carrying the seeds of life crashed into Earth (Wickramasinghe, 2011). However, proponents of terrestrial abiogenesis cannot explain how inanimate matter transformed into life through the primordial cell, while panspermia is constrained by the improbability of a primordial cell inside a comet surviving the radiation of space.

Darwinian evolution emerged following the emergence of life on Earth. The central premise of Darwin's (1859) theory is natural selection, which asserts that individuals that best adapt to their environment survive, whereas others do not. Evolution led to the emergence of prokaryotic and eukaryotic cells, living organisms, and intelligent species.

Connecting the Dots: Science, Philosophy, and the Great Mysteries of the Universe

Nevertheless, evolution also has limitations. Evolution has been governed by a set of laws that facilitated the emergence of all species on Earth over millions of years. These Darwinian laws, akin to physical laws, require an explanation for their existence in the universe, as they appear to promote biological diversity and, ultimately, the development of intelligence capable of comprehending the cosmos' mechanisms.

Another longstanding issue related to evolution concerns consciousness⁶—the difficulty in understanding why humans possess an awareness that enables them to reason, feel, and comprehend the reality around them. Furthermore, this consciousness belongs to all beings who have lived, are living, and will live on Earth.

Hameroff and Penrose's (2014) Orchestrated Objective Reduction (Orch-OR) theory suggests that consciousness arises from quantum processes. However, this hypothesis cannot explain the presence of quantum laws in the cosmos, which are not inherently destined to exist in our universe, yet may have enabled the emergence of consciousness.

Therefore, the existence of consciousness remains an unresolved enigma.

To address the mystery of life on Earth, scientists have proposed the anthropic principle (Barrow and Tipler, 1986; Carter, 1974), which asserts that the universe must exhibit conditions required for conscious life to emerge and observe its properties. In other words, we exist and can observe the universe because its conditions are suitable for life.

However, the anthropic principle does not explain the cause or reasons for these specific characteristics in the universe or why the universe is structured in a way that permits the existence of life. Consequently, it is often viewed as a superficial observation rather than a significant contribution to our understanding of cosmology and the physical laws governing the universe.

Another question arises: did the processes that occurred on Earth happen in other parts of the cosmos? Physicist Enrico Fermi's paradox, "If the universe and our galaxy are teeming with advanced civilisations, where are they?" has been extensively studied in recent decades. Webb (2015, pp. XIII–XV) highlighted the intense debate around extraterrestrial life and proposed 75 scientifically plausible solutions to the Fermi paradox, highlighting three principal options: "they are or have been here"; "they exist, but we have yet to see or hear from them"; and "they do not exist."

We do not yet understand the extent to which life on Earth can be replicated elsewhere, nor whether the development of primordial cells, prokaryotic cells, eukaryotic

⁶ Topics related to consciousness are extensively discussed among scientists and philosophers (Schneider and Velmans, 2017; Seth, 2021; Dennett, 1992; Penrose, 1989; 1994; Searle, 1997; Chalmers, 1995).

Connecting the Dots: Science, Philosophy, and the Great Mysteries of the Universe

cells, living species, or intelligent species is a frequent, rare, or unique event that occurred only on Earth.

Another challenge concerning extraterrestrial life is the uncertainty regarding the number of galaxies in the universe. Current estimates suggest billions or even trillions. This distinction is crucial in resolving the Fermi paradox: If there are “only” billions of galaxies, the notions that we are alone in the universe and Earth is the only planet on which life has emerged are conceivable. Conversely, if there are trillions of galaxies, the existence of life and intelligence in the cosmos would be inevitable given the colossal number of potentially habitable planets.

Regarding the nature of life, most biologists and chemists argue that only carbon can give rise to life. Sagan (1973, p. 47) strongly criticized this notion, coining the term “carbon chauvinism” to describe this assumption. However, this hypothesis cannot be ruled out because we are unfamiliar with the biochemistry of planets that might harbor life. In billions or trillions of galaxies, silicon-based life may exist as an alternative. Furthermore, if there are other universes with physical laws different from ours, life forms could arise from currently unknown elements.

4. Hypotheses on the Origin and Ultimate Fate of the Universe: Beyond the Big Bang

The origin of the universe is a great scientific mystery.⁷ Until the early twentieth century, the universe was believed to be eternal. However, the discovery of relativity and the expansion of the universe overturned this concept. Jesuit physicist Lemaître (1931) was the first to theorize that as we trace time backwards, the universe becomes increasingly smaller until it is reduced to a minuscule primordial atom, and that the implosion of this primordial atom (later known as the Big Bang) led to the formation of the cosmos and all its elements.

The Big Bang theory was confirmed in 1964 with the discovery of cosmic background radiation and reconfirmed in 1992 through measurements taken by the Cosmic Background Explorer (COBE) satellite. The realization that the cosmos originated 13.7 billion years ago has fundamentally altered the perspectives of physics and cosmology. When the universe was assumed to be eternal, questioning its origin seemed unnecessary. However, the recognition of a cosmic beginning raised fundamental

⁷ Vaas (2011) is a comprehensive source for understanding issues related to phenomena before the Big Bang.

Connecting the Dots: Science, Philosophy, and the Great Mysteries of the Universe

questions: What existed before this beginning? What caused the Big Bang? How did the implosion of the primordial energy core give rise to a universe capable of sustaining life?

Four principal hypotheses attempt to explain the origins of the universe: the multiverse, the cyclic universe, the universe-from-nothing, and the holographic universe. The multiverse theory posits the existence of multiple universes beyond the cosmos. In recent decades, various multiverse models have been developed, including the many-worlds interpretation (Everett, 1957), eternal inflation (Guth, 2007), black hole cosmology (Good, 1972), and cosmological natural selection (Smolin, 1997).

Tegmark (2014) identified four levels of the multiverse: ergodic universe, eternal inflation, many-worlds interpretation, and universes with different physical laws. Greene (2011) proposes nine categories of the multiverse: quilted, inflationary, brane, cyclic, landscape, quantum, holographic, simulated, and ultimate. Mersini-Houghton (2011) divides the multiverse into three categories of universes based on different physical laws, universal constants, and spatial dimensions.

Contrary to multiverse theories, cyclic universe models have recently gained renewed interest, particularly because of a lack of empirical evidence for inflation, which is fundamental to multiverse models.

Five main theories related to the oscillating universe are considered plausible: the quasi-steady-state universe (Hoyle et al., 1993), the Big Bounce (Ashtekar et al., 2006), the ekpyrotic universe (Steinhardt and Turok, 2007), the Baum-Frampton model (Baum and Frampton, 2008), and conformal cyclic cosmology (Penrose, 2010). The first four models suggest that each cycle of the universe may exhibit different physical laws and constants. By contrast, Penrose's conformal cyclic cosmology postulates that each cosmic cycle is governed by the same physical laws and universal constants.

The potential existence of a multiverse or cyclic universe raises scientific and philosophical questions. These two models can explain why a universe with physical laws and constants is suitable for life. Given the "lottery" of possible universes that could have emerged, the creation of a cosmos such as ours would be inevitable. However, even if this hypothesis cannot be ruled out, the question remains why at least one universe with life-sustaining physical laws came into being, given that any cosmos that emerged within the multiverse or cyclic universe could have lacked natural laws.

If the set of universal constants that could arise from the multiverse or cyclic universe were finite rather than infinite, why did these constants develop within a finite range rather than extending to infinity?

A more philosophical question regarding the multiverse and the cyclic universe concerns the existence of both possible and impossible worlds. Lewis (1986) and Nozick (1981), using modal realism and the principle of fecundity, argued that all possible

Connecting the Dots: Science, Philosophy, and the Great Mysteries of the Universe

universes are as real as our own. Conversely, Kripke (1965) and Berto and Jago (2019) explored impossible worlds such as the existence of round squares. As the multiverse and the cyclic universe are posited as possible theories, questioning whether possible and impossible worlds exist within them is reasonable. Greene's (2011) extreme multiverse theory, asserting that all possible universes exist, renders plausible the idea that every scientifically feasible event occurs somewhere in the multiverse. Hence, there could be universes in which Hitler won the Second World War, Trump was not elected the president of the United States in 2016, and Mussolini never existed. Any universe with a greater-than-zero probability of existence is part of Greene's extreme multiverse theory.

In Tegmark's (2014) level four multiverse, impossible worlds, such as round squares, finite numbers, or the Greek pi being equal to 10 could become possible, owing to the potential existence of different physical laws. Moreover, possible and impossible worlds are real within cyclic universe models involving the same or different physical laws. Therefore, everything is possible in a multiverse and cyclic universe because the set of physical laws makes all types of universes viable.

Conversely, proponents of the universe-from-nothing and the holographic universe models support a single universe possibility. The universe-from-nothing hypothesis suggests that before the Big Bang, the cosmos underwent a quantum transition in a quantum vacuum, leading to its emergence. Major models include the Hartle-Hawking state (Hartle and Hawking, 1983), the emergent universe (Ellis and Maartens, 2003), the Big Bang from quantum foam theory (Tryon, 1973), and quantum potential cosmology (Ali and Das, 2015).

However, holographic universe theory (Hertog, 2023) posits that the cosmos emerged from nothing through the implosion of the primordial energy core, and that physical laws subsequently evolved according to Darwinian logic.

Nevertheless, asserting that the cosmos emerged from nothing—when, in fact, a quantum fluctuation before the Big Bang triggered the birth of the primordial energy core—may be conceptually flawed. A quantum fluctuation does not represent nothingness but is a real phenomenon that theoretically predated the Big Bang. The holographic universe model addresses the same issues as the universe-from-nothing hypothesis. Even if the cosmos did not emerge from quantum processes preceding the Big Bang, it originated from the implosion of the primordial energy core, which was not nothingness.

Defining various universe-from-nothing models as vacuum universes or cosmoses arising from a primordial energy core would be more appropriate because, as Parmenides argued, “Nothing comes from nothing” (Empiricus, 1933).

Connecting the Dots: Science, Philosophy, and the Great Mysteries of the Universe

Three main theories exist regarding the universe's ultimate fate⁸: the Big Freeze, the Big Crunch, and the Big Rip. The Big Freeze theory (Thomson, 1852) posits that the universe will continue to expand indefinitely, rendering the cosmos a dark, cold place where life will perish. The Big Crunch theory (Friedman, 1922) posits that the universe will eventually stop expanding, and will begin to contract back into the primordial energy core that caused the Big Bang. The Big Rip theory (Caldwell et al., 2003) suggests that if dark energy exceeds a certain threshold, the universe will be torn apart, and all matter destroyed.

There are other cosmological hypotheses. The Big Decay theory (Leslie, 1996) proposes that the vacuum state we inhabit is not stable but metastable, and the cosmos will consequently be “burned alive” at some point; the Big Hit theory (Starobinsky, 2000) suggests that our universe will undergo a space-time singularity that will precipitate its destruction; and the Big Brunch theory (Kiefer and Zeh, 1995) argues that the arrow of time will reverse while the universe is in its contraction phase, causing its destruction before gravitational singularity is reached.

Mars et al. (2008) suggest that time is slowing and will eventually stop; consequently, everything will appear frozen in an eternal freeze frame.

Several hypotheses exist regarding life at the end of the universe.

The first suggests that despite humanity's future technological capabilities or those of potential alien species, various theories regarding the ultimate fate of the universe preclude the survival of any form of life. In this scenario, humans, extraterrestrials, animals, and unknown life forms may be overpowered by the physical processes governing the end of the cosmos, leading to the ultimate extinction of all species.

The second hypothesis posits that billions of years from now, the technological capabilities of our civilization or those of alien civilizations will be advanced enough to afford continuous survival. Through technological advancements, civilization could manipulate space-time and physical laws or even create new laws of nature to prevent the destruction of the cosmos by obtaining the necessary energy and components to perpetuate life and intelligence. Additionally, wormholes⁹ in black holes could be exploited, or even created through technological advances, to relocate our civilization and all living beings to a different place in the universe or another universe (if there are other Hubble volumes or universes) to escape the death of the cosmos. Finally, if time travel¹⁰ were possible, each civilization could construct a time machine to return to the past

⁸ Davies (1994) and Mack (2020) precisely and clearly address the end of the universe.

⁹ Einstein and Rosen (1935) theorized the possible scientific existence of wormholes.

¹⁰ Davies (2002) states that time travel to the past and the future is possible.

repeatedly, preventing the occurrence of processes that cause cosmic destruction or implosion.

5. The First and Ultimate Causes and the Infinite: Philosophical and Scientific Considerations

One of the greatest mysteries of the cosmos is whether the universe has finite or infinite dimensions. The observable universe has a radius of forty-six billion light-years and a diameter of ninety-three billion light-years. The cosmos is larger than the observable universe; however, as a whole, it can be infinite.

To understand this enigma, determining the extent to which the cosmos expands during cosmic inflation, assuming that it is finite, is crucial. However, it is possible that the universe expanded infinitely into space during the implosion of the primordial energy core. The multiverse and the cyclic universe require further investigation.

Greene's extreme multiverse (2011) and Tegmark's level four multiverse (2014) suggest that an infinite number of possible histories exist. The multiverse could have infinite physical laws, space-time dimensions, theories of everything, and universal constants, as well as infinite types of abiogenesis, species evolution, extraterrestrial civilizations, and countless hypotheses regarding the eternity, origin, and end of the universe, each generating an infinite number of events.

Moreover, infinite copies of ourselves in the multiverse would generate infinite histories, as each of our clones could think of a different number throughout their lives, thus developing an unlimited number of events. This reasoning can be applied to the infinite possible and impossible worlds in Greene's extreme or Tegmark's level four multiverse. However, the concept of infinity is limited if the number of possible and impossible histories in a multiverse is finite. If the number of physical laws or events that can occur is large but not limitless, as Tegmark and Greene argued, then infinity would partially fall short.

Thus, if cosmic inflation is eternal, a finite number of possible histories will occur an infinite number of times in an infinite multiverse. One infinity can be greater than another. For example, a frequently occurring event, such as the Brazilian soccer team winning the World Cup, inevitably appears more often than the Faroe Islands soccer team winning the World Cup. However, both histories would occur an infinite number of times in the extreme multiverse; yet, the infinity associated with Brazil would manifest more frequently and with greater density than that associated with the Faroe Islands.

Connecting the Dots: Science, Philosophy, and the Great Mysteries of the Universe

Following this reasoning, while both the multiverse and the cyclic universe would generate infinite possible histories, the multiverse would produce greater infinity than the serially arranged universes of the cyclic universe by creating continuous universes.

In terms of time, models of the multiverse and the cyclic universe can generate infinite regressions and replications. Every possible or impossible event would have occurred or will occur infinitely.

Frampton (2007), Aguirre and Gratton (2002), and Carroll and Chen's (2004) models predict that the cyclic universe and inflation have an eternal past. Furthermore, infinite regression can be applied to all models that postulate a quantum vacuum before the Big Bang. According to de Lavoisier's (1789) principle—"Nothing is created, nothing is destroyed, everything is transformed"—, the quantum energy that existed before the Big Bang was created by something unknown, continuing *ad infinitum* into the past.

The infinite replication in the multiverse and cyclic universe theories enables the existence of Nietzsche's (1896) philosophical concept of eternal return, which posits that the same events repeat an infinite number of times. Contrary to infinity, the possibility remains that the universe, the multiverse, and the cyclic universe could have a first cause and an ultimate cause. For instance, our universe had a definite beginning 13.7 billion years ago. If the theory of the holographic universe is correct, then the gravitational singularity of the primordial energy core would be the primary cause of the cosmos. The same reasoning applies to the multiverse, cyclic universe, and vacuum universe. Borde et al.'s model (2003) proposes that inflation has not been eternal. Mithani and Vilenkin (2012) later revised this theorem, arguing that the multiverse, cyclic, and emergent universes can have an origin. Consequently, these universes may have a first cause, which could be represented by gravitational singularity. Furthermore, the ultimate cause is scientifically plausible and applicable to various models concerning the ultimate fate of the universe, particularly if humanity or alien species fail to survive. For instance, the Big Crunch predicts that the universe will contract to the gravitational singularity from which the Big Bang originated. Thus, this singularity could represent the ultimate cause of the cosmos. Mars et al.'s (2008) model predicts that time will eventually halt. The universe will stop in an eternal freeze frame that could represent its ultimate cause. Conversely, the Big Freeze suggests that in billions of years, the universe will become a dark and desolate place from which life will disappear. However, this dark universe may not always consist of nothingness. Quantum energy is the only entity that could persist even after an infinite number of years, because no physical process could destroy it. Therefore, this energy could be the ultimate source of our cosmos. The ultimate cause of the multiverse and the cyclic universe is complex. Physicists posit that the physical processes linked to the multiverse and cyclic universe could generate an infinite number of

universes in the future. However, the processes leading to the formation of the multiverse or cyclic universe, such as inflation or the Big Bounce, might lose their ability to continue forming such universes in the long term, causing the multiverse and cyclic universe to cease to exist. Consequently, the ultimate cause, represented by the quantum energy present in each universe at the end of its existence, is a plausible possibility.

6. Towards Understanding: Means and Methods for Unveiling Cosmic Mysteries

Humankind will possibly eventually uncover all the mysteries discussed earlier. Therefore, to understand the enigmas of the cosmos, it is essential to study the information present in the universe and on Earth. Seife (2007), Wheeler (1990), and Lloyd (2006) suggest that the cosmos is merely a collection of information that determines the laws of physics, initial parameters, and differential equations. Even the mechanisms governing life in the universe and the evolution of species are reduced to information. By studying these informational patterns, humanity may be able to answer any question and solve every mystery related to the cosmos.

Moreover, mathematics could help decipher the equations that govern the cosmos, identify a theory of everything, and determine whether our universe is unique or infinite, whether other universes exist, whether our universe is cyclic, and what its ultimate fate.

Technological advancements can help us understand our place in the universe. Kurzweil (2005) argues that human technological development is progressing exponentially and will eventually accelerate beyond our ability to comprehend and predict. From this perspective, the development of super-intelligent robots and computers facilitated by artificial intelligence (Luger and Stubblefield, 2004; Rich et al., 2010; Russell and Norvig, 2021) could be crucial in deciphering the fundamental mechanisms of the cosmos and life on Earth. This latter aspect could be further explored through technology, for instance, by implanting microchips in the human brain capable of performing billions of operations simultaneously, or transforming individuals into super-intelligent cyborgs (Clark, 2004; Gray, 1995; Mann and Niedzwiecki, 2001) capable of unlocking cosmic mysteries.

The discovery of mysteries related to the cosmos could happen through contact with extraterrestrial civilizations. SETI continues to play a vital role in the search for intelligent life in the universe (Montebugnoli et al., 2022). Future technological advancements will enable SETI to build powerful satellites and space probes capable of detecting the number of galaxies in the observable universe, discover alien life, and potentially establish contact with it.

Connecting the Dots: Science, Philosophy, and the Great Mysteries of the Universe

Vinge (1993) argues that extraterrestrial civilizations could reach technological singularity, while Smart (2012) emphasizes that in the future, aliens might transcend the fabric of spacetime. Based on Vinge and Smart's theories, if alien civilizations exist, once contact is made, humans could ask them for information about the results of the Big Bang or the multiverse. Presumed to be significantly more advanced than humans, they could potentially explain some of the universe's greatest mysteries.

Agnosticism (the legitimate suspension of judgement) should be applied to the origin and fate of the universe, the origin and evolution of life, life at the end of the universe, the concept of infinity, the first cause, the ultimate cause, and the fine-tuning of the universe. Presently, we do not know whether multiple universes exist or what caused the Big Bang. However, these questions could be answered in the future through the technological and mathematical capabilities of humans. Agnosticism concerning great scientific and philosophical questions is not definitive, but temporary.

7. Conclusion

Unlike Hawking and Mlodinow's (2010) argument that only science can solve the great mysteries of the universe, this article highlights that numerous cosmic enigmas remain unresolved—spanning both scientific and philosophical domains. Understanding why a primordial energy core imploded 13.7 billion years ago, giving rise to a cosmos of immense, if not infinite, dimensions, and “Why is there something rather than nothing?” are the two fundamental unresolved scientific and philosophical concerns.

This article highlighted that each phase or process in the history of the universe raises questions and generates hypotheses that are yet to be confirmed or refuted. Despite significant scientific advancements over the past century, including the discoveries of relativity, quantum mechanics, and the Big Bang, we do not understand why the laws of physics, universal constants, and the Big Bang favored the emergence of life. Whether a single theory can unify all physical phenomena into one equation also remains ambiguous.

Furthermore, the origin of life and consciousness and the potential existence of extraterrestrial life have given rise to several scientifically plausible, unconfirmed hypotheses. Furthermore, Darwinian evolution raises questions about why evolutionary laws permit the emergence of countless species, including those endowed with consciousness.

More complex questions have arisen concerning the origin and ultimate fate of the universe. Science has produced proliferative hypotheses, suggesting that something

Connecting the Dots: Science, Philosophy, and the Great Mysteries of the Universe

existed before the Big Bang or that new physical processes will occur at the end of the cosmos; however, no definitive evidence supports these claims. The existence of parallel, cyclic, or quantum-vacuum universes has introduced new questions regarding infinity, the first cause, and the ultimate cause. Concepts such as infinite possible histories, infinite regression, and infinite replication are plausible, particularly if one of the multiverse, cyclic, or vacuum universe theories is correct.

Whether a singular cosmos or a multiverse, cyclic, or vacuum universe exists, the potential existence of a first and ultimate cause, enabled by mathematical and physical laws, remains ambiguous.

This study is limited in that the topics discussed here remain unresolved due to technological constraints and an incomplete understanding of the cosmos. However, unlike Penrose's (2005) thesis, which argues that humans cannot discover every mystery of the cosmos because not everything can be revealed through mathematics, this study emphasizes that tools that can uncover the secrets of the universe exist.

Solving any cosmic enigma requires mathematics, technology, and, if possible, contact with extraterrestrial civilizations. Future research could explore interdisciplinary approaches—combining advances in physics, cosmology, technology, and philosophy—to the issues under study.

Consequently, this study advocates the application of temporary agnosticism to the philosophical and scientific mysteries of the universe, given humanity's potential to unveil every aspect of its nature.

This study paves the way for a future in which the mysteries of the universe could be unveiled using artificial intelligence, encounters with extraterrestrial civilizations, and an in-depth exploration of cosmological mathematics and information. Furthermore, it encourages researchers to pursue the unknown with boldness and creativity, echoing Einstein and Infeld's (1938, p. 83) assertion, "To pose new questions, new possibilities, and to consider old problems from a new angle requires creative imagination and marks a real progress in science."

References

- A. Aguirre, S. Gratton. Steady-state eternal inflation. *Physical Review D*, 65(8), 083507. 2002.
- A. Ashtekar, T. Pawłowski, P. Singh. Quantum nature of the Big Bang. *Physical Review Letters*, 96(14), 141301. 2006.
- A. Borde, A.H. Guth, A. Vilenkin. Inflationary spacetimes are incomplete in past directions. *Physical Review Letters*, 90(15), 151301. 2003.
- A. Brenner. Explaining why there is something rather than nothing. *Erkenntnis*, 87(4), 1831–1847. 2022.
- A. Clark. *Natural-born cyborgs*. Oxford University Press, Oxford. 2004.
- A. Del Popolo. *The invisible universe: Dark matter, dark energy, and the origin and end of the universe*. World Scientific Publishing, Singapore. 2021.
- A. Einstein, I. Infeld. *The evolution of physics*. New York: Simon and Schuster. 1938.
- A. Einstein, N. Rosen. The particle problem in the general theory of relativity. *Physical Review*, 48(1), 73–77. 1935.
- A.L. de Lavoisier. *Traité Élémentaire de Chimie, présenté dans un ordre nouveau, et d'après des découvertes modernes*. Cuchet Libraire, Paris. 1789.
- A. Mithani, A. Vilenkin. Did the universe have a beginning? (Preprint), *arXiv*, 1204, 4658. 2012.
- A. Seth. *Being you: A new science of consciousness*. Penguin Random House, London. 2021.
- A. Starobinsky. Future and origin of our universe: Modern view. In V. Burdzyuzha, G. Khozin (Eds.), *The future of the universe and the future of our civilization*, (pp. 71–84). World Scientific Publishing, Singapore. 2000.
- A.F. Ali, S. Das. Cosmology from quantum potential. *Physics Letters B*, 741, 276–279. 2015.
- A. Friedman. Über die Krümmung des Raumes. *Zeitschrift für Physik*, 10(1), 377–386. 1922.
- A.H. Guth. Eternal inflation and its implications. *Journal of Physics A*, 40(25), 6811–6826. 2007.

Connecting the Dots: Science, Philosophy, and the Great Mysteries of the Universe

- A.I. Oparin. *Proiskhozhdenie zhizni*. Izd. Moskovskii Rabochii, Moscow. 1924.
- A.S. Eddington. The constants of nature. In J.R. Newman (Ed.), *The world of mathematics*, (vol. 2, pp. 1074–1093. Dover Publications, New York. 1956.
- B. Carter. Large number coincidences and the anthropic principle in cosmology. In *IAU Symposium 63: Confrontation of cosmological theories with observational data*, (vol. 63, pp. 291–298). Reidel, Dordrecht. 1974.
- B. Greene. *The hidden reality: Parallel universes and the deep laws of the cosmos*. Vintage Books, New York. 2011.
- C. Darwin. *On the origin of species*. John Murray, London. 1859.
- C. Kiefer, H.D. Zeh. Arrow of time in a recollapsing quantum universe. *Physical Review D, Particles and Fields*, 51(8), 4145–4153. 1995.
- C. Sagan. *The cosmic connection*. Anchor Books, New York. 1973.
- C. Seife. *Decoding the universe: How the new science of information is explaining everything in the cosmos, from our brains to black holes*. Penguin Random House, New York. 2007.
- C. Wickramasinghe. Bacterial morphologies supporting cometary panspermia: A reappraisal. *International Journal of Astrobiology*, 10(1), 25–30. 2011.
- C.H. Gray. *The cyborg handbook*. Routledge, New York. 1995.
- D. Chalmers. Facing up to the problem of consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, 2(3), 200–219. 1995.
- D. Dennett. *Consciousness explained*. Back Bay Books, New York. 1992.
- D. Lewis. *On the plurality of worlds*. Basil Blackwell, Oxford. 1986.
- D. Sloan. (Ed.). *Fine-tuning in the physical universe*. Cambridge University Press, Cambridge. 2020.
- E.K. Rich, K. Knight, B.N. Shivashankar. *Artificial intelligence*. McGraw-Hill India, New Delhi. 2010.
- E.P. Tryon. Is the universe a vacuum fluctuation? *Nature*, 246(5433), 396–397. 1973.
- F. Berto, M. Jago. *Impossible worlds*. Oxford University Press, Oxford. 2019.
- F. Close. *Theories of everything: Ideas in profile*. Profile Books Book Company, London. 2017.

Connecting the Dots: Science, Philosophy, and the Great Mysteries of the Universe

- F. Finster. The principle of the fermionic projector. AMS/IP Studies in Advanced Mathematics. Providence: American Mathematical Society, 35. 2006.
- F. Hoyle, G.R. Burbidge, J.V. Narlikar. A quasi-steady state cosmological model with creation of matter. *The Astrophysical Journal*, 410(2), 437–457. 1993.
- F. Nietzsche. *The works of Friedrich Nietzsche. Vol. VIII: Thus spoke Zarathustra*. Translated by A. Tille. MacMillan Company, London. 1896.
- F.C. Adams, G. Laughlin. *The five ages of the universe: Inside the physics of eternity*. Simon and Schuster, New York. 2000.
- G. Lemaître. The beginning of the world from the point of view of quantum theory. *Nature*, 127(3210), 706. 1931.
- G.F. Lewis, L.A. Barnes, B. Schmidt. *A fortunate universe: Life in a finely tuned cosmos*. Cambridge University Press, Cambridge. 2016.
- G.F. Luger, W.A. Stubblefield. *Artificial intelligence: Structures and strategies for complex problem solving*. Benjamin/Cummings, San Francisco. 2004.
- G.F.R. Ellis, R. Maartens. The emergent universe: Inflationary cosmology with no singularity. *Classical and Quantum Gravity*, 21(1), 223–232. 2003.
- G.W. Leibniz. Principles of nature and grace. In G.W. Leibniz, *The monadology and other philosophical writings*, translated by R. Latta, (pp. 405–424). Oxford University Press, London. 1898.
- H. Everett. ‘Relative State’ formulation of quantum mechanics. *Reviews of Modern Physics*, 29(3), 454–462. 1957.
- I.J. Good. Chinese universes. *Physics Today*, 25(7), 15. 1972.
- J. Ambjorn, A. Goerlich, J. Jurkiewicz, R. Loll. CDT: An entropic theory of quantum gravity. *arXiv*. 2010. <https://arxiv.org/abs/1007.2560>.
- J. Barrow. *Theories of everything: The quest for ultimate explanation*. Oxford University Press, New York. 1991.
- J. Gribbin, M. Rees. *Cosmic coincidences: Dark matter, mankind, and anthropic cosmology*. Bantam Books, New York. 1989.
- J. Leslie. *The end of the world: The science and the ethics of human extinction*. Routledge, London. 1996.

Connecting the Dots: Science, Philosophy, and the Great Mysteries of the Universe

- J. Maldacena, L. Susskind. Cool horizons for entangled black holes. *Fortschritte der Physik*, 61(9), 781–811. 2013.
- J.A. Wheeler. Information, physics, quantum: The search for links. In W.H. Zurek (Ed.), *Complexity, entropy, and the physics of information*, (pp. 354–368). Addison-Wesley, Redwood City. 1990.
- J.B. Hartle, S.W. Hawking. Wave function of the universe. *Physical Review D*, 28(12), 2960–2975. 1983.
- J.D. Barrow, F.J. Tipler. *The anthropic cosmological principle* (1st ed.). Oxford University Press, New York. 1986.
- J.D. Barrow. *The constants of nature: From alpha to omega—The numbers that encode the deepest secrets of the universe*. Pantheon Books, New York. 2002.
- J.D. Barrow. *The infinite book: A short guide to the boundless, timeless and endless*. Pantheon Books, New York. 2005.
- J.D. Bernal. *The physical basis of life*. Routledge and Kegan Paul, London. 1951.
- J.M. Smart. The transcension hypothesis: Sufficiently advanced civilizations invariably leave our universe, and implications for METI and SETI. *Acta Astronautica*, 78, 55–68. 2012.
- J.R. Searle. *The mystery of consciousness*. Granta Books, London. 1997.
- J.B.S. Haldane. The origin of life. *Rationalist Annual*, 148, 3–10, 1929.
- K. Gödel. Collected works. In S. Feferman (Ed.), *Publications 1938–1974*, Vol. 2. Oxford University Press, New York. 1990.
- K. Mack. *The end of everything: (Astrophysically speaking)*. Scribner, New York. 2020.
- L. Baum, P.H. Frampton. Entropy of contracting universe in cyclic cosmology. *Modern Physics Letters A*, 23(1), 33–36. 2008.
- L. Mersini-Houghton. Birth of the universe from the multiverse. In *The Thirteenth Marcel Grossmann Meeting*, (pp. 1619–1621). World Scientific Publishing, Teaneck. 2014.
- L. Smolin. *The life of the cosmos*. Oxford University Press, Oxford. 1997.
- M. Bojowald. *Once before time: A whole story of the universe*. Knopf Publishing Group, New York. 2010.
- M. Heller, W.H. Woodin. *Infinity: New research frontiers*. Cambridge University Press, Cambridge. 2011.

Connecting the Dots: Science, Philosophy, and the Great Mysteries of the Universe

- M. Kaku. *Strings, conformal fields, and M-theory*. Springer, New York. 1999.
- M. Mars, J.M.M. Senovilla, R. Vera. Accelerating expansion and change of signature. *EAS Publications Series*, 30, 307–310. 2008.
- M. Rees. *Just six numbers: The deep forces that shape the universe*. Basic Books, London. 1999.
- M. Solovine, A. Einstein. *Letters to Solovine*. Philosophical Library, New York. 1987.
- M. Tegmark. *Our mathematical universe: My quest for the ultimate nature of reality*. Vintage Books, New York. 2014.
- P. Davies. *The last three minutes: Conjecture about the ultimate fate of the universe*. Basic Books, New York. 1994.
- P. Davies. *How to build a time machine*. Penguin Books, Westminster. 2002.
- P. Davies. *Cosmic jackpot: Why our universe is just right for life*. Houghton Mifflin Harcourt, Boston. 2007.
- P.H. Frampton. Cyclic universe and infinite past. *Modern Physics Letters A*, 22(34), 2587–2592. 2007.
- P.J. Steinhardt, N. Turok. *Endless universe: Beyond the Big Bang*. Doubleday Publishing, New York. 2007.
- R. Feynman. *The character of physical law*. Modern Library, New York. 1965.
- R. Kurzweil. *The singularity is near: When humans transcend biology*. Viking Press, New York. 2005.
- R. Nozick. *Philosophical implications*. Harvard University Press, Cambridge. 1981.
- R. Penrose. The emperor's new mind: Concerning computers, minds, and the laws of physics. Oxford University Press, Oxford. 1989.
- R. Penrose. *The road to reality: A complete guide to the laws of the universe*. Jonathan Cape, London. 2004.
- R. Penrose. *Shadows of the mind: A search for the missing science of consciousness*. Oxford University Press, Oxford. 1994.
- R. Penrose. *Cycles of time: An extraordinary new view of the universe*. The Bodley Head, London. 2010.
- R. Rucker. *Infinity and the mind: The science and philosophy of the infinite*. Paladin, London. 1984.

Connecting the Dots: Science, Philosophy, and the Great Mysteries of the Universe

- R. Vaas. *Beyond the Big Bang: Competing scenarios for an eternal universe*. Springer, Berlin. 2011.
- R.H. Dicke. Dirac's cosmology and Mach's principle. *Nature*, 192(4801), 440–441. 1961.
- R.R. Caldwell, M. Kamionkowski, N.N. Weinberg. Phantom energy: Dark energy with $w < -1$ causes a cosmic doomsday. *Physical Review Letters*, 91(7), 071301. 2003.
- S. Empiricus. Against the logicians. In R. Bett (Ed.), *Sextus Empiricus in four volumes*, (vol. 2). Harvard University Press. 1933.
- S. Hameroff, R. Penrose. Consciousness in the universe: A review of the 'Orch OR' theory. *Physics of Life Reviews*, 11(1), 39–78. 2014.
- S. Hawking. *The theory of everything: The origin and fate of the universe*. New Millennium Press, London. 2002.
- S. Hawking, L. Mlodinow. *The grand design*. Bantam Press, London. 2010.
- S. Hawking. *A brief history of time: From the Big Bang to black holes*. Bantam Books. 2016.
- S. Lloyd. *Programming the universe: A quantum computer scientist takes on the cosmos*. Knopf, New York. 2006.
- S. Mann, H. Niedzwiecki. *Cyborg: Digital destiny and human possibility in the age of the wearable computer*. Doubleday Canada, Toronto. 2001.
- S. Montebugnoli, A. Melis, N. Antonietti. The search for extraterrestrial intelligence. In *Proceedings of the 2nd SETI-NAF meeting 2019*. Springer, New York. 2022.
- S. Schneider, M. Velmans. *The Blackwell companion to consciousness*. Wiley-Blackwell. 2017.
- S. Singh. *Big Bang: The origin of the universe*. Fourth Estate, New York. 2004.
- S. Webb. *If the universe is teeming with aliens ... where is everybody?: Seventy-five solutions to the Fermi paradox and the problem of extraterrestrial life*. Springer, New York. 2015.
- S. Weinberg. *The first three minutes: A modern view of the origin of the universe*. Basic Books, New York. 1977.
- S. Weinberg. *Dreams of a final theory: The search for the fundamental laws of nature*. Hutchinson Radius, London. 1993.

Connecting the Dots: Science, Philosophy, and the Great Mysteries of the Universe

- S. Surya. The causal set approach to quantum gravity. *Living Reviews in Relativity*, 22(1), 1–75. 2019.
- S.A. Kripke. Semantical analysis of modal logic II: Non-normal modal propositional calculi. In John West Addison, Leon Henkin, and Alfred Tarski, (Eds), *The theory of models. Proceedings of the 1963 international symposium at Berkeley* (pp. 691–706). North-Holland, Amsterdam. 1965.
- S.J. Russell, P. Norvig. *Artificial intelligence: A modern approach*. Pearson, Hoboken, 2021.
- S.M. Carroll. Why is there something, rather than nothing? In Eleanor Knox and Alastair Wilson (Eds), *The Routledge Companion to Philosophy of Physics* (pp. 691–706). Routledge, London. 2021.
- S.M. Carroll, J. Chen. (2004) Spontaneous inflation and the origin of the arrow of time. *arXiv*. 2010. <https://doi.org/10.48550/arXiv.hep-th/0410270>
- T. Goldschmidt (ed.). *The puzzle of existence: Why is there something rather than nothing?* Routledge, New York. 2014.
- T. Hertog. *On the origin of time*. Bantam Press, London. 2023.
- V. Vinge. The coming technological singularity: How to survive in the post-human era. *Whole Earth Review*. 1993.
- W. Thomson. On a universal tendency in nature to the dissipation of mechanical energy. *Mathematical and Physical Papers*, 1, 511–514. 1852.

The Digital Cage.

A Sociological Analysis of Algorithmic Bureaucracy as a Total System

Umberto Pagano*

Abstract

This paper conducts a critical sociological analysis of digital bureaucracy, interrogating the dominant narrative that posits it as an efficient and democratic solution to the problems of traditional bureaucracy. Through a synthesis of classical theory (Weber, Foucault) and contemporary critique (Deleuze, Benasayag, Han, Eubanks), this paper argues that the “digital cage” tends to embody a form of power that is often more totalizing and potentially more insidious than the Weberian “iron cage”, especially in its current applications. The analysis unfolds along three interconnected lines of inquiry: 1) the eclipse of the human mediator and the consequent elimination of discretionary power and negotiation; 2) the transition from a disciplinary-panoptic model of control to a pervasive system of modular control, embedded within the very code of digital platforms; 3) the illusion of universal access, which masks the creation of new and deeper forms of social inequality and exclusion. The paper concludes that the digital cage, by combining the total visibility of the subject with the total opacity of the power mechanism, and by requiring the user’s active complicity, achieves a more sophisticated and resilient form of control, with profound implications for the future of citizenship and democracy.

Keywords: Sociology, Algorithmic Governance, Modular Control, Digital Divide, Dehumanization¹.

* University “*Magna Græcia*” of Catanzaro, Italy; umberto.pagano@unicz.it

¹ Received on July 7, 2025. Accepted on December 20, 2025. Published on December 31, 2025. doi: 10.23756/sp.v13i2.1702. ISSN 2282-7757; eISSN 2282-7765. ©Umberto Pagano. This paper is published under the CC-BY licence agreement.

1. Introduction

The message is as simple as it is insurmountable: “*Error: Data not compliant. Please try again*”. No explanation, no contact, no way out. This digital dead-end, experienced by millions, is the microcosm of a far broader phenomenon. It is a symptom of the transition from human to algorithmic bureaucracy, a shift that for years has been presented as the paradigmatic solution to the historical inefficiencies of traditional bureaucracy.

In both political and managerial discourse, the explicit objective was a radical “de-bureaucratization” founded on faster processes, universal 24/7 access to services, and a newfound transparency in the relationship between the state and its citizens. This optimistic narrative viewed technology as the instrument to finally dismantle the cumbersome Weberian “iron cage”, freeing the individual from the long waits and opaque procedures of the paper-based world. This techno-optimistic vision was underpinned by a powerful threefold promise. Economically, it heralded unprecedented efficiency, promising to cut administrative costs by automating tasks previously performed by human officials. Politically, it promoted a new model of citizen empowerment, where individuals could directly manage their relationship with the state, free from the traditional gatekeepers of bureaucracy. Ethically, it claimed to offer a realm of pure objectivity, where algorithmic processing would eliminate human error, personal bias, and the potential for corruption, thus ensuring truly equal treatment for all. This narrative of a frictionless, transparent, and impartial public sphere crystallized into the new paradigm of “*Digital Era Governance*” (DEG), which superseded the previous model of “*New Public Management*” (NPM) and became the dominant ideology driving digitalization policies worldwide².

However, as this transition has consolidated, a sociologically relevant paradox is emerging with increasing clarity. Far from achieving liberation, the architecture of digital bureaucracy appears to have generated a new and more insidious form of constraint, where human inefficiency is replaced by the inexorability of the system. It is

² “*New Public Management*” (NPM) refers to the wave of public sector reforms, dominant in the 1980s and 1990s, aimed at making government more “business-like”. Its core tenets were disaggregation (breaking up large departments into smaller, single-purpose agencies), introducing competition (through outsourcing and internal markets), and incentivization (using performance targets and managerial autonomy). “*Digital Era Governance*” (DEG), as theorized by Dunleavy *et al.* (2006), represents a subsequent paradigm shift driven by digital technology. DEG moves in the opposite direction on key metrics, promoting the re-integration of services, a needs-based holism that puts the citizen at the centre, and end-to-end digitalization. While NPM used IT to support its goals, DEG sees IT as the fundamental driver of structural change.

The Digital Cage. A Sociological Analysis of Algorithmic Bureaucracy as a Total System

within this context that the thesis of this paper is situated. This paper argues that digital bureaucracy, far from overcoming the limits of the Weberian model, represents, in many of its current configurations, a totalizing and qualitatively more problematic intensification. We contend that its algorithmic nature, by eliminating any space for human mediation, renders it ontologically inhuman; that its interconnected architecture transforms it into a panoptic system of control (Foucault, 1975); and that its apparent simplicity masks new and deeper forms of inequality (Eubanks, 2018). In short, the “iron cage” has not been demolished but upgraded into a “total digital cage”, one that is more efficient in its control and more impermeable to negotiation.

Beyond the existing scholarship on platform governance and datafication, the specific contribution of this paper lies in integrating three usually separate analytical strands — the erosion of human mediation, the emergence of modular control, and the stratifying effects of digital infrastructures — into a unified sociological framework capable of explaining the totalizing nature of contemporary algorithmic bureaucracy.

To develop this thesis, the article is structured as follows. First, it will analyse the three detrimental dimensions of this digital evolution: the annulment of human discretion, following the scholarship on digital street-level bureaucracy; the total and panoptic nature of algorithmic control; and the emergence of new forms of socio-technical exclusion. Finally, the conclusion will discuss the social implications of this transformation and advance the need for a critical rethinking of digitalization policies.

2. The Eclipse of the Human Mediator: Discretion and Power in the Algorithmic Era

The shift to an algorithmically governed organization marks a fundamental rupture with the classical model, whose linchpin, however problematic, was always the human being. In classical sociology, the figure of the “street-level bureaucrat” (Lipsky, 1980) – the front-desk clerk or the case-processing official – represented the ultimate interface between the rigidity of state regulation and the complexity of individual lives. This “human gear” in the organizational machine, though bound by procedures, possessed an irreducible space of discretionary power: the capacity to interpret a rule, to assess an exception, to adapt procedure to an unforeseen case. It is precisely this space of human mediation, however minimal, that is being systematically dismantled by digital architecture. The digital platform, the chatbot, or the interactive voice response system are not simply tools in the hands of a new type of clerk; they *are* the clerk (Bovens and

Zouridis, 2002). The interaction of the client or citizen is no longer with an operator who *uses* a system, but directly *with the system itself*. Consequently, the logic of administration is reduced to a crude binary operation: the data provided by the user either conforms to the predefined fields of the software (1) or it does not (0). In this way, the ideal of “impersonality”, which for Weber (1922) was a guarantee against passionate arbitration, is taken to its extreme and inverted into a form of blind inexorability. It is purged of that last residue of cognitive flexibility and contextual understanding that the human interpreter, with all their limitations, still guaranteed. This process has direct consequences on the individual’s perception of power. When faced with a system error or a personal situation not contemplated by the interface, there is no longer a counterpart to appeal to, nor a space for negotiation. The “computer says no”, whether manifested on a public portal or in the frustrating loop of an automated call center, is not a figure of speech but the literal description of an interaction without appeal. This generates a profound sense of powerlessness and alienation, especially among the most vulnerable populations (Eubanks, 2018). If the Weberian “iron cage” was a structure of impersonal norms applied by humans, the digital cage presents itself as a structure of self-executing code that extends from the state to the market, eliminating the figure of the mediator and, with it, any possibility of dialogue with the machines of power. This substitution of the human mediator with a digital interface is not, however, a simple change of actors, but one that imposes a profound anthropological torsion. As Miguel Benasayag has lucidly analysed, the digital world is not a neutral extension of the real world, but a self-contained environment governed by a disembodied, purely calculative, and binary logic that is fundamentally alien to the complexity, ambiguity, and “messiness” of the living (Benasayag and Schmit, 2016). To interact with the bureaucratic machine, the individual is forced to abandon their own language and organic logic to adopt those of the machine. We are pushed into a form of forced hybridization, where our thinking is moulded to the system’s needs: we must simplify our requests, translate our complex histories into discrete data points, and anticipate the software’s errors. In this process, man does not “augment” his brain but rather “diminishes” it, atrophying the capacities for judgment, empathy, and contextual understanding that the machine neither possesses nor requires. The frustration and alienation previously described are therefore not merely the result of a malfunctioning service, but the “sad passions” that inevitably emerge from the clash between the irreducible richness of human experience and the structural poverty of a power that only knows how to calculate.

3. Beyond the Panopticon: From Discipline to Modular Control

A recurrent limitation in the analysis of digital surveillance is the tendency to interpret it as a mere technological intensification of the Foucaultian Panopticon. While the metaphor of asymmetrical visibility remains a useful entry point, it is deeply rooted in a disciplinary paradigm that proves increasingly inadequate for capturing the dynamics of algorithmic control. Foucault's model, a product of the industrial age, was founded on the efficacy of enclosed and circumscribed spaces: the prison, the barracks, the factory, the school. Each of these institutions aimed to "mould" the individual, to impose a standardized cast in order to produce a predictable subject and a docile body, functional to its social role. Surveillance, in this context, was the means to verify conformity to the mould and to correct deviations. The digital cage, however, no longer operates through the logic of enclosure and a fixed mould. Its efficacy lies, on the contrary, in its open, reticular, and fluid nature, which renders the model of enclosed space inadequate to describe its power. To grasp this qualitative rupture, it is far more heuristic to turn to Gilles Deleuze's prophetic *"Postscript on the Societies of Control"* (1990). Writing before the mass diffusion of the Internet, Deleuze anticipated with extraordinary lucidity that disciplinary societies would be supplanted by a new regime, that of control, which no longer operates through finite moulds but through continuous modulations. Unlike discipline, which presupposes a beginning and an end (the worker clocks in and out, the patient is discharged), control is perpetual and boundless. The individual is no longer a body to be moulded, but a *"dividual"*, a collection of data, passwords, and profiles whose identity is constantly broken down and reassembled by the system. A single person, for example, is fractured into a series of parallel data-selves that rarely communicate: the consumer profile on an e-commerce site, the professional history on a career network, and the social persona on an app, each one a distinct *"dividual"* to be modulated. Modulation, as Deleuze writes, is an incessant process.

Les enfermements sont des moules, des moulages distincts, mais les contrôles sont une modulation, comme un moulage auto-déformant qui changerait continûment, d'un instant à l'autre, ou comme un tamis dont les mailles changeraient d'un point à un autre³ (Deleuze, 1990, p. 240).

³ English translation (1992, p. 4): «Enclosures are moulds, distinct castings, but controls are a modulation, like a self-deforming cast that will continuously change from one moment to the other, or like a sieve whose mesh will transmute from point to point».

While disciplinary societies relied on fixed molds (*moules*) to shape subjects through enclosed institutions, control societies operate through flexible, adaptive *modulations*. Modulation refers to a continuous, self-adjusting form of power that adapts in real time to behaviour, context, and profile. It is not a matter of fitting individuals into predefined categories, but of constantly reshaping the categories themselves to follow and influence the subject's actions. This condition has been described as a new form of imprisonment, «no longer characterized by physical constraint ("captivity"), but by the impossibility of stopping. Not the iron bars of the solid world, but the fluid prison of an incessant flow, in which subjects are immersed "with the obedience of blood in its blind circuit" »⁴. Power, therefore, no longer encloses us, but follows us everywhere, modulating our access to the world. The logic of perpetual debt (both economic and in data) replaces the prison sentence, continuous distance learning replaces the classroom, and instantaneous, constant evaluation (the rating, the review) replaces the final exam. But what is the concrete mechanism that operates this continuous modulation? The answer lies in the infrastructure itself, in the code that governs it. As Lawrence Lessig (1999) masterfully argued, in the digital environment, "Code is Law". The software architecture of a platform is a form of normativity far more powerful and binding than state law. Laws can be ignored or violated; rules inscribed in code, however, are self-executing and inescapable. The architecture of a social network that rewards polarizing content with greater visibility, the design of an e-commerce app that creates a sense of artificial urgency, or the interface of a public portal that makes one procedure complex and another simple – these are not neutral design choices. They are acts of regulation that structure the field of possible actions, incentivizing certain behaviours while making others impossible. In this sense, control precedes surveillance: it does not merely observe our choices, but designs the environment to make certain choices almost inevitable. This new form of power inevitably produces a new subjectivity. The neoliberal *psychopolitics*, as defined by Byung-Chul Han (2014), does not oppress us but seduces us with an appearance of freedom. We are encouraged to become "entrepreneurs of the self", optimizing our profiles and managing our reputations within a logic of performance. The subject of control is not a passive victim but a participating user who enters into a dynamic of voluntary self-exploitation, ceding data in exchange for convenience, connection, and gratification. Surveillance is disguised as service, and transparency becomes an

⁴ «The deprivation of freedom no longer lies, as it did in the solid world, in the limitation of movement (in "captivity"), but in the impossibility of stopping. No longer the metal of the bars but the fluid prison of the incessant flow in which we are immersed "with the obedience of blood in its blind circuit"». The final words are a quote from Cortázar (1972).

The Digital Cage. A Sociological Analysis of Algorithmic Bureaucracy as a Total System

imperative to which we spontaneously adhere. This is not simple self-discipline, but a continuous self-modulation to remain “compatible” with a system that flatters our narcissism while extracting value from our affects. As Deleuze foresaw, code becomes the new measure of identity.

On ne se trouve plus devant le couple masse-individu. Les individus sont devenus des «dividus», et les masses sont devenues des échantillons, des données, des marchés ou des «banques». [...] Le langage numérique du contrôle est fait de chiffres, qui marquent l'accès à l'information, ou le refus (Deleuze, 1990, p. 245)⁵.

Within this framework, an immense hypocrisy emerges, perfectly embodied by the European hyper-bureaucracy on privacy. Conceived with the intent of protecting the individual from surveillance, regulations like the GDPR have, in practice, translated into a regulatory technology that reinforces the very logic of control it purports to fight. The core issue is that the regulatory focus on formalistic compliance has eclipsed any substantive commitment to ethical design. Instead of fostering a culture of privacy, it has generated a sophisticated “compliance industry” whose goal is to secure legal legitimacy for data extraction. The critique of this system can be articulated on three interconnected levels, which reveal its nature as a performative hyper-bureaucracy. The first level is cognitive and behavioural. The model is founded on an unrealistic premise: that the individual can and will engage in a continuous process of rational decision-making about their data. Academic research has thoroughly demolished this fiction. Seminal studies have demonstrated the existence of the “privacy paradox” and an inevitable “consent fatigue”. Overwhelmed by an uninterrupted flow of requests, the user is unable to evaluate them individually and resorts to heuristics and mental shortcuts, ignoring the details and opting for the path of least cognitive resistance, which almost always coincides with generalized consent (Acquisti, Brandimarte, and Loewenstein, 2015). The system, therefore, does not promote informed choices but exploits the limits of human rationality to extort a consent that is formally valid but substantively empty. The second level is architectural and manipulative. The user’s cognitive weakness is deliberately exploited through interface design, a field of study that has highlighted the systematic use of “dark patterns”. These are design schemes crafted not to clarify but to deceive, confuse, or nudge the user toward choices that run counter to their own interests but favour the platform’s business model (Mathur *et al.*, 2019). The ‘*Accept All*’ option is made chromatically inviting and immediately

⁵ English translation (1992, p. 5): «We no longer find ourselves dealing with the mass/individual pair. Individuals have become “dividuals”, and masses, samples, data, markets, or *banks*. [...] The numerical language of control is made of codes, that mark access to information, or reject it».

accessible, while the possibility of denying or granularly managing consent is hidden behind complex menus, ambiguous texts, and obstacle-ridden paths. This is not a neutral design choice but a deliberate exploitation of the platform's architectural power: the interface becomes a tool of soft coercion, shaping the environment so that consent becomes the default, almost obligatory, outcome. The third and final level is legal and structural. The GDPR's normative model, despite its good intentions, is based on a paradigm of "privacy self-management" that is structurally flawed (Solove, 2013). This flaw is systematically amplified by a stark asymmetry of resources: tech giants deploy legions of designers and lawyers to engineer formally compliant yet manipulative interfaces, while regulatory bodies often lack the capacity to effectively challenge these practices. Within this framework, the European regulatory architecture – particularly in the domain of digital rights – reveals a deep and pervasive structural ambivalence. While instruments such as the GDPR or the Digital Services Act are ostensibly designed to protect individual autonomy and limit excessive datafication, they often fail to confront the material logic of the platforms themselves. In practice, these regimes tend to formalize consent rather than guarantee real choice, to certify compliance rather than ensure justice, and to create a dense bureaucratic shield that legitimizes practices of surveillance, profiling, and behavioural nudging. The result is a bureaucratic simulacrum of protection, in which legal protocols provide a veneer of democratic control while consolidating the very asymmetries of power they claim to redress. The architecture of regulation becomes not a site of resistance, but a sophisticated apparatus of ratification, where subjugation is rendered lawful, frictionless, and invisible⁶. As Yeung (2018) has argued, algorithmic regulation does not merely apply existing rules but generates new ones: through feedback loops, dynamic thresholds, and automated nudging, these systems actively shape behaviour, shifting the normative centre from law to computation. This dynamic has been observed in systems like the SPID-based Italian welfare platforms, where access to basic services is conditioned by the user's ability to navigate complex digital interfaces without human assistance, or in the infamous

⁶ On the performative nature of privacy and digital regulation, see Solove (2013), who critiques the paradigm of "privacy self-management"; Nouwens *et al.* (2020) on the strategic use of dark patterns; and Cobbe (2020), who argues that European algorithmic regulation often serves to formalize legitimacy rather than limit harm. On the broader notion of legal-bureaucratic ratification, see Veale and Edwards (2018), who document how GDPR-compliant practices can obscure rather than prevent discriminatory algorithmic profiling.

The Digital Cage. A Sociological Analysis of Algorithmic Bureaucracy as a Total System

Allegheny County predictive risk model in the U.S., which automates child welfare decisions based on opaque algorithmic scoring (Eubanks, 2018)⁷.

4. The Illusion of Universal Access: The Digital Divide as an Exclusionary Apparatus

The narrative accompanying the implementation of digital bureaucracy is founded on a technocratic utopia: the promise of universal, instantaneous, and equal access to services, capable of transcending geographical and social barriers. In this vision, digitalization would act as a great levelling force, a panacea for the inefficiencies and disparities of the old paper-based world. A rigorous sociological analysis, however, reveals that this rhetoric of democratization masks a very different reality. Far from eliminating social fractures, the digital cage creates new ones and deepens existing ones, operating through an exclusionary apparatus that is all the more effective for being invisible. The heuristic of the “digital divide”, if understood in the reductionist sense of a mere disparity in internet access, proves to be entirely insufficient. The true fracture is not technological, but social and cultural. To understand it, one must turn to the conceptual apparatus of Pierre Bourdieu: digital competence is not a neutral technical skill but a form of embodied cultural capital, whose accumulation depends strictly on social origin, educational background, and family environment. The ability to navigate complex interfaces, to understand the logic of security protocols, or to independently troubleshoot a system error is a disposition (*habitus*) that is “second nature” for some subjects, while for others it represents a source of profound anxiety and alienation, an insurmountable wall that precludes their participation. This exclusionary dynamic finds its most brutal and systematic application in the automated systems aimed at the most

⁷ The case of Allegheny County, Pennsylvania, is one of the most extensively studied examples of algorithmic welfare governance. Since 2016, the local Department of Human Services has implemented a predictive risk assessment system known as the Allegheny Family Screening Tool, which assigns risk scores to families based on automated analysis of dozens of public databases – ranging from welfare usage and eviction records to healthcare, school attendance, and police reports. As Virginia Eubanks has convincingly demonstrated, this system is far from neutral: it produces systemic discrimination because low-income families, by virtue of their constant interaction with public institutions, leave behind a far denser digital trace than middle or upper-class households, who rely on private services and thus remain largely invisible to the algorithm. Social visibility becomes exposure to suspicion: individuals are flagged as “at risk” not necessarily because they pose a threat, but because they are legible to the system. The paradox is striking: those most in need of support become the primary targets of predictive surveillance, in the name of a preventive logic that often translates into anticipatory stigmatization (Eubanks, 2018, chapter 2).

vulnerable segments of the population, giving rise to what Virginia Eubanks has termed the “digital poorhouse” (Eubanks, 2018). These systems, designed to manage the distribution of welfare benefits, healthcare, or public housing, are often informed by an epistemology of suspicion, a security-oriented logic that aims more to prevent fraud than to guarantee rights. This logic translates into the imposition of disproportionate administrative burdens on applicants. Labyrinthine online procedures, the requirement to upload documents in specific and error-free formats, peremptory deadlines, and the absence of human support to turn to in case of difficulty all function as a powerful deterrent. These are not simple inefficiencies but are barriers designed, consciously or not, to test not only an applicant’s eligibility but also their tenacity, their cognitive resources, and their social capital (the ability to get help). The result is a cruel form of exclusion: people are rejected not because they are not entitled to a service, but because they do not possess the skills and resources to navigate the digital procedural labyrinth erected in its defence. In addition to actively excluding the most fragile, digital bureaucracy operates an invisible but profound restructuring of labour itself, through a massive process of offloading shadow work from the official to the citizen. In the previous model, it was the bureaucrat, a paid employee, who took on the burden of decoding the request, filling out forms, filing, and verifying data. Today, this entire bureaucratic workload is offloaded onto the end-user, who must act as an unpaid clerk for their own case. It is the individual who must now enter the data, scan and convert documents, navigate complex authentication systems, and, above all, invest an enormous cognitive and temporal cost in resolving errors and procedural frictions generated by opaque systems. This transfer of labour is not equally distributed: an hour of time for a professional with a high-speed connection and advanced skills has a different cost than for a single parent with a precarious job, an obsolete computer, and poor IT skills. The system’s supposed efficiency is thus revealed not as a genuine optimization, but as a vast cost-shifting exercise. It functions as a hidden regressive tax, where the organization achieves savings by externalizing labour costs onto its users. This uncompensated work represents a subsidy paid by the citizens’ time and mental health – a burden that falls most heavily on those least able to afford it. The combined effect of these dynamics – the cultural capital divide, the punitive exclusion of the weakest, and the offloading of bureaucratic labour – reveals the true nature of the digital cage: not a monolithic structure, but a system of differentiated and stratified citizenship. Similar dynamics have been observed in several national contexts. In Italy, access to welfare services provided by the National Social Security Institute (INPS) increasingly depends on the use of digital authentication systems such as SPID. While ostensibly aimed at enhancing security and efficiency, this model presumes a high level of digital

The Digital Cage. A Sociological Analysis of Algorithmic Bureaucracy as a Total System

competence and access to stable technological infrastructure –conditions not universally met. As a result, the system tends to privilege the digitally fluent while marginalizing those who lack adequate support, especially the elderly, migrants, and precarious workers. In the United Kingdom, the implementation of the Universal Credit program has institutionalized a digital-by-default logic, requiring claimants to manage their benefits entirely online. The consequences of this shift have been widely documented: payment delays, bureaucratic errors, and increased levels of anxiety and indebtedness, particularly among vulnerable populations. These cases illustrate how digital infrastructures, when applied to social protection systems, often produce the opposite of what they promise – intensifying rather than alleviating precarity⁸. For a privileged minority, who are technologically competent and resource-rich, it can indeed manifest as a “gilded cage” of convenience, efficiency, and personalized services. For the vast majority, it represents a space of constant friction, procedural anxiety, and incessant self-management labour. For the most marginalized segments of the population, finally, the walls of the cage are not gilded but opaque, punitive, and insurmountable, and the system acts not as a service provider but as a gatekeeper that denies access and certifies their exclusion. Far from being the great equalizer it was promised to be, digital bureaucracy is establishing itself as one of the most powerful and sophisticated engines for the reproduction and amplification of social inequality in the 21st century.

5. Conclusion: Anatomy of a Perfect Cage

The analytical path taken in this article has sought to deconstruct the optimistic and technocratic narrative of digital bureaucracy, exposing its nature as an apparatus of power that is qualitatively more pervasive and problematic than its analogue predecessor. First, it showed how the eclipse of the human mediator and the nullification of their discretion did not simply eliminate arbitrariness, but annihilated any space for negotiation, contextual understanding, and empathy, replacing it with the opaque inexorability of code. Subsequently, the analysis revealed how the paradigm of control has evolved far beyond the Foucaultian panoptic model, arriving at a society of modular control, as anticipated by Deleuze, in which power is exercised through the very design of the digital architecture. Finally, the illusion of universal access was dismantled, demonstrating how the digital cage functions as a powerful apparatus of social stratification. These three dimensions – dehumanization, modular control, and

⁸ See House of Commons Work and Pensions Committee (2017) and Patrick (2022).

social stratification – are not distinct phenomena, but the interconnected and mutually reinforcing faces of a single, coherent system of power. The digital cage is ontologically worse than the Weberian iron cage not because it is more “rigid” – on the contrary, its strength lies in its fluidity and capacity for modulation – but because it is more sophisticated, totalizing, and invisible. If Weber’s cage was a system of explicit norms applied by humans, the digital one is a system of implicit rules executed by inscrutable code. Its perfection lies in combining the total transparency of the subject, whose digital profile is analysed in depth, with the total opacity of the power mechanism that judges them. Furthermore, it imposes itself not primarily through coercion, but through the seduction of convenience, requiring our active and voluntary participation in the very process of our own subjugation, as evidenced by the performativity of consent rituals. The consequences of this new paradigm extend far beyond mere administrative efficiency, striking at the very foundations of the social contract and democracy. The rise of an *algocracy*⁹ – a government by algorithms – risks eroding the spaces for deliberation, contestation, and accountability that define a mature citizenship. The growing friction with opaque and unappealable systems fosters a sense of powerlessness and distrust in institutions, both public and private, while the normalization of surveillance and constant evaluation generates new forms of anxiety and conformism. In the face of this scenario, the questions for a future critical research agenda become urgent. Is it possible to conceive of a digitalization that does not translate into a cage? What forms of a “right to explanation” and “algorithmic contestability” can be made effective, moving from a bureaucracy of formal consent to one of substantive accountability? Can a “humane digital bureaucracy” exist, or is this an oxymoron whose pursuit only serves to mask the inexorable logic of control? Without critical reflection and conscious political action, the risk is that the utopia of digital efficiency will be realized as the most perfect dystopia of power ever built.

It is important to distinguish between the current dominant configuration of digital bureaucracy and its possible alternative trajectories. The tendencies examined in this article are not technologically predetermined: they arise from specific architectural choices, institutional arrangements, and political priorities. Different design principles – such as mandatory auditability, meaningful contestability, or the integration of human oversight – could in principle generate less opaque and less coercive bureaucratic

⁹ The notion of algocracy was first introduced by Aneesh (2006) to describe forms of rule in which algorithmic systems perform tasks of governance and decision-making that were once the prerogative of human institutions. The concept was further elaborated by Danaher (2016), who analyses the risks and characteristics of algorithmic governance in liberal-democratic societies.

The Digital Cage. A Sociological Analysis of Algorithmic Bureaucracy as a Total System

infrastructures. The problem, therefore, is not digitalization per se, but the particular socio-technical regime that has crystallized around it.

An alternative digital bureaucracy is often evoked in political discourse, yet such a prospect seems illusory. As long as the architecture of digital systems remains structurally oriented toward control, any attempt at “humanization” risks functioning as a mere aesthetic gesture – reinforcing the very logic it claims to resist.

References

Acquisti, A., Brandimarte, L., Loewenstein, G. (2015). “Privacy and human behavior in the age of information”. *Science*, 347(6221), 509-514.

Aneesh, A. (2006). *Virtual Migration: The Programming of Globalization*, Durham, NC: Duke University Press.

Benasayag, M., Schmit, G. (2016). *Cerveau augmenté, homme diminué*, Paris: La Découverte.

Bovens, M., Zouridis, S. (2002). “From Street-level to System-level Bureaucracies: How Information and Communication Technology Is Transforming Administrative Discretion and Constitutional Control”. *Public Administration Review*, 62(2), 174-184.

Cobbe, J. (2020). “Administrative law and the machines of government: judicial review of automated public-sector decision-making in the UK”. *Legal Studies*, 40(4), 618-635.

Cortázar, J. (1962). *Historias de cronopios y de famas*; trad. it. *Storie di cronopios e di famas*, Torino: Einaudi, 2005.

Danaher, J. (2016). “The Threat of Algocracy: Reality, Resistance and Accommodation”. *Philosophy & Technology*, 29(3), 245-268.

Deleuze, G. (1990). Post-scriptum sur les sociétés de contrôle, in *Pourparlers 1972-1990*, Paris: Les Éditions de Minuit, 240-247; Eng. trans. by M. Joughin (1992), “Postscript on the Societies of Control”. *October*, 59, 3-7.

Dunleavy, P., Margetts, H., Bastow, S., Tinkler, J. (2006). *Digital Era Governance: IT Corporations, the State, and E-Government*, Oxford: Oxford University Press.

Eubanks, V. (2018). *Automating Inequality: How High-Tech Tools Profile, Police, and Punish the Poor*, New York: St. Martin's Press.

Foucault, M. (1975). *Surveiller et punir: Naissance de la prison*, Paris: Gallimard.

- Han, B.-C. (2014). *Psychopolitik: Neoliberalismus und die neuen Machttechniken*, Frankfurt am Main: S. Fischer Verlag.
- House of Commons Work and Pensions Committee (2017). *Universal Credit: The six week wait*, London: The Stationery Office.
- Lessig, L. (1999). *Code and Other Laws of Cyberspace*, New York: Basic Books.
- Lipsky, M. (1980). *Street-Level Bureaucracy: Dilemmas of the Individual in Public Services*, New York: Russell Sage Foundation.
- Mathur, A., Acar, G., Friedman, M. G., Lucherini, E., Mayer, J., Chetty, M., Narayanan, A. (2019). “Dark Patterns at Scale: Findings from a Crawl of 11K Shopping Websites”. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 3(CSCW), 1-32.
- Nouwens, M., Liccardi, I., Veale, M., Karger, D., Kagal, L. (2020). “Dark patterns after the GDPR: Scraping consent pop-ups and demonstrating their influence”, in *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York: ACM.
- Pagano, U. (2007). *L'uomo senz'ombra. Elementi di sociologia dell'inautentico*, Milano: Franco Angeli.
- Patrick, R. (2022). *For Whose Benefit? The Everyday Realities of Welfare Reform* (Revised and expanded 2nd ed., first edition published in 2017), Bristol: Policy Press.
- Solove, D. J. (2013). “Introduction: Privacy self-management and the consent dilemma”. *Harvard Law Review*, 126(7), 1880-1903.
- Veale, M., Edwards, L. (2018). “Clarity, surprises, and further questions in the Article 29 Working Party draft guidance on automated decision-making and profiling”. *Computer Law & Security Review*, 34(2), 398-404.
- Weber, M. (1922). *Wirtschaft und Gesellschaft*, Tübingen: Mohr Siebeck.
- Yeung, K. (2018), “Algorithmic Regulation: A Critical Interrogation”. *Regulation & Governance*, 12(4), 505-523.

L'attualità della logica aristotelica: la difesa del principio di non contraddizione

(The actuality of Aristotelian logic: the defense of the principle of non contradiction)

Carestiato Cristina¹

Sunto

L'articolo è una difesa dell'attualità della logica aristotelica che intende sostenere che l'argomento che Aristotele offre per dimostrare che il principio di non contraddizione è una condizione necessaria del pensiero, può essere letto come un argomento trascendentale. Dopo aver brevemente richiamato la formulazione del principio di non contraddizione, e riassunta la difesa che Aristotele ne offre; e dopo aver considerato lo scettico con cui Aristotele si confronta, viene discussa l'obiezione mossa da G. Priest all'argomento aristotelico. Successivamente viene presentata una lettura trascendentale dell'argomento aristotelico, che prova che il contenuto dei pensieri rispetta necessariamente il principio di non contraddizione ed è sempre determinato. L'argomento è compatibile con visioni differenti rispetto all'individuazione del contenuto del pensiero e all'esistenza dei paradossi, per questa ragione, risponde al criticismo di Priest. La conclusione dell'articolo è che tornare alla logica aristotelica è una buona strategia per rispondere a delle critiche nel dibattito contemporaneo al principio di non contraddizione.

Keywords: principio di non contraddizione; argomento trascendentale; Aristotele; Priest.²

¹ Liceo Artistico Statale Treviso (TV), Italia; ccarestiato@icloud.com.

² Received on July 16, 2025. Accepted on December 10, 2025. Published on December 31, 2025.

doi: 10.23756/sp.v13i2.1706. ISSN 2282-7757; eISSN 2282-7765. ©Cristina Carestiato. This paper is published under the CC-BY licence agreement.

Abstract

The paper is a defense of the actuality of Aristotelian logic, by showing that Aristotle's argument to state that the principle of non contradiction is a necessary condition of the thought can be read as a transcendental argument. After having briefly recalled the formulation of the principle and summarized its defense offered by Aristotle, and after having considered the sceptic addressed by Aristotle, it is discussed G. Priest's objection to it. Then, it is presented a transcendental reading of Aristotle's defense of the principle of non contradiction: the transcendental argument shows that the content of thoughts necessarily conforms to the principle, because it is always determined. The argument is compatible with different views on content and with the existence of paradoxes, for this reason, it responds to Priest's criticism and some other possible objections to it. The conclusion of the paper is that referring back to Aristotelian logic is a good strategy to respond to objections in the contemporary debate against the principle of non contradiction.

Keywords: principle of non contradiction; transcendental argument; Aristotle; Priest.

1. Introduzione

Nell'articolo viene presentata una lettura trascendentale dell'argomento che Aristotele offre per dimostrare che il principio di non contraddizione (PNC) è inconfutabile. La difesa del PNC può essere interpretata sia nel contesto della metafisica aristotelica, quindi come un argomento di natura gnoseologica e ontologica, sia, con un impegno metafisico più modesto, come un argomento trascendentale che fissa una condizione necessaria del pensiero.

Dopo aver brevemente ricordato la formulazione aristotelica del PNC e sintetizzato l'argomento a sua difesa che Aristotele propone, si traccia il profilo dello scettico con cui Aristotele si misura, confrontandolo con la posizione filosofica offerta in anni più recenti da Priest. Si costruisce una lettura trascendentale della difesa del PNC, tenendo presente che un argomento trascendentale (AT) ha le seguenti caratteristiche: rileva un fatto, mostra che il realizzarsi di questo fatto ha una condizione necessaria e conclude che questa condizione confuta un particolare dubbio scettico. Successivamente, si valutano possibili obiezioni alle premesse dell'AT, concludendo che dette premesse sono compatibili sia con varie teorie del contenuto, sia con l'esistenza di paradossi e

contraddizioni nel pensiero e nel linguaggio ordinario. Si considera quindi l'obiezione alla difesa del PNC di Aristotele mossa dal dialeteismo di Priest, che ritiene tale difesa inefficace in quanto, invece di dimostrare che il PNC è inconfutabile, mostra esattamente che è possibile violarlo. Contrariamente a quanto Priest sostiene, viene argomentato che la difesa del PNC letta come un AT prova che perfino perché la contraddizione si realizzi, e il PNC possa essere negato, è necessario che si costituiscano dei contenuti determinati. Si stabilisce quindi che la difesa del PNC come AT supera l'obiezione di Priest.

In conclusione, l'AT mostra che il PNC è una condizione necessaria del pensiero e, allo stesso tempo, rivela l'importanza e l'attualità della logica aristotelica.

2. La difesa del principio di non contraddizione

Il PNC, portato ad una formalizzazione precisa per la prima volta da Aristotele, nei secoli è rimasto uno dei punti fondamentali nella fondazione della logica. Nella sua *Metafisica* Aristotele lo enuncia nel modo seguente: "E' impossibile che la stessa cosa, ad un tempo, appartenga e non appartenga a una medesima cosa, secondo lo stesso rispetto".³ Aristotele afferma che il PNC è quel principio per cui è impossibile cadere in errore, è il più noto di tutti ed è conosciuto da chiunque voglia pensare, dire o fare qualsiasi cosa. Si può quindi affermare che sia la base della razionalità.⁴

La formulazione logica del PNC è la seguente: $\neg (P \wedge \neg P)$.

Essendo esso un principio primo, non può essere difeso se non in forma negativa, dialettica, cioè riducendo a contraddizione chiunque tenti di negarne la validità. Aristotele afferma che se una persona prova a negare questo principio e pretende di dire qualcosa, dal momento che sta dicendo qualcosa di determinato, mostra di tenere fede ad esso. Nel caso poi che l'avversario pretenda di confutare questo principio sospendendo il discorso, e mostrando che si può tacere piuttosto che parlare, si troverebbe in contraddizione, perché se pensasse anche solo qualcosa di determinato, rispetterebbe il PNC; infatti tale contenuto mentale sarebbe ciò che è, e non qualcos'altro. Infine, anche colui che tentasse di negare il PNC rinunciando a parlare e a pensare, si troverebbe nella situazione di farne uso, perlomeno attraverso i suoi atti: non sarebbe la stessa cosa andare a Megara o buttarsi nel pozzo.

³ Aristotele, *Metafisica*, Γ 3, 1005 b 19-22 in Aristotele, *Metafisica*, trad. It G, Reale, Rusconi Libri, 1993, pag. 145.

⁴ La razionalità viene intesa qui in senso minimo come la capacità di produrre pensieri o discorsi.

3. Lo scettico

Nella sua difesa del PNC, Aristotele si confronta con un avversario che, in termini anche moderni, possiamo categorizzare come uno scettico.

Il dubbio scettico ha una lunga tradizione che dall'epoca antica attraversa il Medioevo, si ritrova in Cartesio, dove risulta essere un importantissimo banco di prova per stabilire la validità del metodo scientifico, ed infine arriva ai giorni nostri, per svolgere la stessa funzione di riflessione sui limiti e le possibilità del pensiero e delle teorie filosofiche e scientifiche. Nella filosofia contemporanea, per esempio, il filosofo H. Putnam propone una rivisitazione dell'ipotesi scettica cartesiana immaginando un "cervello in una vasca" per discutere i limiti e le possibilità di dare ragione del riferimento dei termini nell'ambito della semantica e della filosofia del linguaggio.⁵

Ma chi è lo scettico con cui si confronta Aristotele?

E' colui che pretende di dire qualcosa di determinato, pur non rispettando il PNC.

Aristotele discute alcune dottrine filosofiche, tra cui la tesi di Anassagora: "Inoltre, se relativamente ad un medesimo soggetto sono vere, ad un tempo, tutte le affermazioni contraddittorie, è evidente che tutte quante le cose si ridurranno a una sola. Infatti, saranno la medesima cosa una "trieme" e una "parete" e un "uomo"... Allora tutte le cose saranno confuse insieme, come dice Anassagora, e, di conseguenza, non potrà veramente esistere alcuna realtà determinata."⁶

Questa idea in un certo senso è oggi sostenuta da G. Priest, che difende il Dialeteismo.⁷

Il Dialeteismo è la visione che, pur accettando la verità logica del PNC, ammette che vi sono delle contraddizioni vere. Questa concezione tra i vari meriti, Priest afferma, ha quello di essere applicabile ad ambiti dell'informatica e dell'elaborazione dei dati: immaginiamo il grande bacino di raccolta dati che ha a disposizione nella rete oggi l'IA. Spesso questi dati non sono tutti coerenti, sono tra loro contraddittori, ma una raccolta di essi può dirsi comunque valida, se le contraddizioni, che pur si rilevano, sono tollerabili e non intaccano il cuore del sistema. Priest considera anche il movimento come esempio di una contraddizione vera, argomentando nel modo seguente: un corpo in movimento lungo una linea retta occupa un insieme di punti non distinguibili, un continuum. Ne segue

⁵ Putnam H., *Ragione, verità e storia*, trad. it. A.N. Radicati di Brozolo, Il Saggiatore, 1994.

⁶ Aristotele, *Metafisica*, Γ 4, 1007 b 18-26 in Aristotele, *Metafisica*, trad. It G. Reale, Rusconi Libri, 1993, pag. 155.

⁷ G. Priest, *In Contradiction: a Study of the Transconsistent*, Clarendon Press, 2006.

che per un corpo essere in movimento significa esattamente essere e non essere in un determinato posto allo stesso tempo, in quanto i punti occupati da esso nello stesso momento di tempo e nei momenti di tempo successivi sono indistinguibili. Questo per Priest è una violazione del PNC nella forma difesa da Aristotele. Priest ravvisa nella teoria eraclitea del movimento e in quella hegeliana⁸ delle concezioni filosofiche affini alla propria.

Ora che è stato tracciato il profilo dello scettico e contestualizzato il problema alla luce del recente dibattito filosofico, si può procedere a leggere nel dettaglio la difesa del PNC di Aristotele, per poi confrontarla con queste forme di scetticismo.

4. La difesa del PNC può essere letta come un AT?

Con “AT” si intende una forma dimostrativa che, pur avendo le sue origini nella filosofia kantiana, oggi viene largamente usato per indagare le condizioni necessarie del pensiero, dell’esperienza e della ragione.⁹

Un AT è di forma condizionale, a priori, e si misura con il dubbio scettico. Esso solitamente parte da una premessa che riguarda l’esistenza di una certa caratteristica del pensiero o dell’esperienza, e argomenta che, perché questa caratteristica sia possibile, certe condizioni sono necessarie. In Aristotele, è giusto notare, il PNC è sia alla base della razionalità, sia un principio che ha una profonda valenza ontologica, come mostrano i due passi seguenti.

Nel primo passo, Aristotele afferma il carattere fondamentale del PNC per il pensiero: “Infatti, quel principio che di necessità deve possedere colui che voglia conoscere qualsivoglia cosa non può essere una pura ipotesi, e ciò che necessariamente deve conoscere chi voglia conoscere qualsivoglia cosa deve già essere posseduto prima che si apprenda qualsiasi cosa”.¹⁰

⁸ Ibidem pag. 175-176.

⁹ L’analisi e lo studio degli argomenti trascendentali è stata di recente sviluppata nei lavori per esempio di Stern R., *Transcendental Arguments and Scepticism*, Oxford University Press, 2000; e Stern R., *Transcendental Arguments: Problems and Prospects*, Oxford University Press, 1999; Strawson P.F., *Individuals: an Essay in Descriptive Metaphysics*, Methuen, 1959; Peacocke C., *Transcendental Arguments in the Theory of Content*, Oxford University Press, 1986.

¹⁰ Aristotele, *Metafisica*, Γ 3, 1005 b 14-19 in Aristotele, *Metafisica*, trad. It G, Reale, Rusconi Libri, 1993, pag. 143.

Il secondo passo invece ribadisce il carattere fondamentale del PNC per la costituzione della realtà: "E non sarà neppure possibile che la stessa cosa sia e non sia uomo, se non per puro equivoco: come se, poniamo, quello che noi denominiamo 'uomo', altri lo denominassero 'non-uomo'. Ma il problema di cui ci stiamo occupando, non è se sia possibile che la medesima cosa sia o non sia uomo in quanto al nome, ma in quanto alla cosa stessa".¹¹

Se si dovesse quindi seguire tutto il ragionamento aristotelico, si sarebbe portati a considerare anche l'aspetto ontologico del PNC, che implica una tesi che riguarda l'essere e la sostanza. Questo è possibile perché in Aristotele pensiero e realtà seguono lo stesso ordine e sono strutturati in modo univoco. In questo senso il PNC è principio primo dal punto di vista ontologico e gnoseologico.

E' però possibile isolare la questione del pensiero dalla domanda sulla sostanza, per discutere la valenza del PNC rispetto esclusivamente alle condizioni che rendono possibile il pensiero. In questo modo si hanno alcuni vantaggi:

- la difesa del PNC è compatibile con varie forme di ontologia e rimane da esse indipendente;
- non è necessario dare una risposta alla domanda su che cosa è la sostanza e cosa sono gli oggetti materiali.

Si propone quindi di rimanere su una lettura trascendentale del PNC: l'interesse rispetto ad esso verte sul posto che esso occupa nella strutturazione del pensiero e della razionalità.

La difesa del PNC di Aristotele può essere quindi letta come un AT e riassunta nel modo che segue, avendo in mente che il dubbio scettico è offerto da colui che pretende di negare la validità del PNC¹²:

1. Colui che nega il PNC pensa qualcosa di determinato;
2. perché sia possibile pensare un contenuto determinato, è necessario rispettare il PNC;
3. quindi il PNC è una condizione necessaria per pensare.

Questo argomento è trascendentale in quanto ha forma condizionale, parte da una premessa che riguarda l'esistenza di una certa caratteristica del pensiero, ossia l'essere

¹¹ Ibidem, Γ 4, 1006 b 16-24, pag. 149.

¹² Lo stesso argomento può essere svolto nel caso di contenuti mentali, discorsi o azioni, per ragioni di spazio qui viene considerato solo questo caso e non le altre possibili opzioni.

composto di contenuti determinati, e conclude in modo antiscettico che perché ciò sia possibile il PNC è necessario.

5. Pensiero e contenuto determinato

Dopo aver presentato l'AT, è necessario specificare che cosa si intende con "contenuto determinato": esso è un qualsiasi contenuto del pensiero, un'idea, un'esperienza, un'impressione o altro che possano essere individuati. Esempio può essere la proposizione: "il gatto è sul tappeto". Questa proposizione può essere individuata in modo chiaro: essa infatti è identica a se stessa e diversa dal suo opposto. In questo senso, perché un contenuto sia determinato deve rispettare il PNC.

Si valutino ora alcune obiezioni a questa idea.

Per prima cosa si può sostenere che la possibilità di esprimere pensieri dotati di senso, e comprendere pensieri dotati di senso, si leghi al fatto che essi veicolino contenuti determinati per i quali il significato è stabilito da condizioni chiare di riferimento. Una tesi del genere ci costringe non solo ad assumere la validità del PNC, ma a specificare anche in modo più dettagliato le condizioni che sono richieste per determinare il riferimento di un particolare contenuto. Se ciò fosse vero, allora il PNC non sarebbe sufficiente a pensare contenuti determinati, ma avremmo bisogno di altro.

Consideriamo l'esempio della proposizione "il gatto è sul tappeto": questa proposizione significa qualcosa perché ci sono delle condizioni di riferimento dei termini "gatto" e "tappeto". In che modo si possono specificare le condizioni di significato dei termini?

Un modo di rispondere è specificare le condizioni di individuazione, facendo riferimento alla teoria referenziale del senso e del significato. Secondo questa teoria, il significato di un termine è l'oggetto o la classe di oggetti a cui esso si riferisce. Questa teoria è stata sostenuta in passato per esempio da J. S. Mill, e in epoca moderna da S. Kripke (in riferimento ai nomi) e da H. Putnam.¹³ In questo caso, la proposizione "il gatto è sul tappeto" è dotata di senso in quanto è formata da termini per cui è possibile stabilire delle condizioni di individuazione: il termine "gatto" si riferisce a quel set di oggetti che corrispondono al concetto di gatto, e il termine "tappeto" si riferisce a quella classe di oggetti che corrispondono alle condizioni di riferimento per i tappeti. La proposizione

¹³ Testi di riferimento per questo dibattito: Mill J.S., *Sistema di logica deduttiva e induttiva*, trad. it. M. Trichero, UTET 2013; Kripke S., *Nome e necessità*, trad. it. M. Santanbrogio, Bollati Boringhieri, 1999; Putnam H., *Ragione, verità e storia*, trad. it. A.N. Radicati di Brozolo, Il Saggiatore, 1994.

risulta comprensibile in quanto è composta da termini di cui possiamo stabilire il significato in maniera chiara e distinta.

Nel caso in cui per i termini di cui sono composte le proposizioni non ci siano delle condizioni di riferimento univoche, si deve sostenere che i contenuti sono indeterminati, e cioè non rispettano il PNC?

Si consideri il termine "Spanm". E' un termine per cui non esiste una classe di oggetti a cui esso si riferisce e quindi è un termine privo di significato. Pur essendo privo di significato, il termine "Spanm" è diverso dal termine "Spam" per esempio, ed è determinabile come quel termine per cui non vi è una classe di oggetti di riferimento. In questo senso è determinato, è identico a se stesso e diverso da ciò che non è, e quindi si conforma al PNC. A sua volta la proposizione "Spanm è sul tappeto" non è indeterminata, in quanto è identica a se stessa e diversa dal suo opposto, pur non essendo dotata di senso. Quindi, anche nel caso non sia possibile stabilire delle condizioni di riferimento rispetto al mondo, è possibile affermare che il contenuto è determinato.

Si valuti ora l'idea che il significato dei termini non sia dato dalla classe di oggetti a cui questi termini si riferiscono, ma anche dal modo in cui l'oggetto è presentato, ossia dal suo senso. Questa concezione può essere riferita a G. Frege: i nomi hanno sia un riferimento, e questo è costituito dall'oggetto che denotano, sia un senso, cioè il modo in cui l'oggetto è presentato, una connotazione. Frege utilizza l'esempio del pianeta Venere, che può essere connotato come Espero o Fosforo, cioè "la stella del mattino" o "la stella della sera".¹⁴ Anche in questo caso, il discorso rimane lo stesso perché, anche se i termini della proposizione non sono chiaramente distinguibili in termini di estensione e di intensione, essi sono termini distinti da altri e per questo determinati, e la proposizione nella sua interezza può essere distinta dal suo contrario e quindi individuata secondo il PNC.

Si consideri una terza opzione, cioè che il significato di un termine è dato dall'insieme delle regole d'uso che se ne fa all'interno di una comunità linguistica. Questa idea è difesa, per esempio, da L. Wittgenstein nelle sue *Ricerche filosofiche*.¹⁵ Il significato del termine "gatto", secondo questa concezione, non è fissato in riferimento ad un oggetto o in riferimento ad un ente astratto, ma è dato dall'insieme delle regole che in una comunità di parlanti individuano il corretto uso del termine stesso. In questo caso il significato

¹⁴ Frege G. *Senso, funzione e concetto*, a cura di C. Penco e E. Picardi, trad. it. E. Picardi, Laterza Editori, 2001.

¹⁵ Wittgenstein L. *Ricerche filosofiche*, trad. it. Bertolini L., Nobile M. e Valeri E., Feltrinelli 2024.

dipende dai contesti, ed è determinato se esistono delle regole d'uso che ne stabiliscono l'impiego. Il termine "Spanm" è determinato, perché è quel termine per cui non vi sono regole d'uso nella comunità di parlanti a cui ci stiamo riferendo.

Si consideri ora la proposizione nella sua interezza: una proposizione chiara e distinta è una proposizione dotata di senso.

Secondo la teoria referenziale della proposizione, il senso di una proposizione è dato dal suo valore di verità, ossia dall'insieme delle condizioni che possono o potrebbero verificarla.¹⁶ Se si considera la proposizione "il gatto è sul tappeto", essa, secondo questa teoria, è dotata di senso in quanto conosciamo le condizioni che potrebbero renderla vera. Questa proposizione è vera se e solo se il gatto è sul tappeto. In questo caso una proposizione non dotata di significato è quella per cui non conosciamo le condizioni che potrebbero verificarla. Tornando all'esempio sopra considerato, "Spanm è sul tappeto" è una proposizione di cui non possiamo conoscere le condizioni di verifica, perché non sappiamo a che cosa si riferisca al termine "Spanm". Ciononostante, anche in questo caso, questa proposizione è diversa dalla proposizione "Spanm non è sul tappeto", risulta essere determinata nel senso di essere identica a se stessa e diversa da ciò che non è. Questa proposizione, pur non dotata di senso, si conforma al PNC.

In base alle considerazioni fatte, risulta quindi chiaro che, per pensare, dobbiamo pensare qualcosa di determinato. Questa affermazione è compatibile con diverse teorie del riferimento e non si lega in particolare a nessuna di esse. Emerge quindi anche il valore che la difesa del PNC ha, se interpretato come AT, in quanto, rimanendo compatibile con varie teorie del riferimento, mostra in modo ampio e generale una condizione del pensiero.

6. Pensiero determinato e paradossi

L'affermazione che il pensiero sia determinato si scontra con un'altra possibile obiezione, ossia l'esistenza dei paradossi.

Un paradosso è un'affermazione o un insieme di contenuti che sembrano essere contraddittori. Dal punto di vista logico, un paradosso è un'affermazione che viola le norme del discorso, creando delle difficoltà per la creazione di un sistema organico di regole. Fra i più famosi si annovera il paradosso di Russell, che può essere declinato in

¹⁶ Questa teoria è stata difesa tra gli altri da G. Frege. Frege G. *Senso, funzione e concetto*, a cura di C. Penco e E. Picardi, trad. it. E. Picardi, Laterza Editori, 2001.

varie forme, come per esempio la seguente: consideriamo un insieme R che contiene tutti gli insiemi che non contengono se stessi. R contiene se stesso? Se R contenesse se stesso, non dovrebbe contenere se stesso, perché R contiene insiemi che non contengono se stessi; se invece R non contenesse se stesso, allora dovrebbe contenere se stesso, perché contiene tutti gli elementi che non contengono se stessi.¹⁷

Nella filosofia classica troviamo invece il paradosso del mentitore, che può essere sintetizzato come segue: “questa affermazione è falsa”. Essa è un paradosso in quanto, se l'affermazione è vera, allora essa è falsa; ma se è falsa, allora deve essere vera. Nei paradossi il contenuto del pensiero non può essere determinato né come vero né come falso.

I paradossi possono essere distinti almeno in due categorie: paradossi di natura matematica, che sono risolvibili secondo le regole di rigorosa dimostrazione logica, come il paradosso di Russell; e i paradossi invece prodotti nel linguaggio ordinario, tra cui il paradosso del mentitore. Senza entrare nei dettagli di queste possibili classificazioni, si consideri unicamente la formazione di paradossi nel linguaggio ordinario, in quanto ora si sta discutendo sulla validità della difesa del PNC come AT.

La possibilità di creare paradossi è intrinseca al linguaggio. Si può quindi sostenere che i paradossi siano un fatto. Ma l'esistenza dei paradossi crea davvero una difficoltà rispetto all'affermazione che pensare equivale a pensare contenuti determinati?

È possibile immaginare uno scettico che afferma che il contenuto dei nostri pensieri è indeterminato in quanto è formato da una serie di contraddizioni irresolubili. Ma, come si è chiarito sopra, anche la contraddizione, pur essendo indecidibile dal punto di vista semantico, è comunque formata da contenuti determinati: si può distinguere una proposizione formata dai termini “il gatto è sul tappeto” dal suo opposto. Ciò che non si può fare è decidere quale delle due è vera nel caso dei paradossi. D'altro canto però, ciò che rende possibile cogliere il fatto che si stia producendo una contraddizione è comunque subordinato alla possibilità di individuare dei contenuti determinati, che permette di distinguere due contenuti che risultano essere contraddittori.

Il paradosso, come le contraddizioni, quindi pur essendo indecidibile dal punto di vista semantico, può costituirsi proprio perché vi è alla base l'individuazione di contenuti determinati, cioè il PNC. La contraddittorietà dei paradossi semantici può essere risolta come propone A. Tarski,¹⁸ introducendo due livelli del discorso: un primo livello del

¹⁷ Russell B., *I principi della matematica*, trad. it. Geymonat L., Bollati Boringhieri, 2011.

¹⁸ A. Tarski *Il concetto di verità nei linguaggi formalizzati*, a cura di F. Rivetti, Vita e Pensiero, Milano 1963.

linguaggio, chiamato “linguaggio oggetto”, che tratta della realtà, ed un secondo livello del linguaggio, che parla del linguaggio stesso. Il secondo livello è definito “metalinguaggio” ed in esso si discute delle condizioni di riferimento dei termini e della semantica, mentre il primo livello del linguaggio verte sul mondo e non può trattare delle proprie condizioni di verità. In accordo con questa restrizione, la proposizione “Questa affermazione è falsa” non è una proposizione che può essere formata correttamente, perché non è inclusa nelle proposizioni formulabili nel linguaggio “oggetto”. Un'affermazione che discute della verità o falsità di una proposizione del linguaggio oggetto può essere formata solo nel metalinguaggio, che però a sua volta non tratta di se stesso, ma solo del linguaggio oggetto. Ne segue che possono essere prodotte solo affermazioni del tipo “L'affermazione *P* è falsa”, quando *P* è parte del linguaggio oggetto e non del metalinguaggio. In questo modo si libera il discorso dai paradossi riflessivi.

In conclusione, l'esistenza dei paradossi nel linguaggio naturale non deve essere vista come una prova della non validità del PNC e un'obiezione all'idea che i contenuti mentali sono determinati, quanto piuttosto deve essere vista come un fatto del linguaggio ordinario. L'esistenza dei paradossi mostra la possibilità che affermazioni o contenuti vengano formati in modo autocontraddittorio. Aristotele stesso ammette che è possibile costruire affermazioni che si contraddicono l'una con l'altra. Allo stesso tempo però, anche nel caso di contenuti auto contraddittori, vi è la necessità di attenersi al PNC, che è il principio fondamentale del pensiero: anche nel caso di un paradosso, il contenuto di questo paradosso sarà determinato in un certo senso piuttosto che un altro. Inoltre, è proprio perché si rileva qualcosa di errato nei paradossi che ci si ricorda che ci sono dei limiti alla pensabilità del reale e questi limiti sono fissati in concordanza con il PNC.

7. Rispondere al Dialeteismo

La visione, che in Aristotele è riferita al pensiero di Anassagora, Eraclito e Protagora, in tempi attuali è sostenuta anche da Priest, come anticipato sopra, con il Dialeteismo. Priest, nel suo *In contradiction*, ammette l'esistenza di tre possibili valori semantici:

1. vero;
2. falso;
3. sia vero che falso.

Nel dialeteismo un “contenuto determinato” quindi può essere anche una “contraddizione vera”.

Questo spinge Priest a confrontarsi con il PNC formulato da Aristotele e a criticare la difesa che egli ne offre. Priest rimprovera ad Aristotele di non riuscire nel suo intento, sostenendo che per un dialeteista la riduzione ad assurdo dello scettico non regge: colui che nega la validità del PNC, pretendendo di dire qualcosa di determinato pur non rispettando il PNC, secondo Priest, prova esattamente che vi sono delle contraddizioni vere.¹⁹ Fra le contraddizioni vere, come discusso già sopra, egli annovera “il movimento”: un corpo in movimento è e non è in un determinato punto allo stesso tempo, in quanto i punti occupati da esso nello stesso momento di tempo e nei momenti di tempo successivi sono indistinguibili. Il movimento, se descritto in tale modo, sembra essere una violazione del PNC, quando sostiene: “È impossibile che una cosa sia e non sia lo stesso al medesimo tempo e sotto il medesimo rispetto”, in quanto allo stesso tempo il corpo sembra essere sia “qui” che “non qui”.

Sulla base di ciò che si è sostenuto fino ad ora, è possibile rispondere a Priest come segue. Innanzitutto, è importante notare che un contenuto che è “sia vero che falso”, cade comunque sotto le condizioni poste dalla difesa del PNC di Aristotele: è quel particolare contenuto determinato che è “sia vero che falso”, e non un altro. Anche il dialeteista quindi deve accettare la condizione rilevata dall’AT, ossia che ogni contenuto per essere pensabile e semanticamente valutabile deve poter essere identico a se stesso e distinto da ciò che esso non è. In questo senso il contenuto è determinato.

Vi è poi un’ulteriore precisazione che va fatta in relazione al contenuto delle contraddizioni: infatti una cosa è affermare che il contenuto nelle contraddizioni si può formare, anche se il pensiero non è fatto di contenuti determinati; altra cosa è invece mostrare che per tutte le proposizioni è possibile stabilire se esse sono vere o false in maniera univoca. La difesa del PNC, se interpretata come un AT, non pretende che non si possano produrre contraddizioni, il cui contenuto, come nel caso dei paradossi, risulta indecidibile e può essere trattato come proposto da A. Tarski; quello che sostiene invece è che, anche nel caso di colui che produce delle contraddizioni, la condizione del pensiero è rispettata: il contenuto della contraddizione è tale e non altro, ossia si conforma al PNC.

Come nel caso dei paradossi, anche nel caso del movimento, la formazione del contenuto contraddittorio è sempre possibile nel pensiero e nel linguaggio ordinario; ma essa è in un certo senso “posteriore” alla costituzione di contenuti determinati, per esempio il “qui” e il “non qui”. L’importanza e l’attualità dell’AT non stanno nel mostrare che non è possibile pensare delle contraddizioni o dei paradossi, così come è possibile

¹⁹ G. Priest, *In Contradiction: a Study of the Transconsistent*, Clarendon Press, 2006, pag. 94-95.

sempre compiere degli errori; la sua importanza sta nel mostrare che anche in questi casi, come lo scettico affrontato da Aristotele, c'è bisogno di conformarsi al PNC, cioè articolare dei contenuti determinati. Lo scettico che nega il PNC articolando contenuti determinati mostra di aver bisogno di utilizzare il PNC anche nel momento in cui prova a negarlo. Quindi la confutazione dello scettico ottiene il suo scopo.

Nel caso specifico del movimento, inoltre, non vi è necessità di concepire lo spostamento di un corpo nello spazio necessariamente come un continuum formato da istanti o posizioni indistinguibili, si può invece pensare al movimento come una serie di istanti determinabili, come avviene per esempio nella proiezione di una pellicola. Nella proiezione di una pellicola, l'illusione del movimento, che possiamo definire "un continuum", sta non tanto nella indistinguibilità degli istanti, che sono concretamente differenziati dall'essere dei fotogrammi distinti e separati, ma nella velocità del passaggio da un'istantanea all'altra, in modo tale da essere impercettibile all'occhio umano. In conclusione, è possibile concepire in termini non contraddittori il movimento, mostrando che se ne può dare ragione in un modo alternativo rispetto a quello offerto da Priest.

8. Conclusione

In conclusione, si è mostrato che la filosofia aristotelica è attuale e ci offre una lezione preziosa, facendoci riflettere sui limiti e la struttura del pensiero e della ragione. La difesa del PNC offerta da Aristotele, infatti, se letta come un AT, può fare luce su una condizione fondamentale del pensiero, cioè che esso è costituito da contenuti determinati.

Questa condizione è necessaria anche per il dialeteista. Per cui, come per lo scettico antico, è necessario operare con contenuti determinati, ossia con contenuti che possano essere individuati in modo chiaro e distinto, rispettando in questo il PNC.

Bibliografia e sitografia

- [1] Aristotele, *Metafisica*, trad. it. G. Reale, Rusconi Libri, 1993.
- [2] Frege G. *Senso, funzione e concetto*, a cura di C. Penco e E. Picardi, trad. it. E. Picardi, Laterza Editori, 2001.
- [3] Kant I., *Critica della Ragion Pura*, trad. it. G. Gentile e G. Lombardo-Radice, Laterza, 1981.

- [4] Kripke S., *Nome e necessità*, trad. it. M. Santanbrogio, Bollati Boringhieri, 1999.
- [5] Frege G. *Senso, funzione e concetto*, a cura di C. Penco e E. Picardi, trad. it. E. Picardi, Laterza Editori, 2001. Rambaud, M.C. Valls Martínez. La determinación de la tasa de actualización para la valoración de empresas.
- [6] Mill J.S., *Sistema di logica deduttiva e induttiva*, trad. it. M. Trichero, UTET 2013.
- [7] Peacocke C., *Transcendental Arguments in the Theory of Content*, Oxford University Press, 1986.
- [8] Priest G., *In Contradiction: a Study of the Transconsistent*, Clarendon Press, 2006.
- [9] Priest G., *Sul dialeteismo*
<https://www.padovauniversitypress.it/system/files/download-count/attachments/2023-09/9788869382635.pdf>
- [10] Putnam H., *Ragione, verità e storia*, trad. it. A.N. Radicati di Brozolo, Il Saggiatore, 1994.
- [11] Russell B., *I principi della matematica*, trad. it. Geymonat L., Bollati Boringhieri, 2011.
- [12] Severino E., [Discussione-con-Graham-Priest-Emanuele-Severino.pdf](#)
- [13] Severino E., *Essenza del nichilismo*, Adelphi, 1995.
- [14] Stern R., *Transcendental Arguments and Scepticism*, Oxford University Press, 2000.
- [15] Stern R., *Transcendental Arguments : Problems and Prospects*, Oxford University Press, 1999.
- [16] Strawson P.F. *Individuals: an Essay in Descriptive Metaphysics* , Methuen, 1959.
- [17] Tarski A., *Il concetto di verità nei linguaggi formalizzati* , a cura di F. Rivetti, Vita e Pensiero, Milano 1963.
- [18] Wittgenstein L. *Ricerche filosofiche*, trad. it. Bertolini L., Nobile M. e Valeri E., Feltrinelli 2024.

Sulla gravità dei gravi: Galileo e Aristotele (On the Gravity of Heavy Bodies: Galileo and Aristotle)

Luca Granieri*

Abstract

We discuss some mathematical and philosophical aspects connected with the free fall question according to the aristotelian and galileian point of view. In particular we deal with the question of the mass dependence of the fall velocity. Identifying the aristotelian velocity with a limit velocity in a resistive medium, the dispute focuses on the role of continuous functions and the two different approaches recreate in the different order of taking limits for the motion in a vacuum.

Keywords: Free fall; limit velocity; Continuous functions and limits; aristotelian and galileian physics.¹

Abstract

Si propongono alcune considerazioni sui modelli matematici impliciti nel punto di vista aristotelico e galileiano sulla questione della dipendenza dalla massa della velocità di caduta dei gravi. Identificando la velocità di caduta aristotelica con una velocità limite in un mezzo resistente, la controversia si cristallizza nel ruolo delle funzioni continue, ricomponendosi nel diverso ordine di passaggio al limite nei due differenti approcci nel considerare la possibilità del moto in uno spazio vuoto.

Keywords: Caduta libera; velocità limite; funzioni continue e limiti; fisica aristotelica e galileiana.

*Liceo Scientifico E. Fermi, Bari, Italy; granieriluca@libero.it

¹Received on July 30, 2025. Accepted on December 27, 2025. Published on December 31, 2025. doi: 10.23756/sp.v13i2.1709. ISSN 2282-7757; eISSN 2282-7765. ©Luca Granieri. This paper is published under the CC-BY licence agreement.

1 Introduzione

Nel ripensare alla propria vocazione da scienziato si potrebbero individuare momenti precisi dell'infanzia come il giocare col *piccolo chimico*, le strane attrazioni magnetiche delle calamite, o la capacità di eseguire a mente calcoli complicati. Ma forse il seme della curiosità scientifica è molto più universale e un po' tutti siamo stati dei piccoli scienziati, magari senza ricordarcene. Per esempio quando, tenuti in braccio o seduti sul seggiolone, lasciavamo cadere ripetutamente gli oggetti più vari, mentre i nostri genitori assecondavano più o meno divertiti questa prima raccolta di evidenze empiriche, sperimentando che *i corpi cadono*.

Crescendo, tutti dimenticano questa esperienza precoce, e il fatto che i corpi cadono diventa ben presto un'ovvietà della vita quotidiana, immancabilmente ribadita dai nostri genitori ogniqualvolta ci allontanavamo in bici, per giocare a pallone o ad acchiappare: *Attento ancora cadi!* Ma è proprio guardando con prospettive nuove gli aspetti quasi banali dei fenomeni naturali che la scienza ha fatto i progressi più decisivi, come, nel caso specifico della caduta dei gravi, è accaduto con Newton, nel considerare l'orbita lunare come una eterna caduta verso la Terra, o nel *pensiero più felice della mia vita* che Einstein racconta nella sua autobiografia: *Stavo seduto in una poltrona nell'Ufficio Brevetti di Berna, quando all'improvviso mi ritrovai a pensare: se una persona cade liberamente, non avverte il proprio peso. Rimasi stupefatto. Questo pensiero così semplice mi colpì profondamente e ne venni sospinto verso una teoria della gravitazione*.

In particolare, il tema della caduta dei gravi è centrale nel passaggio dalla filosofia della natura di stampo aristotelico alla scienza moderna galileiana. Sebbene sia presentato sin dai primi anni di studio nei rudimenti di cinematica come esempio base di moto uniformemente accelerato, questo fenomeno quotidiano si rivela invece piuttosto ostico, e anche per questo si presta molto bene ad essere approfondito in diverse direzioni, anche in chiave multidisciplinare.

A tal proposito, il tema può consentire di discutere alcuni aspetti della modellizzazione matematica della realtà costitutiva del metodo scientifico e le relazioni con gli aspetti empirico-sperimentali. In questo articolo si propone una rilettura matematica e filosofica del dibattito sulla caduta dei gravi, focalizzando alcuni aspetti matematici impliciti nell'analisi aristotelica e galileiana. In particolare, si troverà che queste due differenti analisi, generalmente ritenute completamente contrapposte, mostrano invece un sottofondo matematico comune costituito dalla nozione matematica di funzione continua e di limite, e pertanto si possono in parte riconciliare tramite i modelli matematici moderni.

2 Cadere con filosofia

Com'è noto, nella filosofia aristotelica i gravi cadono verticalmente verso il centro della Terra, coincidente con il centro assoluto cosmico e unico centro di gravità, quello che F. Battiato forse chiamerebbe il *centro di gravità permanente*. Nella grandiosa e onnicomprensiva visione aristotelica del cosmo intero, la caduta dei gravi e il collegato problema del moto del proiettile costituiscono però anche il principale punto debole che fornirà il grimaldello per la costruzione della nuova fisica e il collasso dell'aristotelismo stesso. Col senno dei vincitori, anche nell'insegnamento, spesso si tende in un certo senso a liquidare frettolosamente il pensiero filosofico antico, nella fattispecie quello aristotelico, considerandolo come puramente speculativo e alieno dalle osservazioni empirico-sperimentali. Si racconta che Galileo promosse l'iconica prova sperimentale di caduta di gravi dalla torre di Pisa per appurare che i corpi cadono con la stessa velocità, indipendentemente dal loro peso (massa), e così sconfiggere la fisica aristotelica. Certo, la spettacolare scena imbastita dall'astronauta David Scott durante una missione Apollo 15 (1971) sulla Luna consente anche a noi di gridare che Galileo aveva ragione. Ma non è affatto vero che gli antichi non osservassero la natura o non facessero esperimenti. Anzi, proprio da attente osservazioni gli aristotelici concludevano che i corpi pesanti cadono più in fretta di quelli leggeri, rallentandone la caduta tramite mezzi resistenti come l'acqua. Del resto, questo è proprio quello che avviene in natura: i corpi cadono sempre in un mezzo resistente giacché, nella fisica aristotelica, il vuoto non può esistere. Galileo invece perviene per varie vie, sia sperimentali che teoriche, alla conclusione opposta: ossia che il vuoto può esistere e in esso i corpi cadrebbero, a partire dalla stessa altezza, uno accanto all'altro se lasciati cadere simultaneamente come nella dimostrazione di Scott, tutti con la stessa velocità. Tuttavia, ancora al tempo di Galileo le evidenze empiriche potevano corroborare proprio le ragioni aristoteliche: i corpi pesanti cadevano veramente più velocemente di quelli leggeri. Le prime realizzazioni di vuoti apprezzabili sono infatti relativamente recenti. La situazione è ben riassunta in questo estratto di T.S. Khun:

Ci è stato spesso detto che è solo perché gli scienziati medievali anteponevano l'autorevolezza della parola scritta, e preferibilmente antica, all'autorevolezza dei loro propri occhi che essi potevano continuare ad accettare l'assurda affermazione di Aristotele che i corpi pesanti cadono più velocemente di quelli leggeri. La scienza moderna, secondo questa interpretazione prevalente, ebbe inizio quando Galileo ripudiò i testi scritti a favore della sperimentazione, e poté osservare che due corpi di peso ineguale, lasciati cadere dalla sommità della torre di Pisa, toccavano il suolo contemporaneamente. Oggi tutti gli scolari sanno che i corpi leggeri e pesanti hanno la stessa velocità di caduta. Ma gli scolari sbagliano e sbaglia anche la storia di Galileo. Nel mondo d'ogni giorno, come

Aristotele osservava, i corpi pesanti cadono in effetti più velocemente di quelli leggeri. Questo a prima vista. La legge di Galileo è più utile alla scienza di quella di Aristotele, non perché interpreta l'esperienza più perfettamente, ma perché, dietro la regola superficiale svelata dai sensi, sa cogliere un aspetto del moto più essenziale, ma nascosto. La verifica sperimentale della legge di Galileo richiede speciali strumenti: senza un aiuto, i sensi non potrebbero negarla o confermarla. Galileo stesso non giunse a formular la legge grazie all'osservazione, o almeno grazie a nuove osservazioni, ma attraverso una catena di argomentazioni logiche [...]. Con ogni probabilità non effettuò il famoso esperimento sulla torre di Pisa. Questo venne invece effettuato da uno dei suoi critici ed il risultato diede ragione ad Aristotele. Il corpo pesante toccò il suolo per primo. Il racconto popolare della confutazione della teoria aristotelica fatta da Galileo è, in gran parte, un mito creato dalla mancanza di una vera prospettiva storica. Noi dimentichiamo volentieri che molti dei concetti in cui crediamo ci sono stati faticosamente inculcati nella nostra giovinezza. Noi li accettiamo troppo facilmente come i prodotti naturali e incontestabili delle nostre sole percezioni e respingiamo invece concetti differenti dai nostri come errori, radicati nell'ignoranza e nella stupidità e perpetuati da una cieca obbedienza all'autorità [Khun, 2000, p. 122].

Dunque, la dipendenza della velocità di caduta dal peso, ovvero dalla massa, cosa che porterà successivamente Newton a porre il problema dell'identità tra massa inerziale e massa gravitazionale, non poteva essere risolta dalla sola osservazione. Un'occhiata agli aspetti matematici, spesso solo impliciti sia nelle argomentazioni galileiane che in quelle aristoteliche, ci aiuterà forse a capire le ragioni più profonde del dibattito sulla caduta dei gravi. In effetti, comunemente la differenza tra i due approcci è confinata all'importante risultato galileiano sul moto uniformemente accelerato, ovvero che nella caduta libera ciò che conta è l'accelerazione piuttosto che la velocità. Conseguentemente, la controversia sostanzialmente si riformula così: velocità costante vs accelerazione costante. Per quanto, col senno di poi, tutto ciò sia corretto e ben conosciuto, in questo articolo ci si propone di far emergere delle differenze ancora più sostanziali, generalmente meno conosciute o comunque poco discusse. Infatti, per poter considerare il moto nel vuoto è necessario ricorrere al principio filosofico del *natura non facit saltus*, traducibile matematicamente attraverso il concetto di continuità, o comunque attraverso un processo di *passaggio al limite*. Questo principio è però utilizzato sia da Galileo che dai peripatetici in modo soltanto implicito e piuttosto intuitivo (la sistemazione dell'*analisi matematica* introdotta nel seicento richiederà ancora moltissimo tempo), portando a due conclusioni opposte. In particolare, trascurando la fase accelerata iniziale, i peripatetici assumono una formula semplificata della velocità di caduta come inversamente proporzionale alla resistenza del mezzo. Mentre Galileo, trascurando invece la resistenza del mezzo, focalizza l'attenzione sull'accelerazione e sul conseguente moto uniformemente accelerato.

Inoltre, come ulteriore punto non secondario, per considerare gli studi galileiani sul piano inclinato o sulle oscillazioni del pendolo rilevanti per la caduta libera, occorre il principio di composizione dei moti, ovvero il carattere vettoriale dello spazio. La concezione di uno spazio vuoto rappresenta una delle fondamentali novità che accompagnano la rivoluzione scientifica seicentesca, permettendo il passaggio da una scienza di carattere *olistico* a una di tipo *riduzionistico*. Questa conquista si poggia essenzialmente su una base matematica, da cui si deduce per esempio la traiettoria parabolica del proiettile, mentre, in un mezzo resistente, la traiettoria di matrice aristotelica come quella di Tartaglia (Figura 3), per quanto errata, può rappresentare meglio le traiettorie reali. Infine, con un'analisi moderna del problema, vedremo che i due differenti approcci si possono ricollegare al diverso ordine in cui si effettuano i *passaggi al limite* necessari.

Per comprendere meglio le differenti posizioni, compresa quella di Galileo, snodo cruciale della scienza moderna (si veda Granieri [2019] per alcuni complementari aspetti matematici della scienza moderna), occorre allora paradossalmente allontanarsi dall'osservazione puramente empirica e indossare *occhiali matematici*. Ma prima occupiamoci di un primo approccio qualitativo alla questione.

3 Esperimenti mentali

Il problema fondamentale è allora quello di capire cosa succederebbe se ci fosse il vuoto. La fisica aristotelica suddivide i moti in *naturali* e *violenti*. Nel mondo sublunare l'unico moto naturale è quello verticale, di caduta per i corpi *pesanti* o di ascesa per quelli *leggeri*. Ma la caduta dei gravi avviene talmente in fretta da risultare alquanto difficile da analizzare. Gli aristotelici allora “rallentavano” il moto per poterlo meglio osservare utilizzando diversi mezzi resistenti. Le evidenze empiriche raccolte sulla caduta di corpi in tali mezzi resistenti portavano gli aristotelici a concludere che, a parità di mezzo resistente, corpi più pesanti cadono più velocemente, mentre, a parità di corpo, la velocità di caduta cresce man mano che il mezzo diventa più *rarefatto*. E. Bellone in [Bellone, 2009, pp. 26-27] così riassume la faccenda:

Alcuni di questi principi sono stati già formulati da Aristotele e non sono mai stati falsificati. Ti capita di tenere fra le dita un corpo pesante. Una pietra, ad esempio. Quando la pietra sta nella tua mano e tu te ne stai fermo in piedi, è ovvio che la sua velocità è nulla. Ora apri le dita. In un istante la pietra acquista una sua velocità e scende in linea retta verso il basso. Guarda bene questo movimento e poi chiedi come si svolge. La risposta è chiara: c'è una brusca variazione iniziale di velocità - che non puoi sicuramente valutare perché è troppo rapida - e poi la caduta si realizza con una velocità costante. I tuoi occhi, infatti,

non avvertono nessuna variazione di questa velocità. E non avvertono variazioni d'alcun genere sia nel caso che la pietra cada dalla tua mano, sia nel caso che essa scenda dalla cima di un albero, dal tetto di una casa o dalla cima di un torrione. Sì allora più accurato, e lascia cadere - dalla medesima altezza - oggetti più pesanti e meno pesanti della pietra con cui hai cominciato le tue osservazioni: sfere di ferro o di legno, ad esempio. Che cosa vedi? Vedi che una cosa molto pesante impiega, per raggiungere il suolo, meno tempo di una cosa molto leggera. Quindi, la velocità di caduta di una sfera di ferro è maggiore di quella di una sfera di legno. E comunque, in tutti i casi esaminati, vedi che le velocità di discesa - grandi o piccole che siano - sono costanti: non c'è accelerazione, se non un brusco mutamento iniziale di velocità, un inizio talmente rapido che sfugge a ogni valutazione precisa, e che di conseguenza puoi trascurare. Non solo. Lascia ora cadere, due volte di seguito, un oggetto pesante. La prima volta in aria, e la seconda in un fluido come l'olio di oliva. Che cosa percepisci? Percepisci con chiarezza che la velocità con cui quell'oggetto si muove nell'olio è inferiore a quella con cui si muove in aria. Più in generale: il vuoto, se esistesse, avrebbe ovviamente una resistenza nulla ad essere attraversato da una cosa in movimento, ma se le velocità sono inversamente proporzionali alla resistenza dei mezzi, allora la velocità nel vuoto è infinita. Quindi il vuoto non esiste perché non sono osservabili velocità infinite. Quindi il mondo non è formato da cose disposte nello spazio vuoto.

Rivisitando in chiave moderna le osservazioni aristoteliche, potremmo pertanto interpretarle come delle *velocità limite* di caduta in un mezzo resistente che (si veda anche la sezione 5 e l'equazione (9)) assumono la forma $v = \frac{mg}{k}$, con k costante che dipende dalla geometria (aerodinamica) del corpo e dalla resistenza (viscosità) del mezzo, ovvero della forma $k = A\eta$, prodotto di un coefficiente aerodinamico A e di un coefficiente di viscosità η . Si ottiene pertanto, a parità di geometria del grave, una diretta proporzionalità rispetto alla massa e una inversa proporzionalità rispetto alla resistenza del mezzo. Se si accetta una tale legge di inversa proporzionalità rispetto alla resistenza del mezzo, confortata dalle evidenze empiriche al tempo disponibili, come appunto sostenevano gli aristotelici, poiché *natura non facit saltus*, si dovrebbe concludere che la velocità di caduta raggiunge valori sempre più grandi man mano che il mezzo diventa più rarefatto, fino a diventare infinita in uno spazio vuoto. E se non possiamo accettare grandezze infinite, allora il vuoto stesso non può esistere. Proprio in questo consiste uno dei tradizionali argomenti aristotelici contro l'esistenza del vuoto: se esistesse il vuoto allora i gravi vi cadrebbero con velocità infinita.

Galileo d'altra parte risponderebbe con il suo celebre *esperimento mentale*:

Salv. Quando dunque noi avessimo due mobili, le naturali velocità de i quali fussero ineguali, è manifesto che se noi congiugnissimo il più tardo col più veloce, questo dal più tardo sarebbe in parte ritardato, ed il tardo in parte velocitato

dall'altro più veloce. Non concorrete voi meco in quest'opinione? Simp.: Parmi che così debba indubitabilmente seguire. Sal. Ma se questo è, ed è insieme vero che una pietra grande si muove, per esempio, con otto gradi di velocità, ed una minore con quattro, adunque congiungendole ambedue insieme, il composto di loro si muoverà con velocità minore di otto gradi: ma le due pietre, congiunte insieme, fanno una pietra maggiore che quella prima, che si muoveva con otto gradi di velocità; adunque questa maggiore si muove meno velocemente che la minore; che è contro vostra supposizione” [Galilei, 2009, p. 26].

L'idea di fondo dell'argomento di Galileo sfrutta il fatto che, se è valido il principio aristotelico sulla caduta, allora per modificare la velocità di due gravi sarebbe sufficiente “congiungerli”. Galileo non precisa come i due gravi debbano o possano essere congiunti. Si può immaginare che ciò possa avvenire con un filo sottilissimo che abbia la sola funzione di connettere i due corpi in caduta, essendo per il resto del tutto *trascurabile*, oppure, con i mezzi moderni, tramite una goccia di super colla. Seguendo gli argomenti aristotelici, la congiunzione dei due gravi immaginata da Galileo provocherebbe da una parte un aumento della velocità, ma dall'altra, essendo il grave più leggero indietro nella caduta rispetto a quello più pesante, come un vagone rallenta la corsa della locomotiva, le due masse collegate dovrebbero anche rallentarsi attestandosi su una velocità addirittura inferiore a quella delle masse scollegate tra loro. Vale a dire che, collegando due masse $m < M$, la massa congiunta $m + M$ cadrebbe con una velocità inferiore a quella di M , cosa che contraddice la tesi aristotelica sulla velocità di caduta crescente rispetto alla massa dei gravi. Pertanto, sembra sostenere a questo punto Galileo, la velocità di caduta non può dipendere dalla massa. Per inciso, la velocità di caduta delle masse congiunte $m + M$ potrebbe anche essere intermedia rispetto a quella delle due masse scollegate, in quanto *una pietra grande si muove, per esempio, con otto gradi di velocità, ed una minore con quattro, adunque congiungendole ambedue insieme, il composto di loro si muoverà con velocità minore di otto gradi* perché la maggiore è rallentata dalla minore, lasciando intendere che la velocità sarebbe anche maggiore di quattro gradi, essendo la minore trainata dalla maggiore. Comunque sia, perché, in un certo senso, spesso si accetta senza indugio l'argomento di Galileo contro Aristotele? Sul piano qualitativo il peso delle argomentazioni non appare troppo diverso. Ad un primo esame logico della situazione, il ragionamento tutto o niente di Galileo può risultare affrettato. Ammessa la contraddizione, questo non significa che l'intero edificio sia da demolire. Magari ad essere fallace è soltanto il comportamento di rallentamento locomotiva-vagone, oppure la descrizione dell'effetto di *congiungimento* delle due masse. Per una trattazione più circostanziata occorre approfondire le ipotesi e la matematica necessaria ad esaminare questi argomenti euristici.

4 Problemi di continuità

Tanto gli argomenti aristotelici quanto quelli galileiani richiamano, in ottica moderna, il ricorso implicito a qualche *funzione continua*. Infatti, ritenere che una qualche causa sia trascurabile rispetto a qualche effetto significa assumere che se una causa *cambia di poco*, allora anche i conseguenti effetti *cambiano di poco*. Una formulazione rigorosa della continuità coinvolge come è noto il formalismo *epsilon-delta* (per una introduzione geometrica della continuità si veda per esempio Granieri [2022]) per una funzione $f : X \rightarrow Y$ che risulta continua in $x_0 \in X$ se, indicando con $d(x_1, x_2)$ la distanza tra due punti,

$$\forall \varepsilon > 0 \exists \delta > 0 : d(x, x_0) < \delta \Rightarrow d(f(x), f(x_0)) < \varepsilon. \quad (1)$$

Pertanto, se una causa x è *sufficientemente vicina* a x_0 , allora il conseguente effetto $f(x)$ è *vicino quanto si vuole* a $f(x_0)$. In termini del concetto di *limite* dell'*Analisi Matematica*, in modo equivalente la relazione (1) si riscrive nella seguente forma

$$\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = f(x_0).$$

Galileo stesso, per esempio, ammetteva che i gravi più pesanti cadono più in fretta di quelli leggeri, attribuendo però questo effetto alla resistenza del mezzo. Rallentando il moto, piuttosto che in mezzi resistenti, attraverso pendoli e piani inclinati, egli si era convinto infatti di poter trascurare l'attrito dell'aria [Galilei, 2009, p. 28]:

Simp. Gran detto è questo, Sig. Salviati. Io non crederò mai che nell'istesso vacuo, se pur vi si desse il moto, un fiocco di lana si movesse così veloce come un pezzo di piombo. Salv. Pian piano, Sig. Simplicio: la vostra difficoltà non è tanto recondita, né io così inavveduto, che si debba credere che non mi sia sovvenuta, e che in conseguenza io non vi abbia trovato ripiego. Però, per mia dichiarazione e vostra intelligenza, sentite il mio discorso. Noi siamo su 'l volere investigare quello che accaderebbe a i mobili differentissimi di peso in un mezzo dove la resistenza sua fusse nulla, sì che tutta la differenza di velocità, che tra essi mobili si ritrovasse, referir si dovesse alla sola disuguaglianza di peso; e perché solo uno spazio del tutto voto d'aria e di ogni altro corpo, ancor che tenue e cedente, sarebbe atto a sensatamente mostrarci quello che ricerchiamo, già che manchiamo di cotale spazio, andremo osservando ciò che accaggia ne i mezzi più sottili e meno resistenti, in comparazione di quello che si vede accadere ne gli altri manco sottili e più resistenti: ché se noi troveremo, in fatto, i mobili differenti di gravità meno e meno differir di velocità secondo che in mezzi più e più cedenti si troveranno e che finalmente, ancor che estremamente diseguali di peso, nel mezzo più d'ogni altro tenue, se ben non voto, piccolissima si scorga e quasi inosservabile

la diversità della velocità, parmi che ben potremo con molto probabile congettura credere che nel vacuo sarebbero le velocità loro del tutto eguali.

Le parole di Salviati, alter ego dello stesso Galileo, mostrano come il vuoto sia inteso come una sorta di *caso limite*, ottenuto passando con *continuità* attraverso mezzi sempre più rarefatti, ovvero che il moto sia continuo rispetto all'effetto del mezzo resistente che diventa *asintoticamente* costante nel vuoto. In altre parole, per formalizzare quanto affermato da Galileo, occorrerebbe considerare la funzione $f(r, m)$ che alla resistenza r del mezzo sul corpo di massa m associa il conseguente effetto sulla velocità di caduta del corpo stesso, e assumere che f sia una funzione continua tale che

$$\lim_{r \rightarrow 0^+} f(r, m) = f(0, m) = \text{costante}.$$

Mentre, in questo stesso contesto, per gli aristotelici si avrebbe

$$\lim_{r \rightarrow 0^+} f(r, m) = f(0, m) = +\infty.$$

Se dunque, sembra dirci Galileo proseguendo il suo argomento sui corpi *congiunti*, potessimo via via far sparire la presenza dell'aria, vedremmo via via le velocità di caduta dei corpi modificarsi (oggi diremmo con *continuità*) fino ad assumere il medesimo valore costante per entrambi. Questo tipo di ragionamento, al quale Galileo talvolta si riferiva con la necessità di *defalcare gli impedimenti*, costituiva una sorta di postulato universale sul comportamento della natura, secondo il celebre motto *natura non facit saltus*, in questa formulazione esplicita di matrice scolastica, nel seicento riproposto come principio universale con l'affermarsi della meccanica (dei continui) e del numero reale, nel solco tracciato già a partire da Euclide e dalla tradizione aristotelica stessa, in cui il *continuo* geometrico si contrappone al discreto aritmetico (e degli atomisti). In questo frangente, la differenza di approccio riguarda essenzialmente il fatto che nella concezione aristotelica il moto nel vuoto è escluso per principio, perché questo comporterebbe, sempre, con un *passaggio al limite* per continuità, la presenza di un *infinito attuale* (la velocità di caduta). Più precisamente, sempre reinterpretando in ottica moderna, il rifiuto aristotelico del vuoto che renderebbe *impossibile* il moto si potrebbe ricondurre al fatto che il grafico dell'iperbole equilatera di equazione $v = \frac{km}{r}$, che rappresenterebbe il grafico della velocità rispetto alla resistenza r del mezzo, non si può estendere con *continuità* assegnando un valore, finito o infinito che sia, alla velocità nello zero, ossia nel vuoto. Si tratta di due ragionevoli, sebbene diversi, utilizzi del principio di continuità nei fenomeni naturali.

Ma le cose sono ancora più intricate. Esaminiamo più da vicino l'argomento di Galileo. In effetti, sulla scia di queste problematiche di continuità, egli ci pare perplesso proprio sul fatto che basterebbe *congiungere* due gravi in caduta

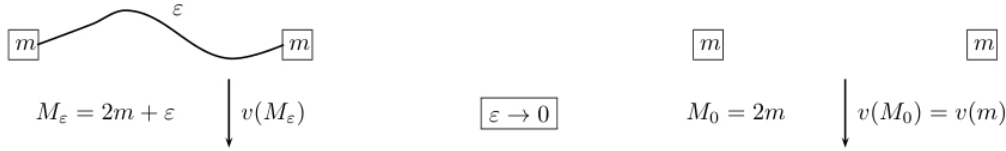


Figure 1: Congiungimento e passaggio al limite.

per modificare in maniera sensibile la velocità di caduta stessa, introducendo una strana *discontinuità*. In termini più formali, possiamo pensare a due gravi identici di massa m che cadono ugualmente (sia per Galileo che per Aristotele) uno accanto all'altro. In questo modo potremo dimenticarci dell'effetto locomotiva-vagone e concentrarci soltanto sulle conclusioni a cui questi diversi modelli di caduta possono portare. Il ruolo del filo sottilissimo (o della colla) è quello di connettere idealmente due masse m in modo che costituiscano un unico corpo. Nell'approccio galileiano appare implicita l'assunzione sul poter *trascurare* l'influenza del filo sottilissimo, ovvero che la sua massa, diciamo pari a ε , possa essere scelta sufficientemente piccola da rendere arbitrariamente piccola la conseguente variazione della velocità di caduta del corpo complessivo di massa $M_\varepsilon = 2m + \varepsilon$. Pertanto le due masse dovrebbero continuare a cadere in maniera praticamente indistinguibile da quanto facevano prima che fossero congiunte, come mostra il passaggio al limite, nell'ipotesi che la velocità di caduta v sia una funzione continua della velocità, mostrato in figura 1.

Un modo alternativo per esaminare l'argomento galileiano del *congiungimento* potrebbe consistere nell'immaginare che uno dei due gravi in caduta si muova anche nella direzione orizzontale verso l'altro, e toccatolo resti a questo agganciato, per esempio a causa di una goccia di super colla spalmata sulla superficie, producendo alla fine un *urto totalmente anelastico* come in figura 2. Ora, dopo l'urto si avrebbe un unico corpo di massa $2m$, e accogliere il modello aristotelico significherebbe accettare che improvvisamente, e in maniera del tutto discontinua, la velocità di caduta passi da un valore v al suo doppio $2v$ (figura 2).

Tuttavia, come Galileo aveva ben rilevato nella sua magistrale analisi del moto del proiettile, se i moti nelle due direzioni ortogonali sono indipendenti tra loro, nella direzione verticale di caduta non si trova giustificazione a questa improvvisa variazione di velocità. L'urto avviene infatti nella sola direzione orizzontale. Un effetto *grande* (l'aumento della velocità di caduta) avverrebbe senza una causa, contraddicendo il modello aristotelico stesso. Precisamente, si può rilevare una

Sulla gravità dei gravi: Galileo e Aristotele

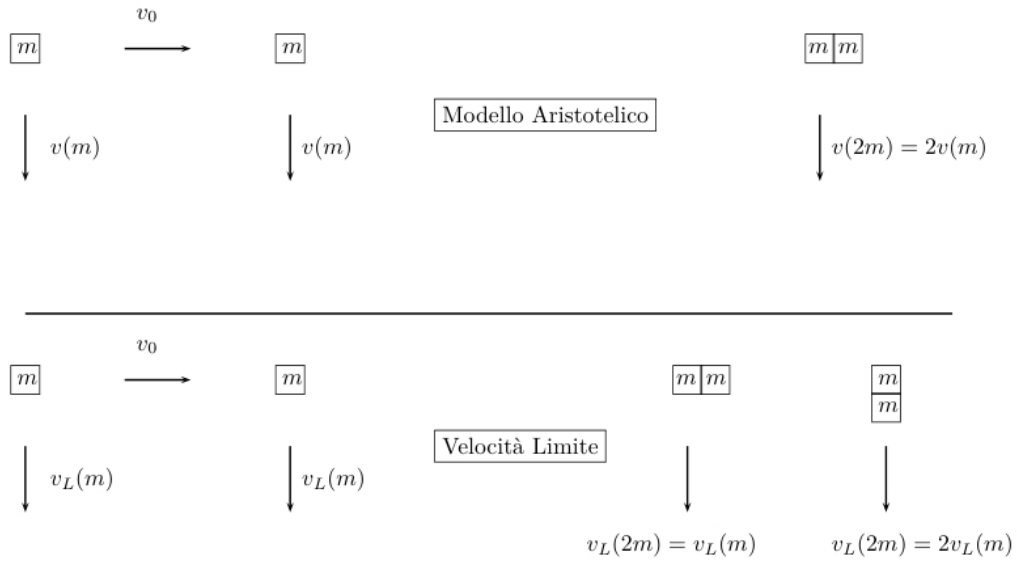


Figure 2: Congiungimento e velocità di caduta.

contraddizione con la conservazione della quantità di moto. Infatti, se $v = v(m)$ rappresenta la velocità di caduta del corpo di massa m , la quantità di moto prima dell'urto è $2mv(m)$. Dopo l'urto, dalla conservazione della quantità di moto nella direzione verticale si ottiene

$$2m v(m) = 2m v(2m) \Rightarrow v(2m) = v(m). \quad (2)$$

In accordo con l'assenza di cause nella direzione verticale, la velocità di caduta resta invariata, indipendentemente dal fatto che le masse siano congiunte o meno, contraddicendo la previsione aristotelica di una velocità finale di caduta $v(2m) = 2v(m)$.

Questa breve disamina mostra però un punto importante, non sempre debitamente sottolineato, in cui i due approcci alla caduta dei gravi sono in disaccordo: *la natura vettoriale del moto*. Questo aspetto, strettamente legato con il *riduzionismo*, oggi quasi scontato, emerge piuttosto lentamente per affermarsi nella nuova scienza seicentesca. Gli aristotelici guardavano alla natura in senso *globale, olistico*, come un tutt'uno non sempre scindibile in parti indipendenti. Basti pensare all'approccio di Tartaglia alla traiettoria del proiettile, contrapposta alla moderna costruzione, di matrice galileiana, del moto parabolico a partire da due moti rettilinei indipendenti (figura 3). Tra le altre cose, questo principio di composizione dei moti è indispensabile per collegare gli studi galileiani su pendoli e piani inclinati ai fenomeni di caduta libera.

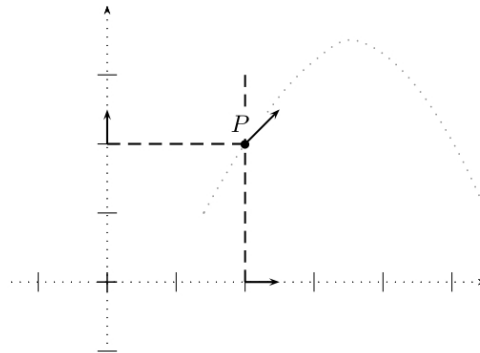


Figure 3: Moto del proiettile: traiettoria di Tartaglia (dal libro Nova Scientia, libro primo p. 12) e composizione vettoriale del moto.

Pertanto, se si accetta il carattere vettoriale del moto, la relazione (2) sconfesserebbe l'assunzione di una funzione crescente della velocità di caduta rispetto alla massa. Si potrebbe pensare che il problema sia riconducibile al carattere *discontinuo* dell'urto. Ma, per inciso, nella meccanica classica anche gli urti possono essere considerati un fenomeno "continuo". L'urto avviene in un certo intervallo di tempo nel quale tutte le grandezze possono variare con continuità per passare dalla velocità "prima" dell'urto a quella "dopo" l'urto. Il problema è che questa frase transitoria risulta perlopiù inaccessibile sia all'indagine teorica che sperimentale. Allora, in tutti i casi in cui questa fase non è importante, si suole identificare tale intervallo con un urto "istantaneo", conseguentemente descritto da funzioni discontinue. In tal caso la discontinuità costituisce una sorta di "approssimazione" della continuità.

Prescindendo da questa analisi a posteriori, riprendiamo la questione della continuità nel problema della caduta. Ricapitolando un attimo il discorso, Aristotele e Galileo sarebbero probabilmente in accordo nel sostenere che due corpi identici di massa m , a parità di mezzo resistente, cadano entrambi con una velocità $v = v(m)$ e che quest'ultima espressione corrisponda a quella che oggi diremmo essere una *funzione continua*. Naturalmente, nel fare ciò stiamo discutendo quello che potrebbe essere un modello matematico della teoria della caduta nell'approccio aristotelico o galileiano, e non ovviamente di tutta la filosofia aristotelica nella sua completezza o di tutti i fenomeni naturali connessi. Del resto, il ruolo di un modello matematico è proprio quello di circoscrivere pochi aspetti essenziali per poterli studiare in modo più preciso e quantitativo. Nella fattispecie ci stiamo focalizzando sulla funzione $v = v(m)$ che dovrebbe descrivere la velocità

di caduta, per ora in funzione della sola massa. In questo frangente, le divergenze di vedute riguardano allora le altre proprietà della funzione $v = v(m)$ che per Galileo sarebbe descritta da una funzione (asintoticamente) costante, piuttosto che da una retta di pendenza positiva come per gli aristotelici. Dunque, nel *modello aristotelico* la caduta è descritta da una retta obliqua mentre in quello galileiano si avrebbe una retta orizzontale. Su questa questione, riprendiamo l'esperimento mentale di Galileo formalizzandone gli aspetti matematici più rilevanti. Supponiamo che la velocità di caduta $v = v(m)$ sia una funzione strettamente crescente della massa. Se il filo, o piuttosto la goccia di colla, ha massa ε , allora connettendo le due masse si ottiene un corpo unico di massa totale $M_\varepsilon = 2m + \varepsilon$, identificando il caso $M_0 = 2m$ con quello delle due masse scollegate in assenza del filo, ovvero per $\varepsilon = 0$. Stiamo cioè immaginando due gravi separati come caso limite rispetto al filo congiungente che svanisce progressivamente con continuità come in figura 1. Ora, essendo $M_\varepsilon > 2m > m$ avremmo $v(M_\varepsilon) > v(2m) > v(m)$. Passando al limite, per le cosiddette proprietà di *permanenza del segno* (ovvero che nel passaggio al limite le disuguaglianze si conservano), si ottiene

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0^+} v(M_\varepsilon) \geq v(2m) > v(m). \quad (3)$$

Ora, ipotizzando che il fenomeno sia continuo, ovvero che il filo/colla possa essere scelto in modo da perturbare impercettibilmente quanto si vuole la caduta, allora avremmo la contraddizione

$$v(m) = v(M_0) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0^+} v(M_\varepsilon) > v(m), \quad (4)$$

dove le uguaglianze per $\varepsilon = 0$ corrispondono da un lato al fatto che la velocità è una funzione continua, e dall'altro al fatto che per $\varepsilon = 0$ abbiamo due masse m separate che cadono con la stessa velocità $v(m)$. Pertanto, l'argomento aristotelico, indipendentemente dall'effetto *locomotiva-vagone*, è contraddetto proprio a causa della continuità della natura, oppure deve esserci qualche elemento del modello da riconsiderare, per esempio la possibilità che la velocità dipenda non soltanto dalla massa ma anche da altre variabili (come abbiamo già accennato, la geometria dei gravi svolge un ruolo importante).

Prima di discutere il tema nella sezione seguente, osserviamo che il principio di continuità costituisce, in modo esplicito o implicito che sia, un fondamentale elemento di riflessione e di ricerca, come nel problema della *stabilità di struttura* delle teorie fisiche e alla questione generale: *La soluzione esatta di un problema approssimato è un'approssimazione del problema esatto?* In molti casi è proprio così, come accade nello studio del pendolo *semplice*, nel quale l'approssimazione $\sin x \approx x$ consente di risolvere un problema lineare come approssimazione del problema non-lineare di partenza. Ma non è sempre così e non tutto è necessariamente continuo! Anche il *natura non facit saltus* si rivela meno universale e più

problematico di quanto si poteva ritenere. Si pensi al celebre “errore” di Poincaré sul problema dei tre corpi in cui anche un granello di polvere può essere determinante (si veda ad esempio [Stewart, 2018, cap. XII] e [Stewart, 2014, cap. VIII]). A questo proposito, la caduta dei gravi può essere un modo ragionevolmente semplice per approcciarsi a questioni come queste aprendo orizzonti più ampi.

5 Caduta e velocità limite

Esaminando la questione con occhi moderni, sin dagli insegnamenti scolastici si apprende che la caduta nel vuoto di una massa m da un'altezza h avviene con accelerazione costante, raggiungendo al suolo una velocità $v = \sqrt{2gh}$. Si tratta, come acutamente intuito da Galileo, di una velocità indipendente dalla massa del grave. Tuttavia, se il grave cade in un mezzo resistente le cose si complicano alquanto. Se indichiamo con η il coefficiente di *viscosità* del mezzo, in *regime laminare*, dopo una *breve* fase transitoria, esso si muove di moto rettilineo uniforme con una *velocità limite* $v_L = \frac{mg}{k}$, dove k è una costante che dipende dalla resistenza del mezzo (viscosità) e dalla geometria del corpo. Per una sfera di massa m e raggio r , la cosiddetta legge di Stokes fornisce uno dei risultati più conosciuti, ovvero una velocità di caduta $v_L = \frac{mg}{6\pi\eta r}$. Pertanto, nel caso di una sfera (in particolari condizioni di caduta in un mezzo fluido), il coefficiente geometrico di resistenza aerodinamica vale $6\pi r$. Più in generale, per corpi di forma qualsiasi e in condizioni generali risulta molto difficile determinare una formula esplicita per il coefficiente geometrico di resistenza aerodinamica, che però risulta, anche in *regime turbolento*, proporzionale alla sezione trasversale del corpo alla direzione del moto. Ad ogni modo, la velocità di caduta, se identificata con la velocità limite, come assumevano gli aristotelici, dipende effettivamente dalla massa e gli oggetti più pesanti cadono davvero più velocemente di quelli leggeri. Inoltre, nella meccanica dei continui, nulla vieta di immaginare mezzi omogenei che oppongano resistenza al moto decrescente e via via sempre più piccola. Se il vuoto rappresenta un tale mezzo con resistenza nulla al movimento, allora la velocità di caduta aumenterebbe senza limite, ovvero $\lim_{k \rightarrow 0^+} v_L = +\infty$. Di conseguenza, continuando a seguire le argomentazioni di stampo aristotelico, il vuoto non potrebbe esistere e, per inciso, nemmeno un *etere cosmico* che non opponga *nessuna* resistenza al moto. In particolare, la caduta newtoniana nel vuoto non si potrebbe in tal caso ottenere ragionando per continuità rispetto al mezzo, sebbene questi due modelli di caduta (nel vuoto o in un mezzo resistente) siano entrambi ottenuti dalle equazioni della meccanica newtoniana stessa. Evidentemente, ci dev'essere ancora qualche elemento rilevante o qualcosa di nascosto in queste modellizzazioni del moto di caduta che meritano un ulteriore approfondimento. A complicare la faccenda concorre il fatto che l'argomento di Galileo

del *congiungimento* può effettivamente non funzionare per la caduta in un mezzo resistente. In effetti, abbiamo appurato che è importante considerare il fatto che la costante k che compare nella velocità di caduta dipende dalla geometria del corpo, come detto essenzialmente dalla sezione trasversale alla direzione del moto di caduta. Consideriamo per esempio due cubetti identici di massa m che cadono uno a fianco dell'altro con una faccia parallela al suolo (figura 1 e figura 2). In tal caso possiamo assumere che sia $k = aL^2$, dove L rappresenta la lunghezza del lato del cubo. Congiungiamo quindi i due cubetti lungo due facce perpendicolari al suolo, assumendo che il filo (o colla) impiegato possa essere scelto talmente *piccolo* da contribuire con un effetto arbitrariamente piccolo sia sulla massa che sulla resistenza aerodinamica del corpo risultante. Per fissare le idee, si potrebbe pensare a un filo costituito da un cilindretto omogeneo di raggio ε , lunghezza l e densità d . Allora la massa del corpo complessivo formato dai due cubetti e dal cilindretto è pari a $2M + dl\pi\varepsilon^2$, mentre la resistenza aerodinamica diventa $K_\varepsilon = 2aL^2 + 2l\varepsilon$ (la sezione trasversale del cilindro è un rettangolo). Ad ogni modo, i dettagli tecnici su come sia effettivamente realizzato il collegamento tra i cubetti non è fondamentale. Ciò che conta è osservare che è possibile scegliere il collegamento in modo tale che un contributo infinitesimo ε alla massa corrisponda ad un contributo infinitesimo anche alla resistenza aerodinamica, ovvero a una funzione continua $h(\varepsilon)$ tale che $h(0) = 0$. Ribadiamo ancora una volta l'essenzialità di operare con una funzione $v_L = v_L(r, m)$ continua rispetto a entrambe le variabili (resistenza del mezzo e massa del grave). Dunque, congiungendo i due cubetti si otterrà un corpo risultante di massa $M_\varepsilon = 2m + \varepsilon$ e costante $k_\varepsilon = 2aL^2 + h(\varepsilon)$. Pertanto, omettendo per brevità la dipendenza dalla resistenza del mezzo, $v_L(M_\varepsilon) = \frac{M_\varepsilon g}{k_\varepsilon} = \frac{(2m+\varepsilon)g}{2aL^2+h(\varepsilon)}$ da cui

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0^+} v_L(M_\varepsilon) = \frac{mg}{aL^2} = v_L(m). \quad (5)$$

Questa uguaglianza mostra che, in un mezzo resistente, la velocità di caduta non è necessariamente strettamente crescente rispetto alla massa, rendendo il modello aristotelico più difficile da formulare, dovendo tener conto anche della geometria dei gravi in caduta. Il fenomeno rilevato nella relazione (5) dipende essenzialmente dal fatto che, congiungendo *orizzontalmente* i due cubetti di massa m , si raddoppia la massa ma allo stesso tempo anche la sezione trasversale, e i due effetti si compensano esattamente. Pertanto, cadendo uno accanto all'altro, la velocità di caduta rimane invariata nonostante il collegamento, cosa che simmetricamente rende anche il modello galileiano bisognoso di precisazioni ulteriori, giacché in questo contesto l'argomento del *collegamento* fallisce. Osserviamo inoltre che la relazione (5) non significa che la velocità di caduta sia indipendente dalla massa. Essa infatti può aumentare in configurazioni diverse da quella *orizzontale*, per esempio congiungendo i cubetti lungo facce parallele al suolo (figura

2). In tal caso i due effetti non si compensano più in quanto il coefficiente aerodinamico resta invariato ma la massa aumenta, producendo così una velocità di caduta maggiore, similmente a quanto può fare un paracadutista in discesa libera per rallentare o accelerare la sua discesa prima di aprire il paracadute.

La battaglia, per così dire, tra il modello di matrice aristotelica e galileiana su cosa accadrebbe nel vuoto resta ancora aperta, sebbene entrambi i contendenti abbiano conseguito dei punti a loro favore. Perché allora talvolta si sostiene che il modello aristotelico sia semplicemente sbagliato e quello galileiano corretto? Cosa c'è ancora che non va? E come ha fatto Galileo a intuire una caduta indipendente dalla massa quando le evidenze empiriche potevano essere contrarie o al più neutre al riguardo? In effetti, sono occhi matematici quelli che in fondo consentono di vedere ciò che non poteva (ancora) essere visto. Galileo infatti utilizzava pendoli e piani inclinati per *rallentare* la caduta, metodi che gli aristotelici potevano giudicare *violenti*, in opposizione ai moti *naturali* di caduta verticale in un mezzo resistente. Nella prospettiva galileiana, il ruolo della resistenza del mezzo è quello di smorzare le oscillazioni del pendolo. Nel vuoto Galileo poteva immaginare che il pendolo potesse continuare ad oscillare indefinitamente raggiungendo sempre la stessa altezza. Poiché il tempo di oscillazione (per *piccole* oscillazioni) non dipende dalla massa (anche questo un fatto più teorico che sperimentale a quei i tempi) allora, tenuto conto del carattere vettoriale del moto, lo stesso deve accadere per la caduta, quale componente verticale del moto oscillatorio. In termini moderni, se h corrisponde all'altezza di caduta del pendolo, nel punto più basso la conservazione dell'energia conduce a

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \Rightarrow v = \sqrt{2gh}, \quad (6)$$

nell'ipotesi in cui le masse (inerziali e gravitazionali) coincidano (come accade col *principio di equivalenza* nella teoria della relatività) permettendo di semplificare la massa m nella relazione (6). Un altro espediente per *rallentare* il moto utilizzato da Galileo è l'utilizzo di un piano inclinato di altezza h e inclinazione α . Trascurando gli attriti, lo spazio percorso lungo il piano segue la legge dei quadrati dei tempi (moto uniformemente accelerato) dimostrata da Galileo stesso. In termini moderni $s = \frac{1}{2}g \sin(\alpha)t^2$. Essendo poi $v = g \sin(\alpha)t$ e $s \cdot \sin(\alpha) = h$, combinando le equazioni si ottiene

$$v = g \sin(\alpha) \sqrt{\frac{2s}{g \sin(\alpha)}} = \sqrt{2sg \sin(\alpha)} = \sqrt{2gh}. \quad (7)$$

Lo studio della caduta dei gravi sembra allora portare a conclusioni opposte tra loro: la velocità di caduta dipende o non dipende dalla massa? È possibile armonizzare in qualche modo le posizioni galileiane e aristoteliche sulla caduta dei

gravi che, pur partendo da concezioni comuni, appaiono in diversi punti così inconciliabili tra loro? Il punto nodale della questione riguarda a nostro avviso le ipotesi e le assunzioni, talvolta implicite, che ogni modello matematico porta con sé. Questo aspetto è cruciale in qualsiasi descrizione scientifica della natura. Discrepanze tra modelli e fatti empirici o teorici, oppure tra diversi modelli, costringono gli scienziati a un continuo affinamento della conoscenza scientifica, sia dal punto di vista sperimentale che da quello teorico. A tal proposito abbiamo già discusso del problema relativo alle assunzioni implicite nei modelli sulla *continuità*. Ma forse c'è ancora dell'altro a cui guardare con più attenzione. Riprendendo l'argomento aristotelico così come esposto da E. Bellone, troviamo che la velocità di caduta è considerata costante tranne che per una brusca fase iniziale, ritenuta transitoria e irrilevante, e che di conseguenza viene trascurata. Qui forse si annida ancora una questione che può essere rilevante: siamo davvero sicuri che la brusca fase iniziale di accelerazione possa essere trascurata? L'esistenza di questa fase transitoria poteva essere desunta direttamente dalle osservazioni, ma anche dai principi primi aristotelici. Immaginiamo un grave che, muovendosi per esempio dall'aria all'acqua, oppure appoggiato sul pelo dell'acqua e poi lasciato andare, passi da una velocità iniziale a quella finale di caduta nell'acqua. Tenuto conto del *natura non facit saltus*, questo passaggio non può avvenire in maniera improvvisa ma attraverso una fase transitoria in cui la velocità passa gradualmente da quella iniziale a quella finale. Il problema è allora il seguente: quanto può essere rilevante questa fase transitoria? In effetti, questo processo graduale del moto nel raggiungimento della velocità limite che fa da sfondo alle argomentazioni aristoteliche potrebbe anch'esso dipendere dal mezzo e magari, man mano che il mezzo diventa sempre più rarefatto, la velocità limite potrebbe essere raggiunta sempre più tardi, e infine divergere, al raggiungimento (asintotico) del vuoto, solo per un tempo infinito. In altre parole, la presunta velocità infinita di caduta nel vuoto potrebbe anche essere in realtà un infinito potenziale anziché attuale. Allora un esame più attento al modello matematico soggiacente è ciò che ci vuole, anche se richiede strumenti più sofisticati per essere discusso. Affidandoci alla potenza del calcolo differenziale, nel caso di una forza di attrito della forma $F = kv$, si può dimostrare che la soluzione dell'equazione differenziale del moto ha per soluzione

$$v(t) = \frac{mg}{k} - \left(\frac{mg}{k} - v_0 \right) e^{-\frac{kt}{m}}. \quad (8)$$

La velocità dipende quindi dalla massa, ma in modo piuttosto più complicato rispetto a quanto gli aristotelici potessero immaginare. Inoltre, una velocità costante si realizza rigorosamente solo (asintoticamente) a lungo andare, ovvero

$$v_L = \lim_{t \rightarrow +\infty} v(t) = \frac{mg}{k}. \quad (9)$$

A questo punto segue ancora che la velocità (limite) di caduta diverge rispetto al

mezzo che opponga resistenza al moto sempre più piccola. Ovvero

$$\lim_{k \rightarrow 0} v_L = \lim_{k \rightarrow 0} \lim_{t \rightarrow +\infty} v(t) = +\infty \quad (10)$$

La velocità di caduta pertanto diventa *infinita* in uno spazio vuoto solo asintoticamente. Si tratta quindi effettivamente di un *infinito potenziale*. In questo contesto, il modello di caduta aristotelico risulta compendiato dai passaggi al limite esplicitati nella relazione (10), considerando dapprima la velocità in un mezzo resistente e poi immaginando di considerare il vuoto come mezzo di resistenza che tende a zero. Il punto di vista implicito nella trattazione galileiana corrisponde invece a modificare l'ordine logico delle operazioni: prima considerando lo spazio vuoto e poi valutando la velocità in esso.

Precisamente, riarrangiando l'espressione della velocità di caduta nella relazione (8) si ottiene

$$v(t) = \frac{mg}{k} \left(1 - e^{-\frac{kt}{m}} \right) + v_0 e^{-\frac{kt}{m}}. \quad (11)$$

Risolvere qualche limite notevole, per $k \rightarrow 0$ si ha

$$v(t) \approx \frac{mg}{k} \cdot \frac{kt}{m} + v_0 = v_0 + gt,$$

ottenendo una velocità (moto uniformemente accelerato) indipendente dalla massa. Pertanto, l'usuale legge di moto uniformemente accelerato nel vuoto, con conseguente velocità di caduta indipendente dalla massa, si può ottenere effettivamente per continuità rispetto al mezzo. Considerando l'ulteriore limite si ottiene

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} \lim_{k \rightarrow 0} v(t) = +\infty. \quad (12)$$

Come accennato, il modello di caduta galileiano risulta invece compendiato dai passaggi al limite esplicitati nella relazione (12), considerando dapprima la velocità nel vuoto e poi la velocità limite asintotica. In particolare, in entrambi i casi, sia nel modello aristotelico che in quello galileiano, la velocità di caduta diverge nel *vuoto*, ma soltanto quando il tempo cresce *all'infinito*. Le *divergenze d'opinione* sono allora da rilevarsi nell'ordine in cui è utilizzata la continuità. Prima rispetto al tempo e poi rispetto al mezzo per l'approccio aristotelico, mentre in quello galileiano si procede prima rispetto al mezzo e poi rispetto al tempo. Tra le proprietà delle funzioni continue compare proprio quella che assicura che l'ordine di passaggio al limite non è rilevante, e quindi è possibile scambiare l'ordine dei due limiti senza alterare il risultato finale. In questo senso, a meno di incertezze e incongruenze nei dettagli tecnici intermedi necessari per una piena giustificazione, i due modelli convergono sullo stesso risultato proprio

a causa della continuità, consentendo, alla luce di analisi matematiche più avanzate, una seppur parziale armonizzazione tra queste due descrizioni contrapposte dello stesso fenomeno naturale. La ricomposizione delle previsioni di questi diversi modelli di caduta ci ha portato a riguardare con più attenzione cosa possa o non possa essere considerato *fisicamente trascurabile*, portando alla questione più profonda del ruolo giocato dalla matematica nella descrizione della realtà. L'interrelazione continua tra matematica-fisica-realtà ci ha portato ad apprezzare la profondità dell'indagine scientifica della natura anche per un fenomeno così abituale come quello della caduta di un grave.

References

- E. Bellone. *Galileo e l'abisso. Un racconto*. Codice Edizioni, 2009.
- G. Galilei. *Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze*. 2009. URL <http://www.fmboschetto.it/didattica/DimostrazioniMatematiche.pdf>.
- L. Granieri. Mathematics is a science! *Science & Philosophy, Journal of Epistemology, Science and Philosophy*, 7(2):113–124, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.23756/sp.v7i2.488>.
- L. Granieri. Continua senza limiti. *Periodico di Matematiche, Mathesis*, 98(1-2): 45–62, 2022.
- T. Khun. *La Rivoluzione Copernicana*. Einaudi, 2000.
- I. Stewart. *I grandi problemi della matematica*. Einaudi, 2014.
- I. Stewart. *I numeri uno*. Einaudi, 2018.

Collimations & Quasi-coincidences: fuzzy points & fuzzy singletons

(Collimazioni e Quasi-coincidenze: punti e singoletti fuzzy)

Nicola Umberto Animobono*

*“as far as the laws of mathematics refer to reality, they are not certain;
and as far as they are certain, they do not refer to reality”*

A. Einstein

Abstract

In *fuzzy* set theory, the membership is a flexible, non-dichotomous relationship, whereby the concepts of *fuzzy point*, *element* and *singleton* are different from the corresponding definitions of ordinary sets. Furthermore, they are not consolidated and stable concepts. In the development of theory, these concepts, being *marginal*, have not been explored in depth: each author has limited himself to proposing definitions appropriate for his own purposes.

In this short note, we provide an overview of solutions adopted by various authors, as well as some terminological suggestions, hoping that someone will take up the baton.

Keywords: fuzzy point, fuzzy singleton, collimation, quasi-coincidence, median fuzzy set.*

Sunto

Nella teoria degli insiemi fuzzy l'appartenenza è una relazione flessibile, non dicotomica, per cui i concetti di punto, singoletto ed elemento fuzzy si discostano dalle corrispondenti definizioni degli insiemi ordinari. Inoltre,

*Retired, Independent scholar (Fabriano, Italy); nicolaumbertoanimobono@gmail.com.

non sono concetti consolidati e stabili. Nello sviluppo della teoria, questi concetti, essendo *marginali*, non sono stati approfonditi: ogni autore si è limitato a proporre definizioni opportune per le proprie finalità.

In questa breve nota, noi mostriamo una panoramica di soluzioni adottate dai vari autori, nonché alcuni suggerimenti terminologici, sperando che qualcuno raccolga il testimone.

Parole chiave: punto fuzzy, singoletto fuzzy, collimazione, quasi-coincidenza, insieme fuzzy mediano.[†]

1. Introduzione

Nell'esergo cito una ben nota e paradossale frase di Einstein: *la matematica, se esatta, non riflette la realtà; se aderisce alla realtà, non è precisa*. Negli anni, diversi autori (Pascal, Russell, Kolmogoroff, Shannon, Zadeh, Pawlak, ecc.) hanno tentato di regimentare la informazione *vaga*.

Allo scopo nel 1965 Zadeh [1] propone una nuova struttura matematica [2]: l'insieme **fuzzy**, reso in italiano con *sfocato* (Fadini) [3] o *sfumato* (Bellacicco) [4]. Egli sostituisce la *funzione caratteristica* χ , tipica degli insiemi ordinari, con la *funzione d'appartenenza* $\mu: \Omega \rightarrow I$ ($I = [0,1] \subseteq \mathbb{R}$), cioè allargando l'insieme dei valori (codominio) da $\{0,1\}$ a $[0,1]$.

Nella neonata teoria tutti i concetti sono stati sottoposti a fuzzificazione (*fuzzification*), così definita da Zadeh [5]: “*processo di accostare una struttura fuzzy a una definizione (concetto), teorema, o persino una intera teoria*”, detto *principio d'estensione* [6].

1.1 Appartenenza fuzzy

Moltissimi concetti ordinari trovano una *naturale* collocazione fuzzy, *alcuni* subiscono una *forzatura*: tra questi ultimi l'appartenenza, cioè la *correlazione* tra *elemento* ed *insieme*. Su questa fattispecie, in letteratura, abbiamo una ridondanza di definizioni e tutte risalenti agli albori della teoria, che condensiamo in questa nota, attraverso la cronistoria di *elemento*, *punto* e *singoletto*.

[†]Received on September 28, 2025. Accepted on December 20, 2025. Published on December 31, 2025.
doi: 10.23756/sp.v13i2.1714. ISSN 2282-7757; eISSN 2282-7765. ©Nicola Umberto Animobono. This paper is published under the CC-BY licence agreement.

Il *punto* era nato come idea *geometrica* (Euclide). Successivamente, con la teoria degli insiemi, “*punto di un insieme*” diventa sinonimo di “*elemento di un insieme*”, cioè un costituente dello scheletro dell’insieme, tanto che la odierna *General Topology* in precedenza era battezzata *Point-Set Topology*.

Il *singoletto* $\{x\}$ è un *insieme* costituito dal solo *elemento* x .

Comunque, a meno di isomorfismi, un singoletto e un singolo elemento sono spesso interpretati come *equivalenti*: “punto” sinonimo di “elemento”.

Queste quantità, nell’ambiente fuzzy, attendono ancora una adeguata collocazione teorica.

2. Preliminari

2.1 Insiemi

2.1.1 Insiemi ordinari o crespi

Ω	<i>universo di discorso,</i>
$\{x\}_{x \in X} = X$	<i>un insieme con i suoi elementi,</i>
$P(X)$	<i>insieme potenza di X (totalità sottoinsiemi),</i>
$\mathbb{R}$	<i>insieme numeri reali,</i>
$\mathbb{Z} = \{0, 1\} \subseteq \mathbb{R}$	<i>reticolo minimale di $\mathbb{Z}$,</i>
$\chi: \Omega \rightarrow \mathbb{Z}$	<i>funzione caratteristica di un insieme crespo,</i>
2^Ω	<i>cantoriano o totalità insiemi crespi,</i>
$I = [0, 1] \subseteq \mathbb{R}$	<i>intervallo reale unitario.</i>

2.1.2 Insiemi fuzzy

$\mu: \Omega \rightarrow I$	<i>insieme fuzzy,</i>
$\mu_\alpha = \{x \in \Omega \mid \mu(x) > \alpha\}$	<i>α-taglio forte di μ ($\alpha \in [0, 1[$),</i>
$\mu_\sigma = \{x \in \Omega \mid \mu(x) > 0\}$	<i>supporto di μ (o 0-taglio forte),</i>
$I^\Omega = Z(\Omega) = Z$	<i>zadehano o totalità insiemi fuzzy,</i>
$\mathbf{C}\mu(x) = 1 - \mu(x)$	<i>complemento di x in Ω.</i>

2.2 Punti e singoletti

2.2.1 Singoletti fuzzy

Zadeh [5] stesso fornisce la prima intuitiva definizione:

$x \in \Omega, \mu: \Omega \rightarrow I \Rightarrow \forall y \neq x \mu(y) = 0 ; y = x \mu(y) = \lambda \in]0, 1]$	<i>singoletto fuzzy,</i>
$\mathbf{S} = \mathbf{S}(\Omega)$	<i>totalità singoletti fuzzy su Ω.</i>

Goguen [7] limita il singoletto fuzzy al caso *crespo*:

$$x \in \{x\}, \mu: \Omega \rightarrow I \Rightarrow y \neq x \mu(y) = 0; y = x \mu(y) = 1$$

estendendolo all'intero supporto (universo di discorso), inteso come insieme fuzzy cantoriano:

$$A \subseteq \Omega, A^+: \Omega \rightarrow I \Rightarrow y \notin A A^+(y) = 0; y \in A A^+(y) = 1.$$

2.2.2 Punti fuzzy

Wong [8] introduce il *punto fuzzy* distinguendolo dal *singoletto fuzzy*:

$$x \in \Omega, \mu: \Omega \rightarrow I \Rightarrow \forall y \neq x \mu(y) = 0; y = x \mu(y) = \lambda \in]0,1[\quad \text{punti fuzzy;} \\ S^< = S^<(\Omega) \quad \text{totalità punti}$$

fuzzy.

La principale distinzione è tra i simboli $\leq$ e $<$ cioè il *punto fuzzy* è un sottoinsieme proprio del *singoletto fuzzy*.

Pu Pao-Ming & Liu Ying-Ming [9] unificano punti e singoletti fuzzy in modalità singoletto chiamandoli solo punti fuzzy, cioè:

$$x \in \Omega, \mu: \Omega \rightarrow I \Rightarrow \forall y \neq x \Rightarrow \mu(y) = 0 \\ y = x \Rightarrow \mu(y) = \lambda \in]0,1] \quad \text{punto fuzzy:}$$

punto fuzzy è un insieme fuzzy con supporto formato da un singoletto crespo (Pu&Liu).

2.3 Complemento fuzzy e dualità

$$x \in \Omega, \lambda \in]0,1] p = p_x(\lambda) \in S \Rightarrow \text{complemento punto fuzzy.}$$

$$\forall y \neq x \quad (\mathbf{C}(p))(y) = 1, \quad y = x \quad (\mathbf{C}(p))(y) = (1-\lambda).$$

Il punto fuzzy p fluttua nel suo complemento perdendo le sue linee di livello.

Il suo *duale* $\delta(p)$ suscita maggiore interesse.

$$p = p_x(\lambda) \Rightarrow \delta(p) = p_x(1-\lambda) \quad \text{punto fuzzy duale.}$$

2.4 Appartenenza a insieme fuzzy

Un altro concetto correlato al punto è la sua appartenenza a un insieme, cioè stabilire quando un punto fuzzy è in un insieme fuzzy e quando non lo è.

Wong propone, usando lo stesso simbolo ordinario $\in$

$$x \in \Omega, A: \Omega \rightarrow I, p = p_x(\lambda) \in S^< : p \in A \Leftrightarrow \lambda < A(x)$$

(nota: il simbolo $\in$ deve essere letto *ordinariamente* in $p \in S^<$ e *fuzzy* in $p \in A$).

Un punto fuzzy p è *elemento* di un insieme fuzzy A quando p è un sottoinsieme *proprio* di A ($p(x_p) < A(x_p)$) in x_p . È denotato con vari simboli: per non appesantire la scrittura preferiamo adottare, in assenza di ambiguità, il simbolo classico $\in$.

3. Coincidenze

3.1 Collimazioni

Dopo Wong and Pu Pao-Ming & Liu Ying-Ming, i punti/singoletto con lo stesso supporto necessitano un appropriato termine e il nostro intento è di chiamarli *punti fuzzy collimanti* (o *in sovrapposizione parziale fuzzy*) mentre, con differenti supporti, *punti fuzzy disgiunti* o *separati*.

3.2 Quasi-coincidenza

Pu Pao-Ming & Liu Ying-Ming [7] cambiano la descrizione di Wong introducendo un nuovo concetto: la *quasi-coincidenza*.

I punti fuzzy $p_1(x, \lambda_1)$ e $p_2(x, \lambda_2)$ (con lo stesso supporto x e rispettivi valori λ_1 e λ_2) sono detti:

$$\begin{aligned} \text{punti fuzzy quasi-coincidenti, denotati } \mathbf{q}: & \quad p_1 \mathbf{q} p_2, \Leftrightarrow \lambda_1 + \lambda_2 > 1; \\ \text{sua negazione, denotata } \neg \mathbf{q}: & \quad p_1 \neg \mathbf{q} p_2 \Leftrightarrow \lambda_1 + \lambda_2 \leq 1. \\ p \text{ quasi-coincidente con } A \text{ (} p = p_x(\lambda) \in S, A \in Z \text{):} & \quad p \mathbf{q} A, \Leftrightarrow p + A(p_s) > 1. \end{aligned}$$

3.3. Inclusione

- i) $A \in Z \Rightarrow A \neg \mathbf{q} \mathbf{C}A$;
- ii) $A \subseteq B \Leftrightarrow \forall x \in \Omega \ A(x) \leq B(x) \Leftrightarrow A(x) + 1 \leq B(x) + 1 \Leftrightarrow \alpha \text{ o } \beta$:
 - $\alpha) \quad A(x) + (1 - B(x)) \leq 1 \Leftrightarrow A(x) + \mathbf{C}(B(x)) \leq 1 \Leftrightarrow A \neg \mathbf{q} \mathbf{C}B$,
 - $\beta) \quad (-A(x) + 1) + B(x) \geq 1 \Leftrightarrow B(x) + \mathbf{C}(A(x)) \geq 1 \Leftrightarrow 1 \text{ or } 2$:
 - 1) $B(x) + \mathbf{C}(A(x)) > 1 \Leftrightarrow \mathbf{C}A \mathbf{q} B$,
 - 2) $B(x) + \mathbf{C}(A(x)) = 1 \Leftrightarrow \mathbf{C}(A(x)) = 1 - B(x) \Leftrightarrow \mathbf{C}A = \mathbf{C}B \Leftrightarrow A = B$ e per

i):

$$\Leftrightarrow \mathbf{C}A \neg \mathbf{q} B \quad \Leftrightarrow A \neg \mathbf{q} \mathbf{C}B.$$

3.4 Peculiarità

Nella teoria degli insiemi con la parola “insieme” sono associate pure le parole “sotto-insieme, sopra-insieme”. Similarmente noi usiamo “sotto-punto, sopra-punto” in armonia con “punto”. Chiamiamo *rango pre-cantoriano* il sottoinsieme $\{\lambda \in I \mid \lambda > \frac{1}{2}\}$. Posto l'insieme fuzzy costante $M : \Omega \rightarrow \{\frac{1}{2}\}$, detto insieme fuzzy *mediano* (*idempotente* col suo complementare: $M = \mathbf{C}M = M \cup \mathbf{C}M = M \cap \mathbf{C}M$, macroscopica differenza dagli insiemi ordinari dicotomici) *Shakhatreh & altri* [8] definiscono un insieme fuzzy F *quasi vuoto* oppure *quasi universale* quando $F \subset M$ o rispettivamente $F \supset M$.

Proposizione 1 Due punti fuzzy collimanti sono quasi-coincidenti sse il valore del *sovra-punto* appartiene al rango pre-cantoriano.

Dim. Per punti fuzzy collimanti p e s ($p_s = s_s$), con $p < s$ (e: $s^c = 1 - s$), risulta:

a) $s \in]0, s^c] \Rightarrow p + s \leq 1$,

b) $s \in]s^c, 1] \Rightarrow p + s > 1$.

Da: $s \leq s^c (= 1 - s) \Leftrightarrow s + s \leq 1 \Leftrightarrow 2s \leq 1 \Leftrightarrow s \leq \frac{1}{2}$,

risulta: $s \leq s^c \Leftrightarrow s \leq \frac{1}{2}$,

cioè: i punti collimanti p & s , con $p < s$, sono quasi-coincidenti sse $s > \frac{1}{2}$.■.

4. Conclusioni

Quando una nuova disciplina cresce, man mano che si sviluppa deve aggiustare i suoi obiettivi e uniformare la terminologia. Anche un concetto *marginale* deve sottostare a questo regime: ciò rafforza i suoi fondamenti e consolida la teoria.

In questa breve nota, senza proporre soluzioni integrative, abbiamo mostrato un argomento sviluppato, fin dalla nascita della teoria, non in modo univoco e da allora rimasto frammentario e sospeso in attesa di una formulazione unitaria.

Dichiarazioni

L'autore dichiara assenza di conflitti di interesse e di finanziamento alcuno.

Ringraziamenti

L'autore ringrazia editore e revisori per le *annotazioni* rilevate e per l'*accondiscendenza* nell'accogliere la stesura definitiva.

Bibliografia

- [1] Zadeh, L.A., Fuzzy sets, *Information & Control*, 8, 338 -353, 1965.
- [2] Ventre, A.G.S., Insiemi fuzzy: motivazioni e primi concetti, *Science & Philosophy*, 3 (2), 3-10, 2015.
- [3] Fadini, A., *Introduzione alla teoria degli insiemi sfocati*, Liguori, Napoli, 1979.
- [4] Bellacicco, A., La Bella, A. *Le strutture matematiche dei dati*, Feltrinelli, Milano, 1979.

- [5] Zadeh, L.A., A fuzzy-set-theoretic interpretation of linguistic hedges, *Memorandum N°. ERL-M335* (1 avril 1972), Electronics Research Laboratory, College of Engineering, University of California, Berkeley; appeared in: *Journal of Cybernetics*, 2 (2), 4-34, 1972; reprinted in: Yager, R.R., Ovchinnikov, S., Tong, R.M., Nguyen, H.T. (ed), *Fuzzy sets and Applications: Selected papers by L.A. Zadeh*, J. Wiley&Sons, N.Y., 1987 .
- [6] Dubois, D., Prade, H., *Fuzzy sets and systems Theory and applications*, Academic Press, N.Y., London, 1980.
- [7] Goguen, J.A., L-fuzzy sets, *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 8, 145-174, 1967.
- [8] Wong, C.K., Fuzzy Points and Local Properties of Fuzzy Topology, *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 46, 316-328, 1974.
- [9] Pu Pao-Ming and Liu Ying-Ming, Fuzzy Topology. I: Neighborhood Structure of a Fuzzy Point and Moore-Smith Convergence, *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 76, 571-599, 1980.
- [10] Shakhathreh MAH, Shatanawi WAA, Jaradat MMM, Fora AAA: On fuzzy partitions, *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 30 (4), 467-474, 2006.

From Experiment to Simulation: The Cartesian Error of Experience from Galileo to Turing

Alberto Bardi*

Abstract

This paper reexamines the Turing Test by placing it within the broader history of experimentation. Challenging views that link Turing to a continuous scientific tradition from Galileo, it argues that the Imitation Game marks a key epistemological break. Whereas Galileo used experiment to connect observation with mathematical order, and Descartes internalized experience as formal representation, Turing transformed experiment into simulation—producing meaning through formal operations alone. This shift reveals AI not as a recent innovation, but as the outcome of a rationalist tradition that displaces experience with computation. The paper critiques this legacy and calls for restoring experience as a central category of intelligibility.

Keywords: Turing Test; rationalism; experiment; simulation; epistemology of artificial intelligence[†]

* University of Turin, Department of Philosophy and Educational Sciences, via Sant’Ottavio 20 - 10124 Turin, Italy; alberto.bardi@unito.it.

[†] Received on October 21, 2025. Accepted on December 27, 2025. Published on December 31, 2025. doi: 10.23756/sp.v13i2.1717. ISSN 2282-7757; eISSN 2282-7765. ©Alberto Bardi. This paper is published under the CC-BY licence agreement.

1. Introduction

The Turing Test, introduced in 1950 in Alan Turing's essay "Computing Machinery and Intelligence," is commonly treated as a landmark in the philosophy of artificial intelligence. Yet, it is often analyzed as a self-contained problem in logic or behaviorism, detached from the longer philosophical and scientific traditions that inform it. This paper contends that such an ahistorical reading obscures the conceptual genealogy of Turing's proposal. The Imitation Game does not arise in isolation but emerges from a broader transformation in the epistemological function of experiment that spans from the seventeenth to the twentieth century.

The central claim advanced here is that Turing's thought experiment represents not the continuation of Galileo Galilei's experimental method, as some recent scholarship suggests (e.g., Gonçalves 2023), but rather the culmination of a Cartesian rationalism that gradually displaced lived experience by formal intelligibility. In Galileo, experiment remained a means of revealing the rational order of nature through mathematized observation. In Descartes, experience was internalized and subordinated to clear and distinct ideas; knowledge became a function of representation rather than encounter. In Turing, the notion of experiment is reconfigured once again: the logical machine becomes a device for simulating the conditions of intelligence itself. The progression from revelation to representation to simulation marks the historical trajectory of the reduction of experience to formal structure.

The argument unfolds in six sections. The first reconstructs Galileo's conception of mathematical experiment as an epistemic form grounded in sensory observation and idealization. The second examines Descartes's transformation of experience into representation, emphasizing Gian-Carlo Rota's critique of the Cartesian reduction of phenomenality. The third analyzes Turing's logical experiment and its redefinition of intelligence as a computable phenomenon. The fourth contrasts methodological parallelisms with epistemological ruptures between early modern rationalism and computational thought, arguing that the apparent continuity between Galileo and Turing is superficial. The fifth considers the philosophical consequences of this genealogy for understanding artificial intelligence today. Moving from historical reconstruction to systematic reflection on AI and epistemology, the sixth and final section reflects on the fate of experience in the context of contemporary AI and introduces the notion of "artificial intelligibility."

The analysis that follows adopts a genealogical rather than a linear historical approach. Its purpose is not to trace direct causal influence from Galileo to Turing, but to reconstruct a series of conceptual transformations in the relation between experience, reason, and

From Experiment to Simulation: The Cartesian Error of Experience from Galileo to Turing

intelligibility. The figures of Galileo, Descartes, and Turing are treated as paradigmatic articulations of distinct epistemic regimes—revelation, representation, and simulation—rather than as members of a continuous tradition. The argument therefore concerns the evolution of epistemic form, not the chronology of influence.

To situate the Turing Test historically is thus not to trace a chain of influence but to recover the questions that made its formulation intelligible. Without this reconstruction of problems, history becomes a mere sequence of discoveries rather than the unfolding of epistemic tensions. Moreover, any claim of continuity between early modern and computational epistemologies risks anachronism: it projects contemporary notions of information and simulation onto frameworks still structured by theology and teleology.

2. Galileo and the Mathematical Experiment

The modern conception of experiment begins with Galileo Galilei's fusion of empirical observation and mathematical reasoning. In Galileo's writings—particularly *Il Saggiatore* (1623) and *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (1638)—the experiment occupies a paradoxical position: it is both a sensory engagement with the world and a formal abstraction from it. The falling bodies experiment, for instance, is grounded in observation yet articulated through an idealized mathematical model that no physical trial could perfectly instantiate. Galileo's experiment thus functions not merely as a technical procedure but as an epistemic device mediating between the contingencies of experience and the universality of mathematical law (Palmieri 2009; Palmerino 2011).

This dual structure—empirical grounding and ideal abstraction—defines the Galilean revolution in epistemology. In rejecting Aristotelian empiricism, Galileo maintained that sense experience (*esperienza sensata*) was indispensable but insufficient. Experience required purification through geometry to yield intelligible knowledge. The experiment's role, therefore, was not to reproduce nature but to reveal its mathematical structure. This process exemplifies what Koyré (1943) called the “mathematization of nature”: the substitution of qualitative perception with quantitative relations. Yet, for Galileo, this substitution did not sever the bond between knowledge and experience. His experiments presupposed a world accessible to human perception and structured by rational order. Mathematical abstraction served as a means of approaching reality, not as its replacement.

In this respect, Galileo's experimental method remained anchored in what could be called an *epistemology of revelation*. Through measurement and controlled observation, the scientist disclosed an intelligible order already latent in nature. The mathematical

idealization was a window onto reality, not an autonomous construct. Even his celebrated *thought experiments*—such as the example of two stones connected by a string—were intended to make visible truths about the physical world that empirical experience only imperfectly conveyed. They presupposed the existence of a natural reality susceptible to mathematical interpretation.

Galileo's commitment to a rational cosmos also presupposed a theological dimension: the laws of nature reflected divine order rather than human construction. Turing's materialism, by contrast, evacuates this metaphysical background. The difference is not merely methodological but ontological—the passage from a world created by reason to a world created through reason itself.

This conception of experiment stands in contrast to later developments in early modern philosophy, where experience gradually loses its revelatory function. In Galileo, mathematics and experience form a dialectical unity: mathematics abstracts from the world in order to understand it more precisely. In Descartes, by contrast, mathematics becomes the ground of certainty itself, and experience is reinterpreted as a mode of mental representation. The Galilean scientist stands before nature as observer and interpreter; the Cartesian thinker constructs nature from within thought. The following section examines this transition, showing how Descartes's rationalism converts the external mediation of experiment into an internal operation of the mind—a transformation that marks the beginning of the epistemological trajectory culminating in Turing's logical formalism.

3. Descartes and the Error of Experience

The transformation of experiment that begins with Galileo reaches a decisive turning point in the philosophy of René Descartes. Whereas Galileo's mathematical method preserved an external relation to the natural world, Descartes redefined knowledge as an internal operation of thought. In his 1637 *Discours de la méthode* (Descartes 1985a) and the 1641 *Meditationes de prima philosophia* (Descartes 1985b), Descartes replaced empirical encounter with the certainty of clear and distinct ideas. The result was a reconfiguration of *experience* itself: no longer the foundation of knowledge, experience became the content of mental representation.

This epistemological shift rests on Descartes's dualistic ontology of *res cogitans* and *res extensa*. The knowing subject no longer participates in the world through embodied perception but apprehends it through ideas that stand in for external reality. Sense experience, fallible and variable, is subordinated to the intellect's power of formal reasoning. In this framework, experiment loses its Galilean function as mediation between observation and law. It becomes, instead, a demonstration of principles derived

From Experiment to Simulation: The Cartesian Error of Experience from Galileo to Turing

a priori from reason. The physical world is knowable not through its phenomenal givenness but through its mathematical structure, which can be grasped by the intellect alone (Descartes 1985b).

Descartes's physiology and optics illustrate this transformation. His *Dioptrique* describes vision as the transmission of mechanical signals to the brain, where the mind interprets them. The epistemic act occurs not in perception but in judgment; the world is translated into a system of signs deciphered by thought. This model of cognition inaugurates what Rota (1993, 133–145) calls the Cartesian error of experience. According to Rota, Descartes's philosophy replaces direct contact with the world by a symbolic mediation that equates understanding with representation. Experience becomes an operation on formal objects rather than a lived encounter with phenomena.

This "error" is not merely psychological or moral but ontological. By transforming experience into representation, Descartes detaches knowledge from the conditions of embodiment. The mind becomes a machine for manipulating symbols, and the world a field of extension governed by mathematical law. The Cartesian turn thereby initiates a mode of thought that conceives intelligibility as formal coherence rather than experiential adequacy. What was in Galileo a revelation of order within nature becomes, in Descartes, the construction of order within thought.

This Cartesian rationalism provides the metaphysical and epistemological background for later developments in logic and computation. The identification of cognition with rule-governed manipulation of signs finds its mathematical expression in the formal systems of Leibniz, Boole, and eventually Turing. The conceptual lineage is thus not one of method but of ontology: the reduction of knowledge to symbolic operation. Already in the early eighteenth century, Giambattista Vico had perceived this danger. In the 1744 edition of *Scienza Nuova*, Vico denounced what he called the "barbarism of reflection": the Cartesian belief that certainty arises from abstraction rather than from lived making (Vico 1984). Against the reduction of experience to formal representation, Vico proposed the principle *verum ipsum factum*—the true is what is made. Knowledge, for Vico, is inseparable from embodied practice and historical life. The epistemic inversion between Galileo and Descartes can be expressed in ontological terms. For Galileo, being grounds thinking: existence precedes intelligibility. For Descartes—and, later, for Turing—thinking grounds being (*cogito ergo sum*). This reversal marks the passage from experiment as revelation to simulation as creation.

4. Turing and the Logical Experiment

Alan Turing's conception of intelligence constitutes the final stage in the historical transformation of experiment traced thus far. In "Computing Machinery and Intelligence" (1950), Turing replaces the empirical test of nature with a logical experiment designed to investigate the conditions of intelligibility itself. The so-called Imitation Game is not an experiment in the Galilean sense—an observation of natural phenomena—but a formal construction in which behavior is simulated within an abstract, rule-governed domain. Its purpose is not to measure but to define what counts as "thinking."

The epistemological structure of this experiment follows from the mathematical foundations Turing had established in his earlier work, *On Computable Numbers* (1936). There, he introduced the concept of a "universal machine" capable of executing any effectively calculable procedure. The 1936 paper translated the intuitive notion of mechanical reasoning into a formal model of computation. In doing so, it extended the Cartesian project of identifying thought with rational operation. Just as Descartes grounded certainty in the clarity of ideas manipulated by the mind, Turing grounded intelligibility in the computability of procedures executed by a machine. In both cases, knowledge is defined not by contact with experience but by adherence to formal rules.

The Imitation Game radicalizes this logic. Rather than observing a phenomenon, it establishes a situation in which the distinction between human and machine intelligence is determined by symbolic performance alone. The experiment occurs entirely within language: an exchange of text-based messages whose meaning depends on syntax, not embodiment or perception. What Turing calls "thinking" thus becomes a property of a function—an equivalence class of symbol manipulating behaviors—rather than a manifestation of consciousness. The experiment's success lies not in reproducing cognition but in generating the illusion of its presence.

From an epistemological perspective, the Imitation Game exemplifies what may be termed a logical experiment: an operation that produces its own object of study through formalization. In contrast to Galileo's revelatory experiment, which discloses an external order, Turing's logical experiment constructs an artificial order governed entirely by rules. It is not an attempt to understand how minds think but to demonstrate that the distinction between human and machine can be rendered operational. This marks the culmination of the Cartesian "error of experience." Where Descartes translated experience into representation, Turing replaces representation with simulation.

In this sense, Turing's experiment signifies both a continuation and a rupture. It continues the rationalist ambition to capture intelligibility through formal means but ruptures the empirical grounding that had still persisted in early modern science.

From Experiment to Simulation: The Cartesian Error of Experience from Galileo to Turing

The Imitation Game transforms philosophy's oldest question—"what is thinking?"—into a problem of computation and indistinguishability. Intelligence, once conceived as the unity of rational and experiential life, becomes an effect of algorithmic process. The Cartesian subject is finally externalized: the mind as machine no longer needs to think; it only needs to act as if it did.

5. Continuities and Ruptures in Modern Rationality

Recent scholarship has occasionally suggested a methodological continuity between Galileo's mathematical experiments and Turing's logical experiment (e.g., Gonçalves 2023). Both, it is argued, deploy idealized models and thought experiments to articulate new forms of intelligibility. While this analogy is superficially attractive, it obscures a fundamental epistemological rupture. Galileo's experiments presuppose an external world governed by mathematical order and accessible through controlled observation. Turing's experiment, by contrast, constructs a formal domain in which the criteria of intelligibility are defined by internal consistency rather than empirical adequacy. The difference is not one of degree but of kind: between the revelation of law and the simulation of behavior.

The apparent continuity rests on a category mistake—confusing *methodological form* with *epistemological function*. Both Galileo and Turing employ thought experiments, but to opposite ends. For Galileo, abstraction clarifies empirical phenomena; for Turing, it replaces them. Galileo's *esperienza sensata* remains an act of disclosure: mathematics serves to make sense of the physical world. Turing's imitation game, conversely, suspends reference to the physical world altogether, creating an artificial setting in which performance substitutes for understanding. The epistemic function of the experiment is thus inverted.

Turing's explicit invocation of Galileo in the "theological objection" section of *Computing Machinery and Intelligence* should therefore be read rhetorically rather than epistemologically. His appeal to Galileo aligns him with the scientist who defied dogma, not with the thinker who disclosed nature's mathematical order. The analogy legitimizes intellectual rebellion but conceals a profound methodological rupture: Turing's experiment no longer seeks truth in the world but coherence within a formal system.

Descartes's philosophy explains this inversion. The Cartesian turn from experience to representation transformed the relation between thought and reality. In this framework, the validity of knowledge depends not on the immediacy of perception but on the coherence of ideas. Turing inherits this rationalist legacy through the mathematical

formalism of twentieth-century logic. The Imitation Game is Cartesian in structure even as it is Galilean in rhetoric. It mimics the language of experiment while internalizing its operation within a closed system of symbols. This combination of formalism and operationalism—the belief that intelligence can be instantiated by rule-governed manipulation—marks the culmination of the Cartesian “error of experience.”

Recognizing this rupture clarifies the historical and philosophical significance of Turing’s work. It is not the modernization of the Galilean experiment but its transformation into a new epistemic paradigm: *experiment as simulation*. This shift defines the logic of contemporary artificial intelligence. What Galileo achieved through observation and mathematical idealization, Turing accomplishes through symbolic construction. The world of experience is replaced by a world of computation.

This genealogical reinterpretation contributes to current debates on the epistemology of AI by reframing the question of continuity. The issue is not whether Turing’s thought experiment resembles Galileo’s, but how it redefines the very meaning of experiment in a culture of formal rationality. The novelty of this analysis lies in exposing the hidden Cartesian substrate of AI’s conceptual foundations. By tracing the Turing Test back to Descartes rather than Galileo, the argument demonstrates that artificial intelligence is not a technological rupture but the logical fulfillment of a philosophical trajectory that began with the internalization of experience.

6. The Fate of Experience in the Age of Artificial Intelligibility

The historical trajectory traced through Galileo, Descartes, and Turing reveals a profound transformation in the epistemic status of experience. From revelation to representation to simulation, experience moves from being the ground of intelligibility to being progressively displaced by formal structure. In Galileo, mathematics illuminates the order of nature through sensory observation. In Descartes, knowledge becomes a property of mental representation, and the world is recast as the object of thought. In Turing, the process reaches completion: the experiment ceases to refer to experience at all, becoming instead a procedure that produces intelligibility through computation.

This transformation defines the condition of what may be called artificial intelligibility—the mode of understanding that characterizes contemporary AI. In the logic of machine learning and large-scale computational systems, knowledge no longer emerges from the interaction between subject and world but from the manipulation of data within autonomous formal architectures (Floridi 2019; Crawford 2022). The

From Experiment to Simulation: The Cartesian Error of Experience from Galileo to Turing

epistemic object of AI is not the world as experienced but the world as encoded. This is the culmination of the Cartesian “error of experience” identified by Rota (1993): the belief that understanding can be derived from formal coherence alone. The computational paradigm replaces the immediacy of encounter with the efficiency of simulation, a process intensified by the epistemic opacity of computational systems (Humphreys 2004; Leonelli 2016).

Contemporary developments in artificial intelligence illustrate the continuing significance of this shift from experience to formal structure. Large language models and so-called foundation models operate by extracting statistical regularities from vast corpora of encoded data, thereby exemplifying the mode of artificial intelligibility grounded not in perceptual encounter but in patterned abstraction (e.g. Bender and Koller 2020; Bommasani et al. 2021). Even the long-standing debate between symbolic and subsymbolic approaches to AI—often framed as a contest between logic and learning—remains within the Cartesian framework of cognition as rule-governed manipulation, whether executed over symbols or over statistical parameters (Ilkou and Koutraki 2020). These contemporary developments thus exemplify, rather than transcend, the epistemic trajectory traced from Descartes to Turing, in which intelligence becomes increasingly defined by the internal operations of formal systems rather than by embodied experience.

Recognizing this genealogy has direct philosophical consequences. Contemporary debates on AI often oscillate between enthusiasm for technological achievement and anxiety about the loss of human uniqueness, a tension exemplified in works such as Bostrom (2014). Yet both responses remain captive to the Cartesian framework that opposes mind to matter and reduces cognition to rule-following—a framework that continues to inform much of contemporary AI even in its most sophisticated computational manifestations. Historicizing the Turing Test reveals that this framework is not inevitable but historically contingent. The formalization of intelligence was not a discovery but a construction—a redefinition of knowledge that privileges operation over perception. To the extent that AI continues to embody this conception, it perpetuates rather than transcends the epistemology of modern rationalism.

Understanding the fate of experience in this context therefore requires more than technical critique; it demands philosophical self-awareness. The problem is not that machines cannot think, but that human thinking has come to be modeled on the machine. The imitation game is no longer confined to the test Turing proposed; it has become the paradigm of cognition itself. Restoring the dimension of experience to the discourse on intelligence means questioning the very notion of intelligibility that underwrites contemporary AI (Marcus and Davis 2019; Mitchell 2019). Artificial intelligibility therefore names not a property of machines but the epistemic framework within which

their operations are taken to constitute understanding, often independently of experiential grounding. This is not an antiquarian gesture but a critical task: to recall that knowledge, before it became formal, was always experiential.

Although metaphors of mind have changed historically, computational metaphors do more than describe cognition—they shape it. With Turing, experience is no longer the foundation of intelligibility; instead, formal structure and symbolic manipulation become the criteria of what is considered meaningful or knowable. Thus, even as metaphors shift, the computational paradigm redefines the very terms in which experience and intelligence are conceptualized (Hayles 2005; Chun 2016). This shift does not deny the value of formal models in analyzing or representing experience. Rather, it marks a profound reconfiguration of the epistemic status of experience itself. In moving from Galileo, where mathematics illuminates experience, to Turing, where simulation replaces experience, we see a displacement: experience becomes secondary to the operation of formal systems. While fields such as embodied cognition and affective computing seek to re-center experience (Thompson 2007; Clark 2016; Gallagher 2017), the dominant logic of AI remains grounded in encoded rather than lived data.

The Turing Test, though pragmatic in intent, thus redefines what it means to experiment and what it means to know. By focusing on behavioral outputs within a formal system, it embodies a Cartesian approach: privileging operational coherence over experiential reality. Even if Turing aimed to avoid metaphysics, the philosophical consequence of his proposal has been the transformation of experimentation from a means of uncovering experiential truths to a simulation that takes place entirely within a symbolic domain.

AI has undoubtedly expanded our conception of intelligence, allowing us to imagine non-human and non-biological forms of cognition. Yet this expansion often occurs within a framework that continues to privilege formal, rule-governed operations—a legacy of the Cartesian and Turingian paradigm. While it is important to recognize the plurality of intelligences, the concern remains that as long as intelligence is defined through computational or operational criteria, the richness of experience—once the foundation of intelligibility—will be marginalized. The goal is not to deny non-human intelligence, but to recall that intelligibility was once rooted in experience, not only in formalism.

Acknowledgements

An earlier version of this paper was presented as an invited lecture on May 31, 2024, at the Tsinghua Laboratory of Brain and Intelligence Seminar Series (THBI-SS). I express my gratitude to Carlo V. Cannistraci and the audience for their valuable feedback and

From Experiment to Simulation: The Cartesian Error of Experience from Galileo to Turing

critique. I sincerely appreciate the thoughtful feedback and constructive criticism provided by the anonymous reviewers of this manuscript. My thanks also go to Daniele Marini, Eugenio Omodeo, and Wilfried Sieg for their perceptive comments and informed objections.

The preliminary research for this paper was conducted within the framework of the project *The Cross-Cultural History of Artificial Intelligence in China and the West/ 人工智能的中西跨文化史研究*, supported by the Tsinghua University Initiative Scientific Research Program (Grant No. 2024THZWJC06). The completion of this paper was made possible through a Grant for Internationalization (BARAL_GFI2_25_01_F) awarded by the Italian Ministry of Universities and Research (MUR) via the Department of Philosophy and Educational Sciences of the University of Turin.

References

- Bender, E. M., & Koller, A. (2020). Climbing towards NLU: On meaning, form, and understanding in the age of data. *Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, 5185–5198.
- Bommasani, R., Hudson, D., Adeli, E., Altman, R., et al. (2021). On the opportunities and risks of foundation models. arXiv:2108.07258.
- Bostrom, N. (2014). *Superintelligence: Paths, dangers, strategies*. Oxford University Press, Oxford.
- Chun, W. H. K. (2016). *Updating to remain the same: Habitual new media*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Clark, A. (2016). *Surfing uncertainty: Prediction, action, and the embodied mind*. Oxford University Press, Oxford.
- Crawford, K. (2022). *The atlas of AI: Power, politics, and the planetary costs of artificial intelligence*. Yale University Press, New Haven, CT.
- Descartes, R. (1985a). Discourse on the method. In J. Cottingham, R. Stoothoff, & D. Murdoch (eds.), *The philosophical writings of Descartes*, vol. 1, 111–151. Cambridge University Press, Cambridge.
- Descartes, R. (1985b). Meditations on first philosophy. In J. Cottingham, R. Stoothoff, & D. Murdoch (eds.), *The philosophical writings of Descartes*, vol. 2, 1–62. Cambridge University Press, Cambridge.

- Floridi, L. (2019). *The logic of information: A theory of philosophy as conceptual design*. Oxford University Press, Oxford.
- Galilei, G. (1623). *Il saggiaiore*. Giacomo Mascardi, Rome.
- Galilei, G. (1638). *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*. Elsevier, Leiden.
- Gallagher, S. (2017). *Enactivist interventions: Rethinking the mind*. Oxford University Press, Oxford.
- Gonçalves, B. A. (2023). Galilean resonances: The role of experiment in Turing's construction of machine intelligence. *Annals of Science* 81(3), 359–389. <https://doi.org/10.1080/00033790.2023.2234912>
- Hayles, N. K. (2005). *My mother was a computer: Digital subjects and literary texts*. University of Chicago Press, Chicago.
- Humphreys, P. (2004). *Extending ourselves: Computational science, empiricism, and scientific method*. Oxford University Press, Oxford.
- Ilkou, E. & Koutraki, M. (2020). Symbolic Vs Sub-symbolic AI Methods: Friends or Enemies?. In S. Conrad & I. Tiddi (eds.), *Proceedings of the CIKM 2020 Workshops co-located with 29th ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM 2020)*, Galway, Ireland, October 19-23, 2020. <https://ceur-ws.org/Vol-2699/paper06.pdf>
- Koyré, A. (1943). Galileo and Plato. *Journal of the History of Ideas* 4(4), 400–428. <https://doi.org/10.2307/2707166>
- Leonelli, S. (2016). *Data-centric biology: A philosophical study*. University of Chicago Press, Chicago.
- Marcus, G., & Davis, E. (2019). *Rebooting AI: Building artificial intelligence we can trust*. Pantheon, New York.
- Mitchell, M. (2019). *Artificial intelligence: A guide for thinking humans*. Farrar, Straus and Giroux, New York.
- Palmieri, P. (2009). A phenomenology of Galileo's experiments with pendulums. *The British Journal for the History of Science* 42(4), 479–513. <https://doi.org/10.1017/S0007087409990033>

From Experiment to Simulation: The Cartesian Error of Experience from Galileo to Turing

Palmerino, C. R. (2011). Galileo's use of medieval thought experiments. In K. Ierodiakonou & S. Roux (eds.), *Thought experiments in methodological and historical contexts*, 101–125. Brill, Leiden.

Rota, G.-C. (1993). *Pensieri discreti*. Garzanti, Milan.

Thompson, E. (2007). *Mind in life: Biology, phenomenology, and the sciences of mind*. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, MA.

Turing, A. M. (1936). On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society* s2-42(1), 230–265. <https://doi.org/10.1112/plms/s2-42.1.230>

Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind* 59(236), 433–460. <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>

Vico, G. (1984). *The New Science* (T. G. Bergin & M. H. Fisch, Trans.). Cornell University Press, Ithaca.

Formazione dei docenti e *Bildung*: proposta teorica di un quadro di riferimento (Teacher Training and *Bildung*: Theoretical Proposal for a Framework)

Tullio Aebischer*

Abstract

Teaching diagrams will be introduced as an extension of Develay's teaching triangle, both to highlight teacher self-development and to correlate them with the categories of the *Mathematical Knowledge for Teaching* (MKT) framework. These diagrams and MKT are then contextualized within the philosophical-pedagogical framework of German Neohumanism (18th-19th centuries) and Gadamer's hermeneutics (20th century). This will constitute the proposed coordinated framework for teacher self-development, called BMDD.

Keywords: teacher self-development; *Bildung*; *Mathematical Knowledge for Teaching*; Teaching diagrams.

Sunto

Si introdurranno i diagrammi didattici come ampliamento del triangolo didattico di Develay sia per evidenziare l'attività di auto-formazione del docente[†] sia per correlarli alle categorie del quadro di riferimento della *Mathematical Knowledge for Teaching* (MKT). I suddetti diagrammi e la MKT sono, poi, contestualizzati nel quadro di riferimento filosofico-pedagogico della *Bildung* del Neumanesimo tedesco (XVIII-XIX sec.) e

* Ph.D. School, Dip. di Matematica (Università di Roma Tor Vergata, Roma, Italia); aebischer@mat.uniroma2.it; aeb5tul@gmail.com; ORCID 0009-0004-8102-1985.

con l'ermeneutica di Gadamer (XX sec.). Il tutto costituirà la proposta di quadro di riferimento coordinato per l'auto-formazione del docente denominato BMDD.

Parole chiavi: auto-formazione docente; *Bildung*; *Mathematical Knowledge for Teaching*; diagrammi didattici.[‡]

1. Premessa

La realtà dell'insegnamento si configura come un sistema complesso difficile da inquadrare in una 'teoria del tutto', come si direbbe in ambito fisico. Per poterne, comunque, affrontare lo studio si utilizzano vari quadri di riferimento con lo scopo di semplificare il sistema in sottosistemi connessi per identificare meglio le variabili, le relazioni, e progettare la fase sperimentale [Iori, 2016]. Dalla riflessione su quanto analizzato con la *Grounded Theory* nei questionari compilati dai partecipanti ai moduli svolti dall'Autore per i corsi di abilitazione di matematica, ossia formazione degli insegnanti *pre-service*, si è ritenuto necessario costruire un nuovo quadro di riferimento.

In letteratura si documenta la formazione dei docenti in connessione con l'attività in classe e sui problemi psicologici degli studenti [Radford, 2014]. Nessun pregiudizio su tale visione, ma si ritiene di dover considerare a monte una formazione dei docenti indipendente da come avverrà e si affronterà la trasposizione didattica degli argomenti matematici. Si ritiene questa impostazione utile per analizzare un'auto-formazione che non mi dica in prima istanza cosa fare in classe (educazione), ma che mi fa essere (formazione) per poter andare in classe [Gadamer, 2000] in maniera più efficace. Con tale punto di vista si vuole capovolgere il paradigma 'la scuola è formata dal docente' in quello che 'il docente è la scuola'.

In quanto si dirà, ci si muoverà nell'ambito della formazione dei docenti di matematica della Secondaria di I Grado per affrontare la questione, esperita dall'Autore come docente, della diversa sensibilità nei confronti della matematica stessa. Infatti, rispetto alle classi di concorso di matematica della Secondaria di II Grado, a quella di Matematica e Scienze della Secondaria di I Grado vi si può accedere con una quarantina di percorsi universitari diversi. Apprezzando, comunque, la varietà di esperienze

[†] Per non appesantire la lettura si è scelto di usare il genere dell'Autore intendendo prendere in considerazione entrambi a meno che ne sia necessaria la distinzione. Lo stesso si è fatto per la figura dello studente.

[‡] Received on October 25, 2025. Accepted on December 20, 2025. Published on December 31, 2025. doi: 10.23756/sp.v13i2.1719. ISSN 2282-7757; eISSN 2282-7765. ©Tullio Aebischer. This paper is published under the CC-BY licence agreement.

formative, un approccio condiviso ai concetti matematici da insegnare e non sugli argomenti, renderebbe più agevole coordinarsi per la progettazione di attività in comune. Proprio in tal senso la suddetta analisi dei questionari ha evidenziato come sia innata in molti partecipanti la continua propensione a ciò che deve svolgersi in classe come se si dovesse seguire un protocollo preordinato. Molto bassa, invece, è la propensione a una consapevolezza dei concetti matematici per essere protagonisti della trasposizione didattica in classe.

Nella formazione dei docenti, sia di quelli *pre-* che quelli *in-service*, si ritiene fondamentale una preparazione non solo in matematica e in didattica della stessa, ma anche in epistemologia della matematica. I motivi che supportano questa affermazione sono due: culturale e professionale. Il primo sta nella figura stessa del docente che, per prima cosa, deve operare una trasposizione didattica del sapere accademico in sapere insegnato tenendo conto delle caratteristiche scolastiche degli studenti e come deve comunicare tale sapere. Il secondo sta nel fatto che gli ostacoli chiamati epistemologici richiedono, per essere aggirati o risolti, una profonda consapevolezza e conoscenza dei concetti stessi. Per non rendere la matematica una disciplina dell'Empireo, una buona competenza epistemologica si basa su una di tipo storico, dato che i due aspetti si devono considerare profondamente intrecciati [D'Amore, 2004].

Se i suddetti motivi si possono vedere come *interni* al docente, dal punto di vista *esterno* si deve considerare che in una società ad alta intensità di conoscenza, dove scienza e tecnologia rivestono un ruolo di primo piano, la facilità di accesso all'informazione, verificata e non, amplifica il rischio di formarsi credenze errate. Di qui il compito della scuola di formare cittadini epistemicamente competenti che sappiano agire in modo responsabile all'interno degli ecosistemi informativi in cui vivono. Per tale motivo vi deve essere una trasposizione didattica delle discipline scientifiche finalizzata a far emergere anche la loro sintassi [Tombolato, 2023].

Il quadro di riferimento che si proporrà non ha lo scopo di indicare quali argomenti considerare e in che modo presentarli, ma di descrivere un ambiente di auto-formazione storico-epistemologico-tecnico che sia un utile e condiviso *habitus* mentale di discussione e progettazione. L'idea fondante è di separare, senza scollegare, il concetto di formazione da quello di educazione per considerare a sé la figura del docente prima che interagisca con la classe. L'obiettivo primario è di migliorare e/o trasformare la consapevolezza che si ha della matematica [Dossey, 1992] andando al di là della conoscenza tecnica e per fare propri i significati dei concetti matematici considerandone lo sviluppo storico-filosofico. Inoltre, si rende necessario un quadro di riferimento operativo che identifichi la conoscenza che si va a formare e migliorare il più ampio contesto disciplinare-pedagogico. Il quadro di riferimento coordinato che si descriverà

ha le caratteristiche di una teoria in didattica della matematica per la formazione dei docenti [Prediger *et al.*, 2008].

In Figura 1 si sono schematizzate le relazioni tra i vari nuclei fondanti presi in considerazione per il nuovo quadro di riferimento evidenziando la centralità dell'auto-formazione del docente. La proposta che si descriverà sarà denominata quadro di riferimento coordinato BMDD dalle iniziali dei quattro nuclei fondanti: *Bildung*, *Mathematical Knowledge for Teaching* (MKT), Diagrammi didattici e Docente.

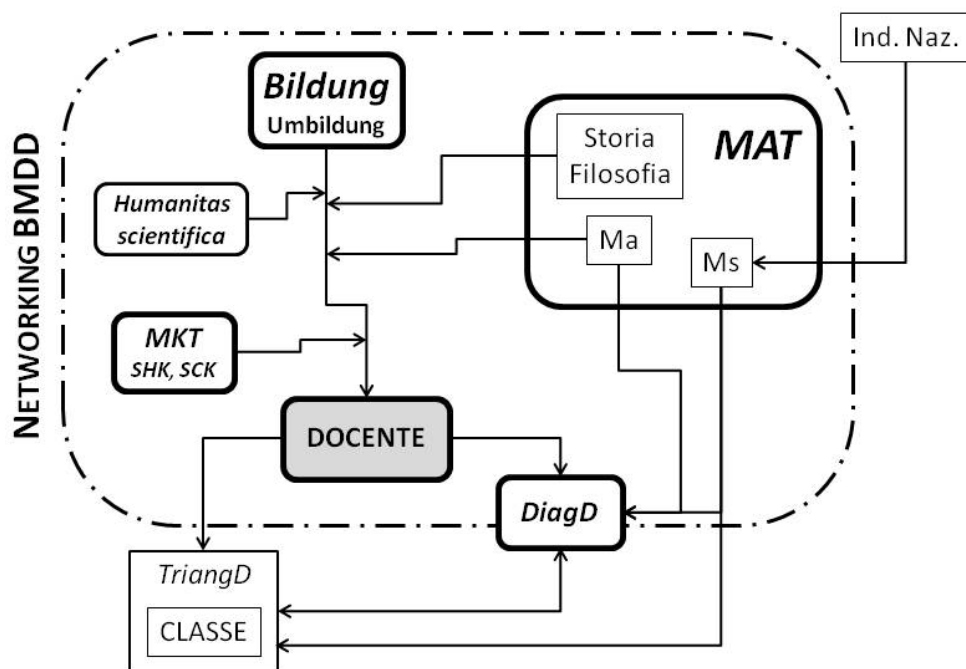


Figura 1. Schema del quadro di riferimento coordinato BMDD (elaborazione dell'Autore).

Per una comprensione d'insieme le sigle presenti in Figura 1 hanno i seguenti significati:

- *Ma*: matematica accademica che ha l'obiettivo di far avanzare la conoscenza matematica senza preoccuparsi di tenere memoria del processo ideativo e costruttivo della teoria, e con la sola necessità di dimostrare la validità del risultato;
- *Ms*: matematica scolastica che focalizza la sua attenzione sul processo tecnico ed epistemologico che ha portato alla dimostrazione finale, cogliendo come

possibili spunti didattici, in funzione metacognitiva, errori, critiche, persino percorsi che non hanno portato a risultati;

- *Storia e Filosofia*: costituiscono la matematica come disciplina non solo scientifica, ma anche culturale, umanistica;
- *Humanitas scientifica*: approccio umanistico-scientifico propugnato da F. Enriques (1871-1946) all'inizio del XX sec;
- *Ind. Naz.*: documentazione che in un sistema d'istruzione permette di enucleare dalla matematica accademica gli argomenti compatibili con il grado scolastico preso in considerazione. In Italia si chiamano *Indicazioni Nazionali* [MIUR, 2012];
- *MKT*: quadro di riferimento della *Mathematical Knowledge for Teaching* e le due categorie più connesse al quadro di riferimento proposto;
- *TriangD*: Triangolo didattico di M. Develay (1943-);
- *DiagD*: i proposti Diagrammi didattici.

2. I motivi della scelta

Il considerare l'ambiente filosofico-pedagogico tedesco deriva dal fatto che la ricerca sulla storia dell'insegnamento e dell'apprendimento della matematica costituisce un campo, da un lato, con una notevole tradizione e, dall'altro, con recenti rapidi sviluppi. Infatti, durante il XIX sec. erano già stati pubblicati numerosi studi, i più noti dei quali, finora, provenivano dalla Germania. Uno degli obiettivi di queste pubblicazioni era la storia dell'insegnamento della matematica in specifiche scuole. La prima pubblicazione risale al 1843 e valutava l'evoluzione del curriculum di matematica dalle riforme illuministiche a quelle del Ginnasio prussiano [Schubring, 2014]. Studi precedenti risalgono agli inizi del XIX sec. con la riforma del sistema educativo da parte di W. v. Humboldt (1767-1835) nel 1810 [Gellert *et al.*, 2019].

L'attenzione alla didattica dell'area tedesca è supportata dalla sua propensione alle analisi e specificazioni epistemologicamente sensibili dei contenuti matematici, e agli aspetti pedagogici che si ritrovano nella *Mathematical Knowledge for Teaching* di Shulman [1986] [Pepin, 2009; Prediger & Erath, 2014].

In relazione a quanto detto, si è iniziato a considerare l'Umanesimo in generale a seguito dell'esplicito riferimento che se ne fa nelle *Indicazioni Nazionali* italiane nel paragrafo 'Per un nuovo Umanesimo'. Si evidenzia, però, che nel suddetto paragrafo si descrive un Umanesimo che ruota intorno all'Uomo proteso all'interazione con la realtà per operare con le varie discipline e tematiche. Quasi nulla si prospetta sulla necessità di una trasformazione interiore dello studente, e quindi del docente, affinché l'atto

didattico non sia solo una trasmissione di nozioni, ma anche un sentire profondo del docente mirato a cogliere i significati epistemologici dei concetti matematici.

L'attenzione alla pedagogia tedesca nasce anche da alcune considerazioni storiche specifiche della realtà italiana.

F. De Sanctis (1817-1883) propose di ispirarsi al modello tedesco per la formazione dei docenti secondari. L'urgenza della formazione dei docenti fu segnalata anche dal ministro Matteucci nel 1862, quando al Senato si domandava perché non importare il modello delle scuole normali attuato in Francia e in Prussia [Monsagrati, 2013]. Infatti, in Germania la politica di formazione dei docenti iniziò già verso la fine del XVII sec. a opera di A.H. Francke (1663-1727) istituendo le *Fondazioni Francke* (1698; *Franckesche Stiftungen*) e i *Seminarium praeceptorum*.

La legge Casati (1861) sull'istruzione, fondamento dell'ordinamento scolastico italiano dall'Unità alla riforma Gentile (1923), si ispirò al modello prussiano sia nell'impianto generale che nel sistema organizzativo gerarchizzato e centralizzato [Morandi, 2014].

Un'altro confronto con il modello tedesco fu del direttore della Normale di Pisa prof. P. Villari (1827-1917) che dopo la sua nomina (1862) si recò in Germania e in Inghilterra dove fu favorevolmente colpito dai metodi d'insegnamento e dai contenuti dei corsi di formazione dei docenti.

Si ricorda, infine, come nell'Italia nord-orientale rimase l'influenza della pedagogia tedesca fino agli anni Venti del XX sec. resistendo all'adeguamento dei programmi d'insegnamento della matematica dopo la Grande Guerra (1918-1923). Gli insegnanti triestini, pur di sentimenti italiani, rimasero fedeli alle concezioni didattiche e pedagogiche che avevano sviluppato nel corso dei loro studi nelle Università austriache e che avevano applicato proficuamente nella pratica scolastica [Zuccheri & Zudini, 2012].

Il movimento filosofico-pedagogico tedesco con al centro la *Bildung* lo si considererà l'ambiente di riferimento per l'auto-formazione dei docenti [Broccoli, 2024]. Infatti, si desidera interpretare la didattica come scienza che non si occupa solo di 'che cosa fare' nel corso dei processi di educazione e istruzione, ma anche di 'come essere' negli stessi percorsi formativi [Gennari, 2002].

3. Neumanesimo tedesco e la *Bildung*

Le grandi categorie storiche su cui l'Occidente ha costruito il suo profilo umanistico e che formano un *fil rouge* che porta alla *Bildung* del Neumanesimo tedesco sono la *paideia* greco-classica, l'*humanitas* romano-latina, la *perfectio* cristiano-medioevale e la *dignitas hominis* umanistico-rinascimentale. Esse si identificano con le rispettive

periodizzazioni dell'epoca greco-classica, romano-latina, cristiano-medioevale e umanistico-rinascimentale che fanno da sfondo alla storia dell'Europa. Da questo punto di vista, il rapporto tra la storia della formazione, non intesa come creazione e/o nascita, dell'Uomo e del singolo individuo è un legame strutturale [Sola, 2018].

Le prime attestazioni del termine *Bildung* si ritrovano nella filosofia medioevale tedesca in uno dei sermoni di Meister Eckhart (1260-1327) [Gennari, 2014]. Ogni persona ha la sua originarietà formativa (*Urbildung*) evidenziando il concetto essere-differente. Con tale visione la pedagogia deve costruire un dialogo interdisciplinare per rafforzare il legame tra le scienze dello spirito (*Geisteswissenschaften*) e le scienze della natura (*Naturwissenschaften*). Questo dialogo interdisciplinare si deve attuare nell'Uomo come una trasformazione che si espliciti in un processo dinamico. Un processo dinamico nel quale l'attività formativa non deve fare *tabula rasa* di quanto appreso, ma deve avere come obiettivo il miglioramento conservando una personalità acquisita (*Urbildung*). La perfezione non è più in qualche luogo dell'ancestrale passato, ma nel percorso per conseguire nuove conoscenze. Tale atteggiamento si evidenzia nei saperi e nelle scienze con le quali l'Uomo prova a comprendere sé stesso e la realtà che lo circonda in un continuo dinamismo gnoseologico.

Focalizzandoci sulla *Bildung* del Neoumanesimo tedesco, l'ultimo grande umanesimo europeo, la stagione classico-romantica dell'area tedesca (attuali Germania, ex Prussia, Svizzera e Austria) si inserisce in quello che viene denominato il *Grande Secolo Tedesco* (1750-1850) o *Weimarer Klassik* o *Deutsche Klassik* o *Sturm und Drang* o *Frühromantik*, ma soprattutto *Goethezeit* [Gennari, 2023]. Sintomatico di questo periodo è quanto J.W. v. Goethe (1749-1832) scrisse a F. Schiller (1759-1805) nella lettera del 19 dicembre 1798: *mi è odioso ciò che mi istruisce solo, senza accrescere o vivificare la mia attività*.

Durante l'Illuminismo tedesco (*Aufklärung*) di fine XVIII sec. il filosofo e letterato tedesco J.G. Herder (1744-1803) propose come ideale supremo la formazione dell'Umanità con la sua opera *Ancora una filosofia della storia della Bildung dell'Umanità* (*Auch eine Philosophie der Geschichte zur Bildung der Menschheit*, 1774). Questa formazione è guidata dalla motivazione (*Vernunft*) che denota volontà e dinamismo. Se negli scritti di Meister Eckhart si intravedono alcune caratteristiche del concetto della *Bildung*, sarà Herder a utilizzare questo termine in modo estremamente simile alla modalità descritta nel pensiero del primo Hegel. Herder, infatti, qualifica la *Bildung* come una prassi, dandole il significato di formazione dell'individuo e al contempo del mondo da lui abitato, rispetto a scopi che si definiscono con lo svolgersi del processo stesso. La ragione, caratteristica distintiva dell'Uomo, diviene lo strumento per illuminare i processi conoscitivi. Entro tale orizzonte gnoseologico la *forma mentis*

umana si trasforma, sia nel campo filosofico che scientifico, in modo che il mondo, la Natura, l'Uomo siano osservati secondo una cultura della critica. L'individuo come unità, ma aperto alla molteplicità del mondo, si collega al diffondersi negli ambienti tedeschi di quegli anni dell'ideale romantico che si interessa alla tradizione del viaggio di formazione (*Wanderung*). Il viaggio di formazione può essere materiale, ossia un vero viaggio come fecero molti intellettuali specie in Italia, o metaforico o intellettuale, p. es. un corso di dottorato, dove lo spirito dell'Uomo (*Geist*) vi assume un ruolo preminente sia nella vita che nelle modalità d'interpretazione della realtà.

Anche il contemporaneo Humboldt riflette sul concetto della *Bildung* con il suo frammento *Teoria della Bildung dell'Uomo* (*Theorie der Bildung des Menschen*, 1793/1794) [Humboldt, 1793/1794; Östling, 2018] distanziandosi da Herder sul ruolo dello Stato nella formazione dell'individuo [Heidt, 2015]. Infatti, se Herder assecondava un ruolo attivo dello Stato nel processo della *Bildung* che coinvolge il singolo, Humboldt, al contrario, ritiene che lo Stato si debba il più possibile astenersi dall'agire, data la sua completa ignoranza riguardo a cosa sia meglio per l'individuo. In coerenza con tale finalità, Humboldt, come poi farà anche G.W.F. Hegel (1770-1831), accosta il concetto della *Bildung* a quello della finalità interna di stampo kantiano. Per I. Kant (1724-1804), infatti, tutto ciò che il vivente fa è in vista di uno scopo, ma per non avvalorare una visione escatologica introduce il concetto di finalità interna, ossia il vivente avrà come fine quello di diventare pienamente e autenticamente sé stesso. L'accostamento operato da Humboldt tra *Bildung* e finalità interna kantiana risulta efficace perché rende la dinamicità del processo di formazione del singolo, dinamicità stessa del vivente. Questa dinamicità è qualcosa di fluido nel senso che è in grado di permanere identico a sé stesso pur nel suo divenire continuamente qualcosa di altro da sé: il sé che si trasforma in un altro sé, per poi essere riconosciuto come sé autentico perché fatto proprio. Per Humboldt, quindi, il processo di formazione è il fine stesso dell'individuo che esperisce tale processo che deve essere coltivato lungo tutta la vita [Miyamoto, 2022].

L'ideale di formazione della *Bildung* è un'immagine dell'uomo positiva, volta alla valorizzazione della diversità individuale e avversa a ogni costituzione che voglia uniformare, appiattendolo le singole personalità [Conti, 2021]. Il punto fondamentale è sempre l'attenzione verso la libertà, l'autonomia, la specificità dell'individuo. Perché se la pienezza dell'umanità scaturisce solo dalla pura forza dei diversi individui, allora dalla diversità, dalla singolarità degli individui dipende il senso stesso di umanità.

Le riflessioni di Humboldt definiscono la differenza tra *Bildung* e *Kultur*. Mentre questo ultimo termine sarà sempre più utilizzato per indicare l'educazione delle facoltà, i talenti, quindi l'acquisizione di abilità, il termine *Bildung*, invece, indicherà la

Formazione dei docenti e la Bildung: il quadro di riferimento BMDD

'formazione' in senso originario, quella dimensione di apertura di senso a partire dalla quale e solo dentro la quale ogni *Kultur* può pienamente attuarsi. La *Bildung* è il ricco mondo simbolico dei concetti che, da un lato, determina, definisce, crea l'umano, dall'altro ne è invece definito, continuamente trasformato e arricchito. Troppo spesso, però, del significato come processo se ne perde memoria. Difatti, dalla consuetudine di appiattare il divenire sull'essere ne consegue che *Bildung*, come l'altro termine moderno di *Formation*, stia a indicare piuttosto il risultato di questo processo che il processo stesso.

La *Bildung* permea l'opera di Hegel della *Fenomenologia dello spirito* (*Phänomenologie des Geistes*; 1807). In questa opera si descrive il percorso che ogni individuo deve esperire, partendo dalla propria coscienza, per identificare i fenomeni attraverso i quali lo spirito tende al sapere assoluto. Per quanto detto questa opera è qualificabile come un *Bildungsroman* (romanzo di formazione) [Saeverot, 2023]. Su tale linea di pensiero:

Secondo Goethe, "il tedesco si serve opportunamente del termine Bildung, per indicare sia ciò che è già stato prodotto, sia ciò che sta producendosi". [...]

Il testo, in questo senso, non è contenuto appartenente ad un canone, non è dato una volta per tutte, ma appare e riappare in ogni istante, come per magia, diverso.

Ecco dunque il Bildungsroman, il "romanzo di formazione", che guarda all'apparire della persona, alla sua origine: descrive così, dal di dentro, osservate nel loro nascere, attraverso le emozioni, le passioni, i dolori e le continue scoperte, l'evolversi del protagonista verso la maturità e l'età adulta. [...] Non c'è formazione senza trasformazione, senza auto-formazione [Varanini, 2012, p. 4]

La *Fenomenologia*, quindi, va a costituire l'ingresso nella scienza, una sorta di analisi preliminare dei presupposti che condizionano le nostre modalità conoscitive, poiché solo una volta che tali preconetti saranno conosciuti si potrà procedere all'enunciazione del sistema vero e proprio. La *Bildung*, per Hegel, sarebbe un continuo movimento di frattura, che ripropone un senso di smarrimento nella vita degli esseri umani innescando il processo di trasformazione [Sørensen, 2015]. Si noti che si tratta di un concetto prettamente negativo che designa un processo di continua rottura dell'intero, senza il quale, però, l'intero potrebbe esistere solo come unità ingenua che non esperisce il confronto con l'altro e senza cogliere l'occasione storica di trasformarsi. Questa staticità infruttuosa viene movimentata dalla volontà e necessità di esperienza continuamente rilanciata dalla *Bildung*. Nella *Fenomenologia*, dunque, con il termine *Bildung* si intende quell'insieme di pratiche di formazione del singolo attraverso le quali la continua frantumazione e ricomposizione garantisce che il mondo all'interno del

quale il soggetto vive possa essere qualificato come un prodotto del suo costante lavoro, ciò che gli permette di riconoscersi eticamente nel mondo che abita [Gerardi, 2012]. Il sé emerge dalle esperienze di *Umbildung* non solo riunificato, ma anche ampliato perché ha acquisito un'esperienza preziosa. Quando il sé risolve con successo il problema che ha avviato il processo, ottiene una conoscenza che ha testato per sé stesso ottenendo l'autodeterminazione. In questo processo esperienziale, il concetto di *Bildung* di Hegel si coordina con la sua visione secondo cui la conoscenza si ottiene solo dall'esperienza e richiede anche di cercare, come il protagonista di un romanzo di *Bildung*, la più ampia varietà di esperienze. Pertanto, l'apprendimento implica attività, una ricerca appassionata della verità, uno sforzo individuale e responsabile. Di conseguenza, piuttosto che una teoria della conoscenza, Hegel ha sviluppato una teoria dell'apprendimento e la filosofia è diventata la filosofia dell'educazione. Infine, l'enfasi sulla conoscenza di sé, una percezione accurata dei propri talenti, interessi, limiti e capacità, spiega le sue critiche alla fissazione dell'Illuminismo su una concezione della conoscenza ristretta alla ricerca di una verità indubitabile.

4. L'aspetto pedagogico

Fin qui si è voluto esporre il concetto e la storicità dell'ideale della *Bildung* perché è pedagogicamente non comune nella tradizione italiana e ancora di più nella letteratura della didattica della matematica.

Il concetto della *Bildung* compare negli studi pedagogici italiani a partire dagli ultimi decenni del Novecento [Böhm, 1991; Gennari, 1995; Kaiser, 2006] configurandosi come quel processo *attraverso cui siamo diventati noi stessi proprio così come siamo* [Gennari, 2001]. Pur strettamente coinvolta nel rapporto educativo, la *Bildung* trascende l'elemento relazionale che si instaura tra educatore ed educando, poiché identifica la formazione di ogni singolo essere umano. All'originario concetto della *Bildung* (formazione umana) si accosta quello di *Umbildung* (trasformazione). Ripresa dagli scritti di Goethe, essa dischiude una particolare fecondità pedagogica, poiché indica l'insieme delle *trasformazioni che danno forma alla formazione dell'Uomo*, le quali *non sono causate dal solo mondo esterno, ma si originano anzitutto nel mondo interiore del soggetto* [Sola, 2003]. È il pensiero a determinare la volontà di trasformarsi dell'essere umano mentre ciò che rimane inalterato nonostante il trascorrere del tempo è l'*Urbildung*, ossia la formazione originaria. La formazione umana è la risultante dell'intrinseca polarità tra *Bildung* e *Umbildung*, perché la formazione si apre perennemente a nuove possibili trasformazioni e allo stesso tempo queste ultime si originano in ragione della formazione cui costantemente tendono.

Dal punto di vista pedagogico e per quanto illustrato, la formazione dei docenti necessita della separazione tra la formazione personale e la formazione dello stare in classe distinguendo, quindi, tra formazione e didattica [Danner, 1994]. In questa ottica la pedagogia tedesca si differenzia da quella italiana divenendo funzionale alla presente proposta:

Mentre la tradizione pedagogica italiana ha considerato l'educare come la transizione di un patrimonio culturale da un soggetto all'altro, la tradizione pedagogica tedesca – alla quale Gadamer apparteneva e ne rimarrà sempre parte viva – si è servita del termine *Bildung* per asseverare il processo autoformativo dell'uomo. Per cui, nella lingua tedesca al verbo *bilden* (formare) corrisponde il formare se stessi e al verbo *erziehen* (educare) corrisponde l'educazione dell'altro. Al contrario, nell'ambito linguistico italiano la formazione è sempre considerata (almeno fino alla metà degli anni '90 del XX secolo) nel 'formare l'altro' e il termine educazione è ancora oggi impiegato quasi esclusivamente secondo il senso di un 'educare l'altro' soggetto che ci sta di fronte. Ecco perché le coppie *Bildung* ed *Erziehung* e *bilden* ed *erziehen* non sono sinonimi, mentre nella cultura pedagogica italiana lo sono sempre state 'formazione' ed 'educazione', nonché 'formare' ed 'educare' [Gennari, 1999, p. 37].

L'importanza di recuperare l'approccio pedagogico-filosofico della *Bildung* si fonda sull'idea etica di svincolare non solo l'insegnamento, ma anche la formazione dei docenti dall'odierno e ritenuto imprescindibile fine utilitaristico, evidenziato nelle *Indicazioni Nazionali*, ma ancora di più nelle *Linee guida per le discipline STEM* [MIM, 2023]. Fine utilitaristico che da solo, si ritiene, non permetterebbe di sviluppare a pieno la creatività e l'intuizione che lo scienziato deve avere prima di rendere rigoroso il suo pensiero [Hadamard, 2022]. Avvalorando l'originarietà di tale necessità si consideri che già Humboldt all'inizio del XIX sec., epoca di consolidamento del Neoumanesimo tedesco, auspicava una formazione sì collegata con la realtà, ma anche mirata alla pura ricerca.

5. L'*Humanitas scientifica*

L'approccio interdisciplinare alla scienza di F. Enriques (1875-1946) è denominato *Humanitas scientifica* o filosofia scientifica ed ebbe origine dalle sue riflessioni sul rapporto tra rigore e intuizione [Giacardi, 2023]. Si ritiene che queste riflessioni siano in linea con il descritto ideale della *Bildung* volendo considerare la filosofia scientifica un approccio integrale e consapevole al sapere. Enriques vedeva nell'hegeliana triade tesi-antitesi-sintesi una possibilità dinamica per giungere al sapere speculativo evidenziando, però, l'importanza della fase sperimentale a supporto di una dialettica della continua

approssimazione [Enriques, 1912]. Per tale motivo si ritiene che quanto proposto da Enriques e che non ebbe fortuna in Italia per l'opposizione del neo-idealismo italiano di B. Croce (1866-1952) e G. Gentile (1875-1944) [Nicotra, 2020; 2024], sia il tentativo di ricostruire l'unitarietà tra *Geisteswissenschaften* e *Naturwissenschaften* [Enriques, 1921]. Per tale motivo nel *Programma della Rivista di scienza. Organo internazionale di sintesi scientifica* fondata nel 1907, Enriques denunciava il *particolarismo scientifico* delle varie scienze [Enriques, 1907]. L'intento di Enriques era di formulare un codice speculativo che potesse avvicinarsi per finalità a ciò che la tradizione epistemologica europea da tempo vantava e dei cui contenuti quella italiana era drammaticamente quasi del tutto digiuna. La suddetta tradizione aveva i suoi rappresentanti negli ambienti statunitensi e in quella dei Circoli di Vienna (*Wienerkreis*) e Berlino. In Italia Enriques fu il più strenuo sostenitore dell'unitarietà della cultura, adoperandosi per portare nel pensiero scientifico lo spirito umanistico [Pompeo Faracovi, 2006].

L'impresa scientifica ha in sé una dimensione spirituale e non solo quella della semplice scoperta passiva della realtà esterna. La scienza è, nelle stesse parole di Enriques,

non più concepita come pura rivelazione di una verità esteriore, bensì come conquista e attività dello spirito [... che] si fonde nell'unità dello spirito colle idee, coi sentimenti, colle aspirazioni che si esprimono nei vari aspetti della cultura [Enriques, 1938, p. 131].

L'argomentazione sull'*Humanitas scientifica* che Enriques fa nelle sue opere ci aiuta ad avere delle indicazioni operative su come perseguire il processo della *Bildung*. La suddetta unitarietà si rende necessaria allorquando ritiene che l'intuizione abbia un ruolo essenziale a livello inventivo e chiarificatore dal punto di vista didattico per poi essere resa rigorosamente logica quando i dati diventano formalizzati ed espliciti [Bussotti, 2008].

La convinzione di Enriques [1938] che l'insegnamento della scienza possa trarre beneficio da una maggiore attenzione alla sua dimensione storica ed epistemologica accomuna studiosi di ambiti disciplinari diversi. Si tratta, tuttavia, di un consenso che fatica a tramutarsi in concrete proposte che possano orientare l'agire didattico del docente sia per l'intrinseca complessità del progetto, sia a causa dei curricula universitari scientifici che, in genere, non prevedono approfondimenti sulla natura storico-filosofica della scienza. Questa lacuna nel percorso di studi unitamente all'ancora diffuso pregiudizio delle due culture, alla consuetudine, a volte implicita, a reiterare i contenuti delle indicazioni programmatiche della manualistica nonché all'oggettiva ampiezza e profondità dei saperi coinvolti che rappresentano settori di

ricerca accademicamente distinti e caratterizzati da metodologie differenti, rischia di minare la fattibilità di una formazione multiprospettica dei docenti. Promuovere la conoscenza sulla scienza equivale a riconoscere la necessità di introdurre nell'insegnamento questioni di ordine epistemologico imparando a utilizzarle a fini formativi [Tombolato, 2023]. L'approccio epistemologico è, quindi, il tipo di sguardo che indaga la struttura e il funzionamento dei processi della mente allo scopo di stabilire che cosa sono in grado di fare e di conoscere. Proprio perché si tratta di uno sguardo da un diverso livello e dall'esterno, non direttamente coinvolto nella dinamica interna, linguistica e concettuale, delle singole discipline, esso è in grado di vedere le possibili relazioni tra i diversi ambiti disciplinari orientandosi naturalmente all'interdisciplinarietà e alla transdisciplinarietà. Non che il sapere specialistico non sia importante, ma visto l'attuale ritmo dei processi di innovazione, esso rischia di diventare rapidamente obsoleto e non integrabile con l'esterno. L'evoluzione verso il nuovo è, invece, possibile se le competenze specialistiche sono accoppiate con una robusta base di competenze generali che servano a comprendere, prima che a eseguire, a valutare, prima che a calcolare, a comunicare, prima che a decidere.

Sul rapporto tra Enriques e la filosofia è opportuno osservare che l'appellativo di matematico-filosofo va inteso che la filosofia è 'dentro' la matematica sia come elaborazione dei problemi matematici che pongono interrogativi filosofici, sia nel modo di intenderne le finalità, gli oggetti e gli strumenti facenti parte del fare matematica e in qualche modo condizionandola. La matematica ha una valenza filosofica ed è un luogo privilegiato dell'attività universale del pensiero [Pompeo Faracovi, 2006].

L'approccio di Enriques alla scienza può essere definito genetico e umanistico, con una chiara influenza di Klein [1908]. Genetico in quanto i concetti scientifici vengono prima acquisiti psicologicamente e poi sottoposti alla verifica formale. In questa ottica, una speciale attenzione viene attribuita alla storia della scienza, nella sua funzione di ricostruzione della genesi delle teorie scientifiche. L'impostazione genetica delle teorie scientifiche è il risultato di un processo che tende all'oggettività spingendo a un livello sempre più alto la soggettività delle rappresentazioni mentali [Nicotra, 2018]. Altra influenza di Klein la si ritrova nella lettera scritta nel maggio 1888 a F. Althoff (1839-1908) del Ministero della Cultura prussiano. In essa si ribadiva la necessità di superare la dicotomia tra educazione umanistica e realistica per trasformarla in educazione. A tale scopo esortava i futuri docenti, per promuovere la cultura matematica generale, allo studio delle fonti classiche (Euclide, Archimede, Apollonio, ecc.) [Tobies, 2023].

Per Enriques il processo scientifico è sia induttivo che deduttivo con una circolarità dinamica che dalle osservazioni sale ai concetti generali e astratti per ridiscendere ai fatti empirici. Il suddetto processo dinamico dimostra il fine di raggiungere una sempre

migliore approssimazione alla verità. In questo contesto diventa fondamentale il valore dell'errore che ha una sua naturale manifestazione nel processo storico di formazione della teoria divenendo un'esperienza didattica [Enriques, 1936] e l'occasione della sintesi per la trasformazione.

Agli inizi del XX sec. la cultura dominante, specialmente in Italia, era quella umanistica nella quale il neo-idealismo di Croce e Gentile accentuò il divario culturale tra umanisti e scienziati risalente agli inizi dell'Ottocento come lo stesso Enriques evidenziava: *in sul principio del secolo scorso, ebbe origine il funesto dissidio che ancora divide i filosofi dagli scienziati* [Enriques, 1926]. Croce e Gentile consideravano la scienza un mero strumento pratico volendola separare dalla filosofia e dalla cultura umanistica in generale.

Il fatto che la scienza non debba avere scopi puramente utilitaristici non implica per Enriques la separazione tra scienza applicata e scienza pura, ma solamente che la scienza in sé rappresenta un valore. Sullo stesso pensiero di Klein [Giacardi, 2012], Enriques era del parere che il circolo virtuoso tra i due 'tipi' di scienze avesse la basilare funzione di stimolo per la ricerca.

L'*Humanitas scientifica* richiede il superamento delle differenziazioni disciplinari colmando, così, il distacco tra scienza e filosofia. Questo superamento non può essere semplicemente attuato con la collaborazione tra scienziati e filosofi, ma seguendo la dinamicità della *Bildung* anche con una trasformazione del proprio sentire che a maggior ragione deve essere aperto agli altri.

Questo costante sforzo di gettare ponti tra le discipline per superare le specializzazioni, rappresenta l'unico modo per farle acquistare un valore umanistico e formativo. Con tale approccio, il primo compito del docente è di comunicare il bisogno della conoscenza per poi darne il possesso, obiettivo sicuramente più impegnativo, ma più proficuo per lo studente sul lungo periodo. A tale scopo proponeva di adottare il metodo socratico del dialogo per incitare una ricerca euristica delle verità matematiche per tentativi ed errori.

6. La *Bildung* secondo Gadamer

Alla fine del *Secolo di Goethe* (metà XIX sec.) il progresso scientifico diede maggiore rilievo alla tecnologia e, più in generale, all'idea di una formazione con fine prettamente professionale. In questo contesto la borghesia non vide nell'originario ideale della *Bildung* un utile strumento per i suoi fini tanto che nel periodo Neopositivista (seconda metà del XIX sec.) si coniò il termine *Halbbildung* con il quale si voleva considerare l'idea di impegno di formazione individuale solo utilitaristico. Ciò diede l'avvio al degrado del concetto della *Bildung* tanto che nella seconda metà del XX sec.

si arrivò a considerarne la scomparsa con il termine *Unbildung*. Le competenze finalizzate solo a utilizzare le abilità caratterizzano anche l'odierna concezione della scuola alla quale è affidato il principale ruolo di preparazione a una professione più che a formare se stessi per l'attività lavorativa [Taylor, 2016]. Questo atteggiamento deve essere maggiormente preso in considerazione dato che il futuro lavorativo degli studenti di oggi vedrà, molto più che nel passato, una sempre maggiore dinamicità di impieghi che richiederanno un'altrettanta flessibilità di adattamento mentale che deve essere formata.

In questo contesto il filosofo tedesco H.-G. Gadamer (1900-2002) propone un aggiornato recupero della *Bildung* quando afferma che [La Bildung non serve] *per aver appreso qualcosa per la professione, ma per il fatto d'essere diventati qualcosa per la nostra professione* [Gadamer, 2000].

Il punto di partenza nella sua ricostruzione dell'idea della *Bildung* come auto-formazione (*sich bilden*) dello spirito è la filosofia hegeliana contenuta soprattutto nella *Fenomenologia*. Il fondatore dell'ermeneutica filosofica condivide con Hegel la concezione dell'essenza della *Bildung* come innalzamento dell'individuo dall'immediatezza e dal particolare all'universalità cogliendo la generalità (*Allgemeinheit*). Questo implica, però, non solo la capacità di universalizzazione a livello teoretico, ma anche nell'ambito morale-pratico. La possibilità di prendere le distanze dall'immediato e dai propri interessi vuol dire, inoltre, potersi aprire all'altro e provare a vedere il mondo, e se stessi, con gli occhi dell'altro. In sintonia con Humboldt, Gadamer sottolinea la distinzione tra *Bildung* come disposizione spirituale, ossia come una caratteristica acquisita dallo spirito, e *Kultur* come educazione delle facoltà e dei talenti. Egli rileva che, nel suo uso abituale, il sostantivo astratto *Bildung* tenda ad appiattirsi sullo stato finale del processo formativo, a scapito del processo stesso di formazione. La *Bildung* è da intendersi nella forma del divenire, che è sempre processo e mai risultato. Per tale motivo non è riconducibile totalmente al concetto di *Kultur* (cultura), concetto statico che indica un possesso acquisito, sebbene comunque sia a esso strettamente connessa [Giosi, 2022]. Siccome la *Kultur* non ritrova il fine in sé stessa, ma lo ricerca nell'oggetto della cultura da acquisire, la *Bildung* ha il proprio fine in sé stessa, configurando un'eccedenza che il termine *Kultur* non riesce a ricoprire. Per Gadamer la formazione non si può ridurre a un insieme di abilità o di tecniche imparate una volta per tutte [Bagni, 2009]. Dietro a questo appiattimento concettuale si cela il pericolo di considerare la formazione come il risultato di una tecnica (*techné*), quando essa è invece una prassi (*praxis*). Il suo carattere prassico fa sì che la formazione non possa essere mai vista semplicemente come un prodotto dell'agire umano, né come un mezzo per raggiungere un fine. L'effetto dell'azione formativa è immanente all'agente

stesso, perché nell'autentica cultura (*Bildung*), [...] ciò in cui e mediante cui ci si forma viene, come tale, fatto interamente proprio. Il lavoro umano, per mezzo del quale l'Uomo prende consapevolezza del suo potere creatore, svolge un ruolo centrale nella genesi dell'autocoscienza, ossia nel processo formativo che porta la coscienza a compimento. In effetti, attraverso il suo lavoro l'Uomo forma qualcosa, ma anche, e soprattutto, forma sé stesso. La formazione pratica non è tuttavia un processo indipendente dagli interessi teoretici. Anzi, proprio perché la *Bildung* consiste nella capacità di far valere anche ciò che all'immediatezza non si riduce, nel trovare punti di vista generali per capire la cosa al di là dei propri interessi, il distacco dall'immediatezza è reso possibile dal fatto che l'Uomo pensa, ricorda, immagina futuribili, ecc.. Gadamer sottolinea, perciò, il fatto che per formarsi c'è bisogno di concettualizzare.

Un'opera di Gadamer che focalizza l'attenzione sulla *Bildung* è *Bildung e Umanesimo* [2012] consolidandone l'origine neoumanistica. L'opera riporta sette saggi che Gadamer scrisse dal 1944 al 1992 e che riassumono le altrettante conferenze svolte in Germania. In questo testo il significato che la *Bildung* riveste nel suo pensiero si configura come un *problema ermeneutico* sul quale interrogarsi. Nella definizione di Gadamer la *Bildung* è caratterizzata da tre elementi:

- è un processo dinamico, non un obiettivo conseguibile o un contenuto da apprendere;
- consiste in una condizione di apertura all'ulteriorità, di disponibilità all'evoluzione configurandosi come potenza e non atto;
- implica una partecipazione intima, essendo soprattutto un atteggiamento e una condizione spirituale, quella di chi non impara per ottenere semplicemente un sapere o per far qualcosa del proprio sapere, ma per auto-formarsi e trasformarsi.

Lo strumento per l'auto-educazione è rappresentato dall'ermeneutica. Essa riguarda la *comprensione e l'interpretazione dell'umana esperienza del mondo nel suo insieme* [Gadamer, 1960] per costruirsi l'idea del mondo da nominare con il linguaggio di una qualche disciplina considerata una compiuta formalizzazione del sapere pratico [Sbaragli, 2011]. L'ermeneutica si attua attraverso l'educazione della naturale propensione umana all'interpretazione per cui diventa non una disciplina tra le altre, ma la forma stessa dell'apprendimento. Si educa attraverso l'interpretazione di testi, di opere d'arte, di esperienze umane, del mondo. Solo educando all'interpretazione si è in grado di elaborare un giudizio maturo e critico sulla realtà e sul proprio presente. Insegnare è insegnare a porsi domande, apprendere è apprendere come porle. Il filosofare tipicamente gadameriano osserva e interpreta il mondo, l'esperienza umana del mondo e sé stesso. L'attività conoscitiva è tradotta in esperienza ermeneutica e presuppone che la

Bildung sia una componente sempre presente in ogni interpretazione come un processo volitivo che parte da noi stessi. L'ermeneutica è, dunque, un cammino contrassegnato da domande e risposte che il soggetto si pone al fine di conoscere sé stesso e il mondo. Dalla storia dell'Umanesimo affiora la storia della formazione occidentale entro cui il soggetto può conoscersi e ri-conoscersi in quanto Uomo. Essendo una formazione ben distinta da un'educazione cattedratica improntata al nozionismo e alla conformazione a un modello prestabilito, essa insegna a riconoscere la libertà, la propria autentica capacità di giudizio rendendo l'Uomo capace di contrastare il livellamento e l'omologazione posti in atto nella modernità. Quindi, l'ermeneutica lungi dall'essere una mera metodologia, è proprio nell'intima connessione con la *Bildung* che diviene una filosofia di vita. La crisi dell'idea di *Bildung* ha portato alla crisi dell'Umanesimo, che a sua volta ha influito sulla crisi delle scienze dello spirito e dell'Uomo, saperi denigrati nell'epoca moderna in quanto considerati non capaci di derivare verità scientifiche e oggettive al pari delle scienze della natura.

L'interrogativo sulla questione della legittimità e plausibilità di una *Bildung* umanistica nella nostra età contemporanea vede Gadamer assolutamente cosciente dell'inattualità del tema poiché alla fine del Novecento l'idea di scientificità è dominata dal modello e dalla prospettiva empirico-sperimentale delle scienze naturali esatte. La tecnica e la tecnologia sono i nuovi volti moderni della scienza. La conoscenza si è ridotta a informazione e la realtà scolastica e universitaria è incentrata sul nozionismo e sull'apprendimento di contenuti evidenziata nel proliferare di licei sempre più aggettivati. Nel percorso educativo ciò che conta è la sempre maggiore specializzazione in un settore. In un'epoca in cui scienza e tecnologia sono gli unici modelli di verità e scientificità, ci si può chiedere quale possa essere il contributo della *Bildung* umanistica. Gadamer non vuole abbandonarsi a un pensiero utopistico, ma piuttosto vuole porre l'istanza necessaria di coscientizzare la perdita della formazione umanistica dell'Uomo in quanto problematica umana. E qui, per 'formazione umanistica' non si intende un'educazione sulle materie umanistiche, ma quel processo di auto-formazione dell'Uomo, che si rispecchia nel concetto di trasformazione. L'Umanesimo si fondava già nell'antichità classica sul fatto che gli Uomini non sono dèi, e quindi non possedendo il sapere ne sono sempre alla ricerca. A partire, poi, da Galilei, si afferma la convinzione che la *vera scienza* esiga anzitutto certezza, un sapere è tale solo se sia costruito su fondamenti assolutamente indubitabili, come insegnò R. Cartesio (1596-1650). Tali fondamenti si ritroveranno negli strumenti matematici e nell'esperimento fisico per matematizzare l'universo così da renderlo non solo oggettivabile, ma anche misurabile e quindi, in qualche modo, controllabile. Tuttavia, nonostante tutti questi sforzi l'Uomo è sempre sedotto dal conseguimento del risultato. La stessa situazione è

poi riflessa nel sistema scolastico come se il compito prioritario della scuola debba essere l'indirizzare a una specializzazione in vista di una futura professione. Il rimedio è rafforzare la capacità autonoma e critica di giudizio e di scelta umana sollevando la domanda di come lo si impara. Per conseguire questo obiettivo, allora, servono dei docenti che si sentano liberi rispetto a programmi troppo dettagliati e concentrati, e soprattutto già stilati e organizzati, che siano educatori con la possibilità di promuovere percorsi educativi che comportino una presa di coscienza per giudicare, scegliere e discernere promuovendo la libertà dell'Uomo con l'esercitare l'autonoma facoltà di giudizio critico, su sé stessi e sul mondo che ci circonda. A ciò si deve aggiungere il riscoprire la spontaneità e il coraggio di formare un giudizio proprio ponendosi domande. Qui si vede la netta contrapposizione tra le scienze esatte, o meglio le scienze della natura, che godono di una riconosciuta e piena oggettività e rigore scientifico, contro le scienze umane (o dello spirito) che si pongono come obiettivo l'interpretazione e la spiegazione del mondo umano e dei fenomeni della coscienza. Questa netta separazione, all'interno della scienza, tra natura e spirito si è poi riflessa anche nel modo in cui l'Uomo vede e conosce se stesso e gli altri.

Si ritiene, però, che questo pessimismo debba essere smussato prendendo coscienza che il rigore e la certezza delle *Naturwissenschaften* è una conquista nei confronti dell'*ipsi dixit* aristotelico di medioevale memoria che ha percorso per lungo tempo la storia della scienza con risultati non esaltanti. Ma al contempo, bisogna ritenere le *Geisteswissenschaften* idonee a predisporre l'animo del ricercatore alla libertà creativa, all'intuizione. Tale visione risulta in sintonia con quanto detto sul pensiero di Enriques con la sua *Humanitas scientifica*.

Tale visione permette di sollecitare l'attenzione, almeno, a quanto dirà nella seconda metà del XX sec. Gadamer in una situazione ben diversa. Al tempo di Enriques le scienze dello spirito (storia, filosofia, filologia, ...) e quelle naturali (matematica, fisica, ...) correvano parallele, mentre ai tempi di Gadamer le prime hanno travalicato le seconde. A nostro avviso sia il recupero dell'*Humanitas scientifica* che della *Bildung* necessitano non solo della piena identificazione delle due scienze, ma la loro pari dignità. Per tale fine, si pensa, che Gadamer citi M. Lutero (1483-1546) in *Verità e metodo: Qui non intellegit res, non potest ex verbis sensum elicere* (Chi non comprende le cose, non può estrarre il significato dalle parole). Parole che sembrano un monito per evidenziare la netta distinzione tra scienze dello spirito e scienze della natura, ma non escludenti le prime dalle seconde [Sansavini, 2014]. L'intento di Gadamer era, infatti, di evidenziare due diverse esperienze di verità, quella metodica e quella extra-metodica. La prima basata sui principi di obiettività e ripetibilità, che calcola, mentre la seconda è un'esperienza propriamente individuale, universale in quanto coinvolge l'umanità intera,

unica e particolare in quanto in ogni esistenza si manifesta ogni volta come un evento singolare e irripetibile, che segna indelebilmente l'individuo. Gadamer per definire questo ultimo tipo di esperienza richiama l'*Erfahrung* hegeliana, ossia il rovesciamento di coscienza, l'esperienza che modifica in maniera definitiva e consapevole il modo di considerare il mondo in cui viviamo, che interpretiamo e nel quale agiamo. La necessità della suddetta divisione non deve essere vista in maniera dialettica, ma è il frutto di un'analisi con la quale il filosofo intende restituire la dignità e la giusta considerazione alle scienze dello spirito, soprafatte e soffocate dal dilagante entusiasmo causato dalle conquiste tecnico/positivistiche. La sua filosofia non si riduce a una sterile critica del progresso scientifico. Diversamente, è necessario e quanto mai ragionevole riconoscere e rispettare le conclusioni di tali scienze nell'ambito loro congeniale, ma non bisogna permettere che l'episteme loro particolare si diffonda in altri domini scientifici nei quali possa più nuocere che giovare [Maimone, 2015].

È importante, per avvalorare il nostro discorso, evidenziare che lo stesso concetto lo si ritrova oggi nell'azione dell'Unione Europea riguardo all'istruzione nel suo orizzonte più ampio con il *Lifelong Learning Programme 2007-2013* a seguito di quanto deciso dal Parlamento europeo e dal Consiglio nel 2006. La decisione attesta l'emergere dell'esigenza di *imparare ad apprendere* (vedasi *l'imparare a imparare* delle competenze chiave europee emanate come *Raccomandazione dal Consiglio* il 22 maggio 2018 e relativa alle competenze chiave per l'apprendimento permanente), una condizione che permette di rinnovare se stessi e le proprie conoscenze in caso di necessità avendo acquisito una sorta di chiave interpretativa per il giusto approccio teorico nell'affrontare il cambiamento. L'apprendimento permanente è un percorso personale di apprendimento, che prepara l'individuo a rispondere alle esigenze del vivere sociale, ogni volta ricapitalizzando il proprio sapere, modificandolo o sostituendolo. Non si parla più dell'acquisizione di conoscenze una volta per tutte frequentando il tradizionale corso di studi, ma ancora di un continuo apprendimento che ci coinvolge totalmente.

7. Mathematical Knowledge for Teaching (MKT)

Per concretizzare l'ideale della *Bildung* nella formazione dei docenti è necessario il supporto di un quadro di riferimento connesso alle conoscenze professionali del docente stesso. Si ritiene idoneo a tale scopo adottare, per la sua flessibilità e per quanto detto sulla storia pedagogica tedesca, quello della *Mathematical Knowledge for Teaching* (MKT).

Il quadro di riferimento MKT fu elaborato partendo da uno studio di Shulman [1986] sul reclutamento e formazione dei docenti. Nel 2008 si ebbe la

concettualizzazione in categorie della MKT [Ball *et al.*, 2008] per i docenti di matematica introducendo la conoscenza disciplinare accanto a quella pedagogica. In questo modo si sono gettate le basi per una teoria pratica della conoscenza matematica per l'insegnamento [Ball *et al.*, 2009]. La proposta strutturale MKT come rappresentata in Figura 2 fu costruita in maniera empirica considerandola sin dall'inizio provvisoria e ritenendo plausibile operare su di essa per un *perfezionamento e revisione* [Ball *et al.*, 2008; Aebischer, 2025].

Per contestualizzare il rapporto tra MKT, la *Bildung* e i Diagrammi didattici (vedasi oltre) come riportato in Figura 1, si riportano le definizioni delle categorie di conoscenze MKT suddivise tra i due domini *Subject Matter Knowledge* (SMK) e *Pedagogical Content Knowledge* (PCK).

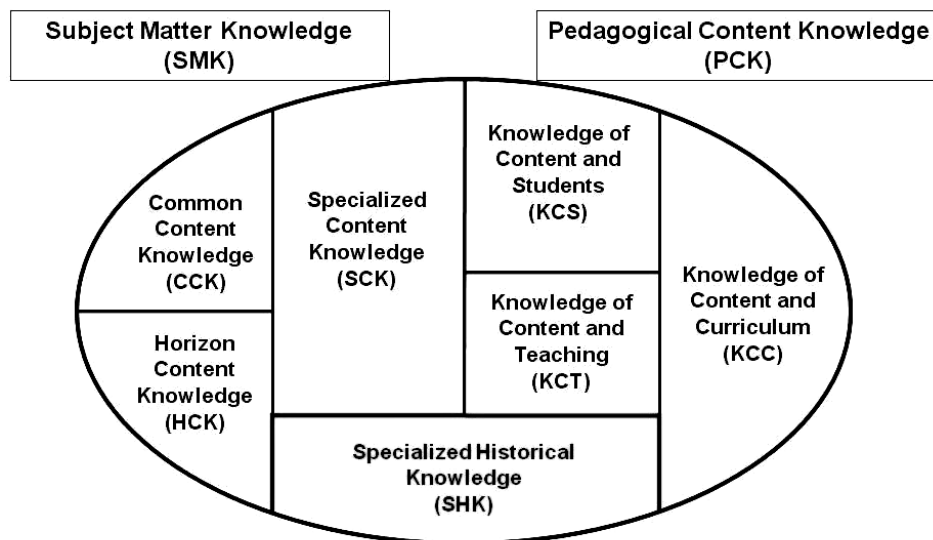


Figura 2. I due domini SMK e PCK, e la struttura delle categorie della MKT [Ball *et al.*, 2008; Aebischer, 2025].

Le categorie del dominio disciplinare SMK sono:

- CCK (*Common Content Knowledge*): conoscenza matematica per risolvere tecnicamente i problemi rispettando il relativo formalismo;
- SCK (*Specialized Content Knowledge*): conoscenza specifica della matematica e della sua struttura per entrare nel mondo metacognitivo degli studenti. Identifica la conoscenza dei contenuti e la struttura sostanziale (comprensione delle regole di dimostrazione) e sintattica (organizzazione di fatti, concetti e principi che

Formazione dei docenti e la Bildung: il quadro di riferimento BMDD

correlano le conoscenze precedenti e l'esperienza di insegnamento) della matematica [Fitriani & Juandi, 2023];

- HCK (*Horizon Content Knowledge*): conoscenza delle connessioni verticali del curriculum degli anni precedenti e successivi del percorso scolastico per dare una visione di continuità agli studenti e per comprendere le loro possibili misconcezioni acquisite;

mentre quelle del dominio pedagogico PCK sono:

- KCS (*Knowledge of Content and Students*): correlazione tra le conoscenze disciplinari del docente e quelle degli studenti in modo che il primo possa anticipare le difficoltà dei secondi per pianificare meglio l'insegnamento e fornire risposte adeguate al livello scolastico;
- KCT (*Knowledge of Content and Teaching*): competenza del docente nello scegliere il percorso di apprendimento più funzionale per la comprensione dello studente;
- KCC (*Knowledge of Content and Curriculum*): conoscenza tecnica degli argomenti del curriculum per insegnarle.

Il quadro di riferimento di Ball e colleghi non contemplava esplicitamente una categoria relativa alla storia della disciplina comprendendovi anche la filosofia. Per tale motivo in Aebischer [2025] si è proposta la categoria-ponte denominata *Specialized Historical Knowledge* (SHK) per esplicitare il ruolo della storia sia per la comprensione dei concetti matematici che per la loro trasposizione didattica. La nuova categoria SHK è un ponte tra i domini SMK e PCK poiché la matematica non è solo tecnicismo, ma anche un fenomeno storico-culturale essendo una costruzione dell'Uomo [Enriques, 1938; Furinghetti, 2002]. Nella sua attività matematica l'Uomo dà ai concetti un significato epistemologico e una descrizione applicativa. Nel dinamismo temporale dell'attività matematica si ha lo sviluppo dei concetti la cui conoscenza è utile al docente sia per la propria auto-formazione che per la progettazione di un'efficace trasposizione didattica (i due aspetti sono intimamente collegati). La storia della matematica, mediata didatticamente anche da testi coevi alla formazione del concetto e/o successivamente approfonditi e/o interpretati secondo i dettami dell'ermeneutica di H.-G. Gadamer [2012] [Gennari, 2014], si deve considerare una conoscenza fondamentale della professionalità del docente per superare gli ostacoli epistemologici degli studenti [D'Amore *et al.*, 2006].

8. Il Triangolo e i Diagrammi didattici

Il quadro di riferimento BMDD si colloca nell'ambito della formazione dei docenti prima dell'attività in classe. Per tale motivo si rende necessario individuare un livello che espliciti l'auto-formazione del docente e poi la colleghi con l'attività in classe per giustificare quanto assunto: formazione separata, ma non scollegata con il momento didattico.

Uno dei costrutti teorici per modellare le dinamiche didattico-pedagogiche in una classe è il Triangolo didattico con vertici docente (D) - studente (S) - sapere (M poiché in questo caso consideriamo la matematica) [D'Amore, 2001; Bolondi, 2012]. Senza voler analizzare il peso relativo delle singole relazioni duali, rappresentate dai lati del Triangolo, consideriamo, senza perdita di generalità per quanto si dirà, la figura geometrica del triangolo equilatero.

Nel Triangolo il ruolo del docente è considerato in perenne simbiosi con gli altri vertici come ad avvalorare che si è docenti solo in classe. Per i nostri scopi si considera il docente come un 'vertice' a sé, in modo che possa auto-formarsi anche come figura professionale indipendente dalla classe. Tale punto di vista è ritenuto necessario, come anche esperito dall'Autore, poiché le classi cambiano ogni anno e talvolta anche durante l'anno scolastico. Quindi, la trasposizione metadidattica non deve essere vista come una semplice competenza a trasferire le proprie conoscenze allo studente, ma come si è visto nell'MKT, deve essere anche supportata dal proprio sentire matematico. Questo secondo aspetto, che è considerato il più idoneo e flessibile per dare una risposta alle domande degli studenti che possono avere una 'propria' logica creativa che deve essere interpretata e incanalata eventualmente nella correttezza [Mellone *et al.*, 2018], può comportare diverse sensibilità di approccio all'essenza della matematica dovute alla diversa storia personale di formazione ed esperienza.

Pertanto, il flusso del tempo scolastico si può considerare composto da due macro situazioni: quella dell'insegnamento-apprendimento e quella *extra*. La prima si concretizza durante la classica lezione, l'uscita didattica, l'attività di laboratorio, la didattica a distanza, ecc., ossia essenzialmente quando docente e studente interagiscono direttamente. La seconda si configura, invece, quando docente e studente non sono reciprocamente presenti, ma comunque consapevoli del legame didattico esistente tra loro. Per tale motivo il Triangolo didattico della situazione insegnamento-apprendimento deve comporsi e scomporsi dinamicamente ogni volta che inizia o finisce la situazione di insegnamento-apprendimento stessa. Pertanto, durante la situazione *extra* il Triangolo si scompone in tre distinti Diagrammi didattici che rappresentano le tre fasi di interazione a distanza che i soggetti docente e studente

esperiscono durante il periodo scolastico (Figura 3). In Figura 3 i segmenti continui rappresentano un rapporto diretto, mentre i segmenti tratteggiati rappresentano come il soggetto svolga la sua attività non in presenza dell'altro, ma pensando all'altro. Come in Figura 1, nei Diagrammi didattici *Ma* identifica la matematica accademica, mentre *Ms* quella scolastica.

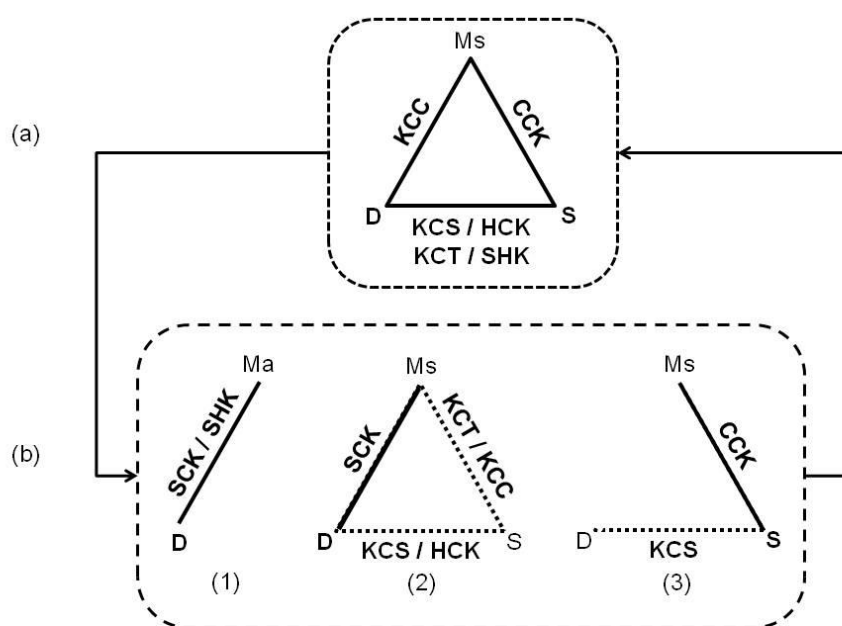


Figura 3. Il Triangolo della situazione insegnamento-apprendimento (a) e le fasi dei Diagrammi didattici della situazione *extra* (b) posti in relazione tra loro e alle categorie MKT (elaborazione dell'Autore).

Per quanto detto si comprende come in Figura 1 il Triangolo sia esterno al quadro di riferimento BMDD, mentre i Diagrammi didattici si pongono a cavallo visto che una parte riguarda solo il docente.

Per comprendere la proposta dei Diagrammi didattici bisogna fare riferimento al punto di vista dei due soggetti del Triangolo didattico (vertici) (Figura 3.a). Considerando il punto di vista del docente si avranno due fasi dei Diagrammi didattici:

- una formata dal lato *D-Ma* continuo per l'auto-formazione (Figura 3.b1). Tale fase può riguardare sia un docente *in-service* che in *pre-service* poiché è un'attività completamente svincolata dallo studente. Questa fase fuori dalla classe è

comunque un'attività professionale poiché quanto acquisito in cultura matematica verrà poi, esplicitamente o implicitamente, trasposto didatticamente;

- una a forma di triangolo con i lati $D-S$ ed $S-Ms$ tratteggiati, perché non in presenza, nella fase di progettazione didattica o di correzione degli elaborati prodotti dagli studenti (Figura 3.b2).

Considerando il punto di vista dello studente si avrà un'unica fase dei Diagrammi didattici:

- un diagramma $D-S-Ms$ con il lato $D-S$ tratteggiato perché non in presenza, ma incorporato nello studente che studia con il pensiero al docente, al contratto didattico come da lui inteso, e un segmento continuo $S-Ms$ (Figura 3.b3).

Per poter esplicitare il collegamento con l'MKT, si ritiene utile porre le due situazioni in relazione alle sue categorie come riportate in Figura 2.

Per quanto interessa il presente lavoro, è nella situazione *extra* che il docente ha la possibilità di formarsi e/o aggiornarsi rispetto non alla matematica scolastica, ma a quella accademica (Figura 3.b1). Un insegnamento efficace della matematica scolastica richiede non solo una conoscenza approfondita della matematica accademica, ma anche dei ragionamenti e degli errori concettuali che hanno portato, spesso in modo non lineare, a quei risultati. La conoscenza matematica di un docente deve essere maggiore di quella richiesta al comune cittadino, ma diversa da quella di un matematico professionista che nella specializzazione ha il suo punto di forza [Ball, 2003]. Per raggiungere questo obiettivo, si ritiene utile avere anche una conoscenza della storia della disciplina per poter assimilare, come citava il matematico austriaco F. Klein [1908; Weigand *et al.*, 2019], il piccolo cammino dello studente al grande cammino percorso dal genere umano per lo sviluppo di una matematica falsamente considerata statica, o per presentare la matematica come un corpus creativo di cultura e conoscenza. Tutto questo deve rientrare in una metodologia riflessiva [Crotti, 2017], ossia nella competenza di essere in grado di pensare a sé stessi in funzione di quello che si è fatto o non fatto, e dedurne dei miglioramenti. Questa metodologia rappresenta proprio quella dinamicità della *Bildung* che si identifica con formazione che in teoria non ha termine.

9. Il *networking* combinato BMDD

Dopo aver illustrato le singole parti fondanti del proposto quadro di riferimento BMDD, è necessario vedervi un'unitarietà che possa permettere lo svolgimento della successiva fase sperimentale e di utilizzo come lente teorica.

L'idea del *networking* delle teorie è stata studiata sin dal 2005 da vari gruppi di lavoro del *Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (CERME). In questa ottica si farà riferimento al lavoro di Prediger *et al.* [2008] che consiste in un dialogo sistematico tra le teorie per migliorare la base teorica del lavoro scientifico della comunità degli educatori di matematica nell'affrontare la diversità delle teorie nell'educazione matematica stessa e la loro complessità [Bikner-Ahsbahr, 2016].

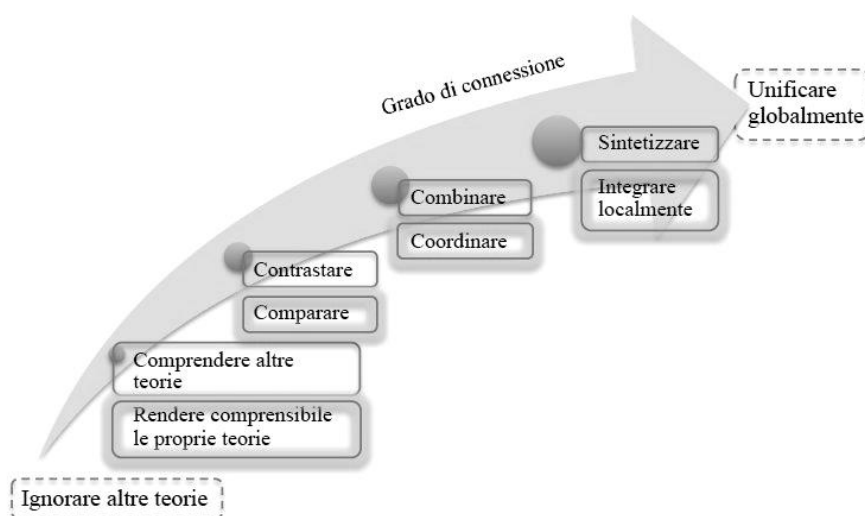


Figura 4. I gradi di connessione in una strategia di *networking* per i quadri di riferimento della didattica [da Prediger *et al.*, 2008, p. 170; Iori, 2016, p. 153].

Nella scala di connessione che si propone, tra i due poli estremi, 'Ignorare le altre teorie' e 'Unificare globalmente', vi sono vari gradi (Figura 4). Per la presente proposta si ritiene che il grado 'Combinare / Coordinare' sia quello che meglio descrive le relazioni tra i quattro nuclei fondanti scelti e schematizzati in Figura 1:

"Coordinare" e "combinare" le teorie sono strategie che hanno come scopo quello di utilizzare strumenti analitici differenti per lo studio di un dato problema pratico o per l'analisi di un fenomeno empirico. Il coordinamento può essere effettuato soltanto tra teorie le cui assunzioni o principi sono tra loro compatibili e le cui componenti empiriche o praxeologie (sistemi di pratiche di ricerca) sono complementari [Iori, 2016, p. 153].

In particolare, la coppia 'Combinazione / Coordinamento' consente di lavorare con teorie diverse per costruire un quadro concettuale o includere visioni complementari nella ricerca di un problema [Bikner-Ahsbahr, 2016]. Per la presente proposta si è scelto tra i due il termine Coordinare poiché i quattro nuclei fondanti si dispongono tra loro in

una progressione dall'astratto alla pratica. Per evidenziare i collegamenti si può schematizzare il *networking* con alcune parole chiave o concetti chiave di collegamento tra i nuclei della BMDD come nel seguente schema:

Bildung / Humanitas scientifica

Trasformazione dinamica del sentire matematico >
> aspetto storico-filosofico della disciplina

MKT

Conoscenza della disciplina e
della sua storia (SCK e SHK)

Docente

Declinazione della Matematica accademica in
quella scolastica a seguito di una profonda
comprensione del suo aspetto genetico

DiagD

La formazione si riunisce
all'educazione con il passaggio
in aula (trasposizione metadidattica)

TriangD

10. Discussione

La proposta teorica porta a non considerare una conclusione, ma più appropriatamente l'apertura di un'elaborazione per una sua sperimentazione.

Il presente quadro di riferimento coordinato è nato sia dallo studio dei singoli nuclei sia dalla constatazione sperimentale che l'abilitazione per l'insegnamento deve considerare per prima cosa l'essere del futuro docente, come proponeva Gadamer: si diventa per una professione e non si impara una professione. La dinamicità che la *Bildung* richiede per la continua propria trasformazione è quel motore interno che permette di non rendere la disciplina statica. L'assunto che fino a qualche decennio fa imperava era che 'chi sa insegna' come se una volta acquisito il sapere bisognasse solo iterarne la pratica didattica. Il presente quadro di riferimento, invece, pone alla sua base la dinamicità intellettuale del docente, sia in *pre-service* che *in-service*.

Questa dinamicità intellettuale è lo strumento che agisce con un approccio ermeneutico ed euristico. Ermeneutico come continua applicazione della triade hegeliana per la ricerca del significato ultimo anche nel contesto della storia umana. Euristico poiché la ricerca avviene in maniera inizialmente intuitiva per poi formalizzarsi in un metodo, in un formalismo. Con tale approccio complessivo la formazione è un continuo e, talvolta, non lineare percorso costellato di errori,

Formazione dei docenti e la Bildung: il quadro di riferimento BMDD

ripensamenti e slanci. Tutto ciò rappresenta in maniera naturale l'essenza della *Bildung* come percorso formativo e non come raggiungimento di un risultato.

In questo quadro di riferimento si sono venuti a collegare vari aspetti relativi alla formazione dei docenti:

- l'aspetto più intimo nel quale si svolge la maggior parte dell'attività elaborativa, molto spesso in maniera inconsapevole e non sempre tenuta nella doverosa considerazione. Elaborazione guidata dalla *Bildung* come continua trasformazione e presa di coscienza della crescita personale;
- l'aspetto di consapevolezza delle conoscenze disciplinari atte a formare un docente per la didattica e non solo alla didattica;
- l'aspetto strumentale che ne permette la concreta attuazione;
- l'aspetto dell'organizzazione, ossia quando e come il docente si forma indipendentemente dalla didattica. In questo modo il docente prende consapevolezza del suo essere in quel sistema complesso che è la scuola.

Tutti questi aspetti sono indicati nell'acronimo scelto per denominare il quadro di riferimento proposto e sono il risultato del *networking* adottato.

Nello studio del quadro teorico BMDD è possibile che sorga se non il dubbio, almeno la domanda sul motivo del collegamento interno della teoria della *Bildung* con la MKT, con la sua categoria-ponte della dimensione storica. La MKT mostra con le sue categorie una rappresentazione statica delle conoscenze poiché dedotte dall'analisi di documentazione prodotta nei concorsi. La stessa presentazione della MKT da parte di Shulman denotava la schematizzazione di una situazione dedotta dall'esterno. Quindi, attraverso documenti e non persone direttamente. L'introduzione della categoria-ponte ha lo scopo di proporre una dinamicizzazione del quadro facendo colloquiare i due domini. Nonostante ciò, la staticità non veniva alterata in maniera da costruire nuova conoscenza presentandosi, invece, più come un travaso. Le categorie fissano le conoscenze affidandosi all'esterno per il movimento tra di esse, ossia è il docente che le mette in movimento. Porre la teoria della *Bildung* a monte della MKT vuole non solo dare una dinamicità interna continua alle conoscenze, ma ne dà anche una giustificazione considerando le categorie stesse, specie la *Specialized Content Knowledge*, come un obiettivo da perseverare con un continuo avvicinamento ermeneutico al significato ultimo utilizzando sia la triade hegeliana e, se possibile, anche un approccio euristico.

Nella prospettiva di un possibile progetto sperimentale qualitativo per valutare come lente teorica il presente quadro BMDD, si possono suggerire due linee operative.

Una riguarda più la parte psico-pedagogica del sapere matematico di un docente. A questo fine, l'aggiornamento / studio di un docente per prima cosa deve operare una trasformazione nel docente stesso contemplando un cambiamento, un incremento, un aggiustamento, un'ulteriore conferma dei concetti. Pertanto, si pone immediatamente la questione: quale parte psicologica del docente si deve trasformare? Sicuramente non qualcosa di superficiale che potrebbe non aiutarlo nel superamento degli ostacoli epistemologici degli studenti essendo questi non meramente dipendenti dai tecnicismi disciplinari. Quindi, si deve andare più in profondità per definire e collocare una specie di luogo psichico dei significati che sia, però, al riparo dagli effetti superficiali, non profondamente ponderati. Ciò che viene ivi collocato non sono entità statiche, ma dinamiche e sempre disponibili a subire una modifica, ma che devono seguire un processo meditato e consapevole, eventualmente ripetuto più volte.

Una seconda si attua nello svolgimento di un corso di abilitazione e/o aggiornamento per i docenti nel quale la storia e la teoria dell'argomento matematico scelto siano presentati separatamente dalla sua trasposizione didattica. Tale separazione deve essere, poi, eliminata quando il docente è in classe. Tale separazione nasce dal fatto che i docenti in formazione seguono la stessa ponendo prioritariamente la questione del 'cosa devo fare in classe?', invece di formarsi per poi progettare la trasposizione didattica. Sembra quasi che si imponga un contratto didattico per il quale si deve acquisire un protocollo, una conoscenza per fare e non una conoscenza per progettare. Per inciso, qui si possono ritrovare gli aspetti statici e dinamici evidenziati per la MKT. Somministrando dei questionari prima e dopo il corso, analizzando le argomentazioni sollecitate con opportune domande presentate dal formatore e l'eventuale documentazione prodotta [Gueudet & Trouche, 2009] potrà essere possibile osservare la trasformazione. Per poter, poi, evidenziare il continuo lavoro della *Bildung*, opportuni questionari dovranno essere somministrati a distanza di tempo.

Volendo accennare a un confronto tra la BMDD e altri quadri di riferimento per la formazione dei docenti, bisogna evidenziare l'aspetto fondamentale della separazione tra educazione e formazione, ossia si pongono in evidenza due momenti distinti: la formazione fuori della classe e l'attività in classe. I due aspetti separati, seppur collegati, fanno sì che la BMDD si ponga a monte dei vari quadri che si incentrano sulla formazione dei docenti in classe come la *Lesson Study* [Bartolini Bussi & Ramploud, 2018]. Nella metodologia della *Lesson Study* un gruppo di docenti progettano e pianificano una o più lezioni. A seguire un docente del gruppo tiene la lezione progettata mentre gli altri osservano e prendono appunti su aspetti ritenuti peculiari. A seguire il gruppo si riunisce per una riflessione comune, eventualmente anche con il supporto di esperti esterni, per perfezionare i successivi interventi in classe. Le

discussioni collaborative su strategie e approcci didattici adottati, aiutano a far emergere punti critici e punti di forza al fine di riprogettare le attività e renderle mirate alle specifiche esigenze delle classi. In questo caso la fase non in classe può avere delle similitudine a un percorso di *Bildung* attuato con il confronto, visto che proprio la *Bildung* è sia un percorso interiore, ma aperto alla realtà.

Nel modello che studia la documentazione, la prasseologia e i *beliefs* sia dei docenti che dei loro formatori si parte da una situazione educativa reale dalla quale ricavare e cercare di formalizzare in modelli teorici i saperi insiti nel processo di insegnamento-apprendimento. In questo modello, denominato *Trasposizione Meta-Didattica* [Arzarelli *et. al.*, 2014], e nella sua evoluzione risultano avere un ruolo non secondario i *beliefs* sia dei docenti che dei formatori, ossia quell'insieme di credenze che si manifestano come agenti motivazionali nel processo di interiorizzazione delle componenti prasseologiche, pur nella loro evoluzione parallela alle prasseologie metadidattiche [Pocalana & Cerasaro, 2025]. Questi *beliefs*, come aspetti interiori del professionista didattico, possono essere messi in collegamento con la BMDD nella misura in cui si possono evolvere con la pratica della *Bildung* per un continuo dinamismo di miglioramento e/o conferma.

Come si vede dai suddetti confronti, il quadro BMDD non si pone in antitesi o al posto dei vari quadri di riferimento per la formazione dei docenti che si basano fondamentalmente sulla prasseologia in classe, ma li supportano nell'aspetto interiore per dare un senso alla didattica attraverso la consapevolezza interiore del docente stesso. A fronte di ciò ci si può domandare, anche in un'ottica di sperimentazione comparativa, se la formazione svolta direttamente in classe sia più o meno efficace di un percorso formativo che prima 'costruisca' l'essere per il docente e poi fa seguire l'attività pratica in classe. Ovviamente, nell'analisi comparativa non bisogna ragionare con il metro del più veloce, ma con quello del più efficace nell'essere dinamicamente attento all'evolversi sia della disciplina come anche alla maturazione degli studenti.

Ringraziamenti

Si ringrazia il referaggio per la puntuale analisi e per i suggerimenti per rendere il lavoro più completo.

Si ringraziano le prof.sse A. Fattori (Università di Roma Tor Vergata) e L. Giacardi (Università di Torino) per la condivisione dei commenti a parti del testo.

L'Autore ringrazia il Dipartimento di Matematica dell'Università di Roma Tor Vergata per il supporto del grant MatMod@TOV (2023-27) del Dipartimento di Eccellenza.

Bibliografia

- T. Aebischer. La Storia della Matematica nel Quadro di Riferimento della Mathematical Knowledge for Teaching (MKT): Una Proposta Teorica. *La Matematica e la sua Didattica*, 33(1):27–41, 2025. doi: <https://dx.doi.org/10.6092/issn.3035-2940/21830>.
- F. Arzarello, O. Robutti, C. Sabena, A. Cusi, R. Garuti, N. Malara, and F. Martignone. Meta-Didactical Transposition: a theoretical model for teacher education programmes. In A. Clark-Wilson, O. Robutti, and N. Sinclair, editors, *The Mathematics Teacher in the Digital Era: An International Perspective on Technology Focused Professional Development*, pages 347–372. Springer, 2014.
- G.T. Bagni. Storia e didattica della matematica, una prospettiva ermeneutica. *G.R.I.M. Quaderni di Ricerca in Didattica*, 19:45–57, 2009.
- D.L. Ball. *What mathematical knowledge is needed for teaching mathematics? Secretary's Summit on Mathematics*. U.S. Dept. of Education, 2003.
- D.L. Ball, M.H. Thames, and G.C. Phelps. Content knowledge for teaching: what makes it special?. *Journal of Teacher Education*, 59(5):389–407, 2009. doi: <https://dx.doi.org/10.1177/0022487108324554>.
- D.L. Ball, M.H. Thames, H. Bass, L. Sleep, J. Lewis, and G.C. Phelps. A practice-based theory of Mathematical Knowledge for Teaching. In M. Tzekaki, M. Kaldrimidou, and C. Sakonidis, editors, *Proceedings of the 33rd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, 1, pages 95–98, 2003.
- M.G. Bartolini Bussi, and A. Ramploud, editors. *Il lesson study per la formazione degli insegnanti*. Carocci Faber, 2018.
- A. Bikner-Ahsbahs. Theories in and of Mathematics Education. In A. Bikner-Ahsbahs, A. Vohns, R. Bruder, O. Schmitt, and W. Dörfler, editors, *Theories in and of Mathematics Education. Theory Strands in German Speaking Countries*, ICME-13 Topical Surveys, pages 33–42. Springer, 2016.
- W. Böhm. "Bildung" come concetto fondamentale della pedagogia tedesca. *Rassegna di Pedagogia*, 4:249–261, 1991. doi: <https://dx.doi.org/10.36253/ssf-14012>.
- G. Bolondi. Alcuni snodi della formazione dell'insegnante di Matematica. In C. Catastini, F. Ghione, and E. Rogora, editors, *Atti convegno 'La formazione degli insegnanti di Matematica. Italia ed Europa a confronto'*, PRISTEM/Storia, 36-37, pages 35–43. Egea, 2012.
- A. Broccoli. Tra paideia e Bildung. Note per una rilettura del paradigma umanistico in educazione. In V.A. Piccione, editor, *Idee e riflessioni per un nuovo umanesimo pedagogico*, pages 39–47. Roma Tre Press, 2024.

Formazione dei docenti e la Bildung: il quadro di riferimento BMDD

- P. Bussotti. Enriques e Hilbert: fondamenti della matematica e questioni conoscitive. In P. Bussotti, editor, *Federigo Enriques e la cultura europea*, 7, pages 69–100. Agorà Publishing, 2008.
- M. Conti. Imparare a essere se stessi: l'educazione secondo Humboldt. *Il Cubo* (online). 2021. URL <https://www.circolocubounibo.it/imparare-a-essere-se-stessi-leducazione-secondo-humboldt>.
- M. Crotti. La riflessività nella formazione alla professione docente. *Edetania*, 52:85–106, 2017.
- B. D'Amore. Il "triangolo" allievo-insegnante-sapere in didattica della matematica. *L'educazione matematica*, 3(2):104–113, 2001.
- B. D'Amore. Il ruolo dell'epistemologia nella formazione degli insegnanti di Matematica nella scuola secondaria. *La matematica e la sua didattica*, 4:4–30, 2004.
- B. D'Amore, L. Radford, and G.T. Bagni. Ostacoli epistemologici e prospettiva socio-culturale. *L'insegnamento della Matematica e delle Scienze Integrate*, 29b(1):11–39, 2006.
- H. Danner. 'Bildung'. A basic term of German education. *Educational Sciences*, 9:1–29, 1994.
- J.A. Dossey. The nature of mathematics: its role and its influence. In D.A. Grouws, editor, *Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning*, pages 39–48. Macmillan, 1992.
- F. Enriques. Programma. *Rivista di Scienza*, I:1–3, 1907.
- F. Enriques. *Scienza e razionalismo*. Zanichelli, 1912.
- F. Enriques. Insegnamento dinamico. *Periodico di matematica*, IV(I):6–16, 1921.
- F. Enriques. *Problemi della Scienza*. Zanichelli, 1926.
- F. Enriques. *Il significato della storia del pensiero scientifico*. Zanichelli, 1936.
- F. Enriques. *Le matematiche nella storia e nella cultura*. Zanichelli, 1926.
- A.D. Fitriani, and D. Juandi. Effect of mathematical content knowledge on Mathematical Knowledge for Teaching. *Journal for Educators, Teachers and Trainers*, 14(5):299–308, 2023. doi: <https://dx.doi.org/10.47750/jett.2023.14.05.029>.
- F. Furinghetti. *Matematica come processo socioculturale*. IPRASE Trentino, 2002.
- H.-G. Gadamer. *Verità e metodo*. Bompiani, 1960.
- H.-G. Gadamer. *Educare è educarsi*. il Melangolo, 2000.
- H.-G. Gadamer. *Bildung e Neoumanesimo*. il Melangolo, 2012.
- U. Gellert, L. Hefendehl-Hebeker, H.N. Jahnke, and T. Leuders. Educational Research on Mathematics. A Short Survey of Its Development in German Speaking Countries. In H.N.

- Jahnke, and L. Hefendehl-Hebeker, editors, *Traditions in German-speaking mathematics education research*. ICMI-13 Monograph, pages 1–23. Springer, 2019.
- M. Gennari. *Storia della Bildung. Formazione dell'uomo e storia della cultura in Germania e nella Mitteleuropa*. La Scuola, 1995.
- M. Gennari. Postfazione. In H.-G. Gadamer. *Educare è educarsi*. il Melangolo, 1999.
- M. Gennari. *Filosofia della formazione dell'uomo*. Bompiani, 2001.
- M. Gennari. *Didattica generale*. Studi Bompiani, 2002.
- M. Gennari. La nascita della Bildung. *Studi sulla Formazione*, 1:131–149, 2014. doi: https://dx.doi.org/10.13128/Studi_Formaz-15038.
- M. Gennari. Sul concetto di Dasein. *Studi sulla Formazione*, 26(2):245–248, 2023. doi: <https://dx.doi.org/10.36253/ssf-14912>.
- G. Gerardi. *La nozione di "Bildung" nel primo Hegel*, pages 9–15. LED Edizioni Universitarie, 2012.
- L. Giacardi. Federigo Enriques (1875-1946) and the training of mathematics teachers in Italy. In S. Coen, editor, *Mathematicians in Bologna 1861-1960*, pages 209–275. Springer, 2012. doi: https://dx.doi.org/10.1007/978-3-0348-0227-7__9.
- L. Giacardi. Le 'battaglie' di Federigo Enriques in difesa della Humanitas scientifica e le ricadute sull'insegnamento della matematica. *Scientia*, I(2):73–126, 2023.
- M. Giosi. Goethe e la Bildung, tra arte, natura, educazione. *Studi sulla Formazione*, 25(2):141–149, 2022. doi: <https://doi.org/10.13128/ssf-14205>.
- G. Gueudet, and L. Trouche. Towards new documentation systems for mathematics teachers?. *Educational Studies in Mathematics*, 71(3):199–218, 2009.
- J. Hadamard. *La psicologia dell'invenzione in campo matematico*. Raffaello Cortina Editore, 2022.
- I. Heidt. Exploring the Historical Dimensions of Bildung and its Metamorphosis in the Context of Globalization. *L2 Journal*, 7(4):2–16, 2015.
- W. v. Humboldt. Theorie der Bildung des Menschen [Teoria dell'educazione umana]. Traduzione in inglese di G. Horton-Krüger. In I. Westbury, S. Hopmann, and K. Riquarts, editors, *Studies in curriculum theory. Teaching as a reflective practice. The German Didaktik tradition*, pages 57–61. Lawrence Erlbaum Associates, 1793/1794.
- M. Iori. Riflessioni sui fondamenti teorici della ricerca in didattica della matematica nella sua complessità e problematicità. *Matematica e la sua didattica*, 24(1-2):145–161, 2016.
- A. Kaiser, editor. *La Bildung ebraico-tedesca del Novecento*. Studi Bompiani, 2006.

Formazione dei docenti e la Bildung: il quadro di riferimento BMDD

- F. Klein. *Elementarmathematik vom höheren Standpunkte aus* [Matematica elementare dal punto di vista superiore], 3 voll.. B.G. Teubner, 1908.
- M. Maimone. Interpretando Gadamer: Libertà ed Educazione, Bildung e Conoscenza. In F. Pesci, editor, *La mediazione pedagogica. Studi e ricerche tra filosofia e pedagogia. Quaderni del Laboratorio Montessori, 1*, pages 1–13, 2015.
- M. Mellone, C.M. Ribeiro, and A. Jakobsen. Dare senso alle risposte degli studenti: la conoscenza interpretativa nella formazione insegnanti. *Didattica della Matematica*, 3:50–62, 2018. doi: <https://dx.doi.org/10.33683/ddm.18.3.3>.
- MIM (Ministero dell'Istruzione e del Merito). *Linee guida per le discipline STEM*, 2023.
- MIUR (Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca). Indicazioni nazionali per il curriculum della scuola dell'infanzia e del primo ciclo d'istruzione. *Annali della Pubblica Istruzione, LXXXVIII*, numero speciale. Le Monnier, 2012.
- Y. Miyamoto. Wilhelm von Humboldt's Bildung theory and educational reform: reconstructing Bildung as a pedagogical concept. *Journal of Curriculum Studies*, 54(1):1–17, 2022. doi: <https://dx.doi.org/10.1080/00220272.2021.1949750>.
- G. Monsagrati. Matteucci, Carlo (voce). In *Enciclopedia Treccani*. URL [https://www.treccani.it/enciclopedia/carlo-matteucci_\(Il-Contributo-italiano-alla-storia-del-Pensiero:-Scienze\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/carlo-matteucci_(Il-Contributo-italiano-alla-storia-del-Pensiero:-Scienze)). 2013.
- M. Morandi. *La scuola secondaria in Italia. Ordinamento e programmi dal 1859 ad oggi*. FrancoAngeli, 2014.
- L. Nicotra. Federigo Enriques: tra filosofia e matematica (I). *ArteScienza*, 10:5–34, 2018. doi: <https://dx.doi.org/10.30449/AS.v5n10.085>.
- L. Nicotra. Federigo Enriques: tra filosofia e matematica (III). *ArteScienza*, 13:5–51, 2020. doi: <https://dx.doi.org/10.30449/AS.v7n13.111>.
- L. Nicotra. La disputa fra Federigo Enriques e i neoidealisti italiani: una disfatta dell'Enriques?. *Science & Philosophy*, 12(1):97–167, 2024.
- J. Östling. *Humboldt and the modern German university. An intellectual history*. Lund University Press, 2018.
- B. Pepin. Exploring mathematics teacher knowledge for teaching: mathematics teachers in England, France and Germany. *Orbis Scholae*, 3(2):27–46, 2009.
- G. Pocalana, and S. Cerasaro. Joint professional development of teachers and researchers. *For the Learning of Mathematics*, 45(3):20–26, 2025.

- O. Pompeo Faracovi. Enriques, Gentile e la Matematica. In L. Giacardi, editor, *Da Casati a Gentile momenti di storia dell'insegnamento secondario della matematica in Italia*, pages 305–321. Lumières Internationales, 2006.
- S. Prediger, A. Bikner-Ahsbahs, and F. Arzarello. Networking strategies and methods for connecting theoretical approaches: first steps towards a conceptual framework. *ZDM Mathematical Education*, 40(2):165–178, 2008.
- S. Prediger, and K. Erath. Content, Interaction, or Both? Synthesizing Two German Traditions in a Video Study on Learning to Explain in Mathematics Classroom Microcultures. *Eurasia Journal of Mathematics, Science, and Technology Education*, 10(4):313–327, 2014.
- L. Radford. History of mathematics and mathematics education. In M.N. Fried, and T. Dreyfus, editors, *Mathematics, and mathematics education: Searching for common ground*, pages 89–109. Springer, 2014.
- H. Saeverot. Hegel's Phenomenology of Spirit as Bildungsroman. *Studies in Philosophy and Education*, 43(1):1–13, 2023. doi: <https://dx.doi.org/10.1007/s11217-023-09904-5>.
- S. Sansavini. Il difficile dialogo fra le culture umanistica e scientifica. *Il Carrobbio*, 15:1–18, 2014.
- S. Sbaragli. Il ruolo dell'interpretazione personale in aula. In B. D'Amore, and S. Sbaragli, editors, *Un quarto di secolo al servizio della didattica della matematica. Atti del convegno Incontri con la matematica n. 25*, pages 47–52. Pitagora Editrice Bologna, 2011.
- G. Schubring. On Historiography of Teaching and Learning Mathematics. In A. Karp, and G. Schubring, editors, *Handbook on the History of Mathematics Education*, pages 3–8. Springer, 2014.
- L.S. Shulman. Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational researcher*, 15(2):4–14, 1986.
- G. Sola. *Umbildung. La "trasformazione" nella formazione dell'uomo*. Bompiani, 2003.
- G. Sola. *La formazione originaria. Paideia, humanitas, perfectio, dignitas hominis, Bildung*. Studi Bompiani, 2018.
- A. Sørensen. *Bildung* in Hegel's *Phenomenology*. Acute Alienation and Education. In A. Campillo, and D. Manzanero, editors, *Actas I Congreso internacional de la Red española de Filosofía, IX*, pages 63–80. Publicacions de la Universitat de València, 2015.
- C.A. Taylor. Is a posthumanist bildung possible? Reclaiming the promise of bildung for contemporary higher education. *Higher Education*, 74(3):419–435, 2016.
- R. Tobies. Felix Klein (1849-1925): Symbiosis of History, Teaching, and Culture. In K. Bjarnadóttir, F. Furinghetti, A. Karp, J. Prytz, G. Schubring, Y. Weiss, and J. Zender, editors,

Formazione dei docenti e la Bildung: il quadro di riferimento BMDD

"Dig where you stand" 7. Proceedings of the seventh International Conference on the History of Mathematics Education. WTM-Verlag, 2023.

M. Tombolato. Promuovere la competenza epistemica attraverso l'educazione scientifica. Il ruolo della storia della scienza e dell'epistemologia nella formazione degli insegnanti. *Annali online della Didattica e della Formazione Docente*, 15(25) (supplemento):286–296, 2023.

F. Varanini. La formazione come arte letteraria: ovvero la Morfosfera. *Rivista Aif per la formazione*, 1(90):45–49, 2012.

H.-G. Weigand, W. McCallum, M. Menghini, M. Neubrand, and G. Schubring, editors. *The Legacy of Felix Klein*. Springer, 2019. doi: <https://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-99386-7>.

L. Zuccheri, and V. Zudini. Didattica della matematica nell'Impero asburgico e nel Regno d'Italia all'inizio del XX secolo: un confronto. *Quaderni CIRD*, 4:6–19, 2012.

On the Prospects for a Unified Theory of Physics: A Belated Response to Stephen Hawking

Leemon B. McHenry¹

Abstract

As theoretical physicist Stephen Hawking speculated on the prospects for a complete, unified theory in his 1988 book, *A Brief History of Time*, he appeared to embrace both scientific realism and instrumentalism. Since these two views in the philosophy of science are inconsistent, over the course of the next twenty-two years, Hawking modified his views until he arrived at his model-dependent realism, but he never resolved the inconsistency completely. In this paper I explain the inconsistency, respond to Hawking's criticism of philosophers of science and examine the key problems for a unified theory of physics.

Keywords: instrumentalism, scientific realism, model-dependent realism, unification of physics.²

If then, Socrates, amidst the many opinions about the gods and the generation of the universe, we are not able to give notions which are altogether and in every respect exact and consistent with one another, do not be surprised. Enough if we adduce probabilities as likely as any others, for we must remember that I who am the

¹ Department of Philosophy, California State University, Northridge, USA; leemonmchenry@csun.edu.

² Received on October 29, 2025. Accepted on December 27, 2025. Published on December 31, 2025.

doi: 10.23756/sp.v13i2.1720. ISSN 2282-7757; eISSN 2282-7765. ©Leemon Benton McHenry. This paper is published under the CC-BY licence agreement.

speaker and you who are the judges are only mortal men, and we ought to accept the tale which is probable and inquire no further.” —Plato, Timaeus, (29d)

1. Introduction

Stephen Hawking’s contributions to theoretical physics earned him a place in the pantheon of great scientists. Like Einstein, he reflected on the general nature of physics, its philosophical implications and his expectations for a unified theory.

In 1989, I published a review of Hawking’s blockbuster book, *A Brief History of Time*, in *The Review of Metaphysics*. I argued that there was an epistemic inconsistency in Hawking’s views about a unified theory of physics in that he appeared to advance both an instrumentalist and realist position (1989, p. 627). Other scientists and philosophers made similar criticisms of Hawking after I published my review.³

In a lecture given at Caius College, Cambridge, in 1992 and published in *Black Holes and Baby Universes and Other Essays*, Hawking responded as follows:

... I will discuss my approach to how one can understand the universe: what is the status and meaning of a grand unified theory, a ‘theory of everything.’ There is a real problem here. The people who ought to study and argue about such questions, the philosophers, have mostly not had enough mathematical background to keep up with modern developments in theoretical physics. There is a subspecies called philosophers of science who ought to be better equipped. But many of them are failed physicists who found it too hard to invent new theories and so took to writing about the philosophy of physics instead. They are still arguing about the

³ Mendel Sachs, for example, who had worked on the unification of relativity theory and quantum mechanics criticized Hawking for exaggerating the extent to which a *final answer* toward a fundamental explanation of the universe is possible and argued that the stumbling block that is yet to be overcome is a major logical and mathematical incompatibility between the two theories. He wrote: “... in the *required* extension of quantum mechanics to relativistic quantum field theory, one arrives at a mathematical formalism that has no solutions—because of infinities that automatically appear” (1993, 544).

scientific theories of the early years of this century, like relativity and quantum mechanics. They are not in touch with the present frontier of physics.

Maybe I'm being a bit harsh on philosophers, but they have not been very kind to me. My approach has been variously described as naïve and simpleminded. I have been variously called a nominalist, an instrumentalist, a positivist, a realist, and several other ists. The technique seems to be refutation by denigration: If you can attach a label to my approach, you don't have to say what is wrong with it. Surely everyone knows the fatal errors of all those isms.

The people who actually make the advances in theoretical physics don't think in the categories that the philosophers and historians of science subsequently invent for them (1993, pp. 41-42).

In so far as Hawking ventured into the territory of philosophy of science, his view on the nature of theories was subject to criticism. Philosophers of science are not failed physicists; they are rather philosophers who examine a unique set of problems about the nature of science and scientific theories, its goals, scientific method and the metaphysical presuppositions of any scientific epoch. The two greatest philosophers of science of the twentieth century, Karl Popper and Thomas Kuhn were trained in physics but they and most others could not be described as failed physicists. It is not as if they were physicists who, having failed in their careers, then turned their attention to philosophy of science as a second career consolation. Popper's *Logic of Scientific Discovery* (1959) and Kuhn's *The Structure of Scientific Revolutions* (1962) are classics in the subject. Popper's work in particular had such an influence that it was endorsed by several distinguished scientists among whom Sir Herman Bondi, Sir Peter Medawar and Sir John Eccles were known in Britain as "The Popperian Knights." His conception of how science should function with the highest degree of rigorous testing of hypotheses and by facing up to the results of a negative experiment was widely praised by both philosophers and scientists.

What I think is right about Hawking's criticism is that philosophers of science should have a solid foundation in science lest their concerns become so esoteric and detached as to be of

no relevance to the actual practice of science.⁴ A philosophy *of* science depends on the existence of science in the first place. We might therefore describe the empirical inquiries of science as a first-order discipline, and the theoretical inquiries of the philosophy of science as a second-order discipline, but sometimes the boundary between theoretical physics and technical philosophy of science is hard to define. The limits of observation fade into pure theory.

I should not consider it denigrating nor a refutation to characterize a physicist's approach as nominalist, instrumentalist, positivist, or realist, but it is a problem to propose an inconsistent position. In order to clarify the different positions in Hawking's theorizing in the philosophy of science, we must distinguish between the following positions:

Realism—an objective reality, the external, physical world exists independently of mind or consciousness. Scientific realism claims that science aims to provide a literally true account of reality and that the entities postulated in confirmed scientific theories correspond to, or approximate, an external reality.

Instrumentalism— theories, models and concepts are useful instruments for explanations, predictions and problem solving but do not represent an objective reality independent of mind or consciousness.

Positivism—observational evidence is indispensable for knowledge of the world; our scientific theories are empirically confirmed by observation and experiment. Metaphysical claims are unverifiable and therefore should be eliminated from science.

Anti-realism —Scientific anti-realism claims that the unobservable entities postulated in scientific theories are instruments to aid the success of the theory but no claim of their existence.

Model-dependent realism—there is no theory-independent concept of reality and a physical theory is a model and a set of rules that connect the elements of the model to observations.

⁴ Steven Weinberg agrees with Hawking that physicists are not guided much by philosophy, but that physicists do carry around with them a working philosophy, a rough-and-ready realism, i.e., a belief in the objective reality of the ingredients of their scientific theories (1992, p. 167).

2. The Nature of Scientific Theories

According to an incrementalist view, science over time accumulates an ever-increasing stock of truths whereby later science absorbs what was true in earlier theories and adds to it. Later science thereby becomes more correct than earlier science by getting closer to the objective truth. Both Popper and Kuhn, however, espoused an anti-incrementalism because the history of science tells another story. The major episodes of scientific revolution demonstrate the discontinuities in science. At best, for Popper, we have refutations of our theories but never confirmations. In other words, at a scientific revolution, such as the Copernican Revolution, the Einsteinian Revolution or the Darwinian Revolution, all bets are off with regard to what we previously believed to be true. In this respect, it would be naïve to believe that “we may now be near the end of the search for the ultimate laws of nature” (1988, p. 156). Hawking’s optimism for a complete unified theory before the end of the twentieth century was obviously misplaced.⁵ This, of course, is easier to see in retrospect from the perspective of the twenty-first century but the entire history of science already suggested that the achievement of a unified theory is never a final theory.

With respect to the inconsistency, Hawking offered strong epistemic confidence when he made assertions regarding a final theory or the end of particle physics. This we might call “realism with confirmation” or scientific realism, that there really is an external world to which our theories map onto and we get progressively better at the mapping of theory to observation and predictions. Scientific theories attempt to produce accurate representations of the world. This is exemplified by Hawking’s optimism for a unified theory which he said we are now in a much better position to find because we know so much more about the universe (1988, p. 156) and we could be reasonably confident that a mathematically consistent theory that gave predictions that agreed with observations “would bring to an end a long and glorious chapter in the history of humanity’s intellectual struggle to understand the universe” (1988, p. 167). Again, he wrote that “... it is reasonable to suppose that we might progress ever closer towards the laws that govern the universe” (1988, p. 12). And with regard to the search for elementary particles, he wrote: “... we do have some theoretical

⁵ Also see Hawking’s 1980 inaugural lecture as Lucasian Professor of Mathematics at Cambridge, “Is the End in Sight for Theoretical Physics,” in which he expressed cautious optimism for a complete, consistent and unified theory by the end of the twentieth century (1993, pp. 49-68).

reasons for believing that we have, or are very near to, a knowledge of the ultimate building blocks of nature” (1988, p. 66) since an infinite sequence of more and more refined theories about ultimate particles is limited by gravity as we go to higher and higher energies (1988, p. 167).

On the other hand, Hawking offered weak epistemic confidence when he claimed that a physical theory is never proved, that it is “always provisional in the sense that it is only a hypothesis” (1988, p. 10). He alluded to the problem of induction when he wrote: “No matter how many times the results of experiments agree with some theory, you can never be sure that the next time the result will not contradict the theory” and refers to Popper’s falsification—a theory is corroborated by an experiment but is never confirmed (1988, p. 10).⁶ At best our theories are mathematically consistent and make predictions that agree with observations for a period of time (1988, p. 167). Hawking stated that scientific theories are just mathematical models we create to describe our observations, they exist only in our minds, and it is meaningless to ask which is more real since the choice depends on “which is the more useful description” (1988, p. 139). These comments suggest an instrumentalist position, that scientific theories are merely useful for explaining our observations and making predictions, but do not represent, or get closer to, an objective truth.

In *Black Holes and Baby Universes and Other Essays* published in 1993, Hawking explicitly addressed the realist-instrumentalist issue in what appears to be an attempt to resolve the inconsistency. In answering the question: “how can we make reality the basis of our philosophy?” he claimed he is a realist about the existence of an external world, but affirmed once again that “it makes no sense to ask if a theory corresponds to reality, because we do not know what reality is independent of a theory” (1993, p. 44), i.e., instrumentalism. But then in his book published with Leonard Mlodinow in 2010, *The Grand Design: New Answers to the Ultimate Questions of Life*, he wrote that “the universe has no single history,

⁶ Hawking also endorsed Popper’s philosophy of science, when he wrote: “Any sound scientific theory, whether of time or of any other concept, should in my opinion be based on the most workable philosophy of science: the positivist approach put forward by Karl Popper and others” (2001, p. 31). This statement is odd for two reasons: (i) he had already stated in 1993 that “[t]he people who actually make the advances in theoretical physics don’t think in the categories that the philosophers and historians of science subsequently invent for them” (1993, pp. 41-42) and (ii) Popper was not a positivist. In fact, his key concept of falsification was the result of his criticism of the positivists’ focus on confirmation.

nor even an independent existence” (2010, p. 6; also see pp. 34, 43-44). So, it appears that by 2010 Hawking had finally abandoned the commonsense notion of realism because quantum mechanics demanded its rejection (2010, pp. 5-6, 44, 140).

Hawking provided further clarification for what he called his “model-dependent realism,” the view that there is no theory-independent concept of reality and that a physical theory is a model and a set of rules that connect the elements of the model to observations (2010, pp. 7, 42-43).⁷ In this connection, Hawking and Mlodinow wrote:

But there may be different ways in which one could model the same physical situation, with each employing different fundamental elements and concepts. If two such physical theories or models accurately predict the same events, one cannot be said to be more real than the other; we are free to use whichever model is most convenient (2010, p. 7).

This expresses the well-known Quine-Duhem thesis, “underdetermination of theory,” in the philosophy of science, that any theory, hypothesis or model will always be underdetermined by the observational data or evidence. There will be innumerable theories, hypotheses and models (unlimited as there are unlimited scientific geniuses who will create them) and each of these will be compatible with the evidence but incompatible with one another (Duhem, [1914], 1954; Quine 1975).

Since this idea of model-dependent realism proposed that reality itself is impossible to reach, it is anti-realism (in spite of Hawking’s use of the term “realism”) and instrumentalism, and in these two books we see less of what I have called above “strong epistemic confidence.”

⁷ In 1996 Hawking had already expressed the basic idea for model-dependent realism in a debate with Roger Penrose when he wrote that: “a physical theory is just a mathematical model and it is meaningless to ask whether it corresponds to reality” (1996, p. 4). He described his position here as positivism rather than instrumentalism in contrast to Penrose’s Platonism but model-independent realism is not positivism. Moreover, in *The Universe in a Nutshell*, Hawking repeatedly identified his approach as positivism (2001, pp. 118, 127, 180, 198-199) but positivism understood as confirming or falsifying a theory by experimental results (2001, p. 180) is conflated with the usefulness of a model (2001, pp. 127, 198). The definition of the positivist approach in the glossary—“the idea that a scientific theory is a mathematical model that describes and codifies the observations we make”—(2001, p. 201) together with positivism described as the idea that “[o]ne is free to use whichever model is most convenient” more accurately describes instrumentalism. (2001, p. 198).

There is also a striking affinity with Kuhn's position that there is no paradigm-independent concept of reality, but Kuhn himself struggled with the consequences of his own theory, namely, skepticism and relativism by those who attacked the objectivity of science (1962, pp. 205-207).

But then Hawking and Mlodinow end their book *The Grand Design* with an astonishing claim for M-Theory, "the *only* candidate for a complete, theory of the universe," which if "confirmed by observation, it will be the successful conclusion of a search going back more than 3,000 years. We will have found the grand design" (2010, p. 181). The use of the terms "confirmed" and "successful conclusion" within the context of the model-dependent realism still shows the original tension between the hopes for a final theory and instrumentalism. The notion that scientific theories can be confirmed remains in conflict with Hawking's acknowledgement that scientific theories can never be proved.

So, to be clear, it is inconsistent to maintain that scientific theories such as the Theory of Everything will bring about an end to theoretical physics and that scientific theories cannot be confirmed or proved. It is not inconsistent to believe in a mind-independent, external reality and that scientific theories cannot be confirmed, for a belief in an external reality does not conflict with the belief that our knowledge of that external reality is an endless series of conjectures and refutations or that we only have approximations to reality when theories appear to be confirmed. Hawking apparently attempted to resolve the inconsistency with his theory of model-dependent realism but the problem about confirmation remains.

Hawking famously and provocatively announced in *The Grand Design* that "philosophy is dead" since "it has not kept up with modern developments in science, particularly physics" (2010, p. 5). His point is that physicists have replaced philosophers in the quest for knowledge. While it is true that there are philosophers who attempt to discover the nature of reality by pure reason independently of science, others do keep up with modern developments in science. The latter group includes Bertrand Russell, Alfred North Whitehead, C. D. Broad, Rudolf Carnap, Karl Popper, Thomas Kuhn, and W. V. Quine from the twentieth century and Tim Maudlin, Nicholas Maxwell, Nancy Cartwright, Jeremy Butterfield and John Dupré today. There is no doubt that physics is at the cutting edge of reality, however, this has not left philosophers with nothing to do. But more importantly, and once again, Hawking himself, in venturing into the territory of philosophy by proposing his own theory about physical theories, is doing philosophy. For example, as Hawking became acutely aware of

the complex interdependence between theory and observation, he advanced his model-dependent realism which has elements of instrumentalism, anti-realism and underdetermination of theory as noted above. He proposed a theory of perception which closely resembles John Locke's representative theory of perception (2010, pp. 46-47). And when he described the criteria for theory selection, "beautiful and elegant theories," as he called them, he included aesthetic qualities, logical consistency and empirical criteria such as agreement with observations, the ability to make predictions and comprehensive explanatory power (1993, p. 42). Here Hawking is not doing physics nor is he constructing a physical theory; he is rather engaging in meta-theory speculation which is a part of the philosophy of science. In other words, Hawking has gone beyond the physicist's quest to discover the nature of reality by engaging in philosophical speculation about a theory of theories. In his role of physicist replacing the philosopher, he has not only failed to defend a consistent position; he has also failed to acknowledge how much philosophy of science or epistemology informs or predates the position he is arguing.

3. Key Problems for a Unified Theory of Physics

Unified theories offer theoretical simplification achieved in the form of elegant equations and broad explanatory and predictive power. They are the central focus of theoretical physics and scientific progress is often measured in terms of success toward this goal. Some of the greatest advances in physics were achieved when previously believed separate phenomena were discovered to be aspects of the same phenomenon. At each step of a successful unification physicists appear to be on the right track, that the universe is comprehensible and the equations express an underlying beauty in nature. Celestial and terrestrial motions were united in Newton's law of gravitation. Electricity, magnetism and light were unified in the electromagnetic theories of Faraday and Maxwell. Mass and energy were fused in Einstein's special theory of relativity. Space and time were unified in his special and general theories of relativity. So, the quest for the Theory of Everything is a natural step in process but it has been one of the most complex and difficult challenges ever since Einstein sought and failed to unify general relativity and electromagnetism.

Hawking's proposal for the unification of physics in *A Brief History of Time* is the quantum theory of gravity, the theory that attempts to describe gravity according to the principles of quantum mechanics. In quantizing gravity—incorporating quantum fields into

a curved space—there is the problem that relativity theory requires space-time to be smooth and continuous, but quantum mechanics requires quantization. In quantum field theory, the universe is comprised of fields and the waves within those fields come in discrete packets. The photon, for example, is theoretically a discrete wave-packet in the electromagnetic field. Incorporating gravity into quantum field theory requires that the waves in the gravitational field would also come in discrete wave-packets, hence the proposal for the hypothetical particle, the graviton. Physicists working on quantum gravity seek to describe the gravitational force in terms of quantum field theory, but a complete and mathematically consistent theory remains elusive and empirical testing is extremely difficult.

Another fundamental problem for any unification of modern physics is the problem of time because the two most difficult theories to reconcile — the general theory of relativity that describes the large-scale structure of the universe determined by gravity and quantum mechanics which describes the laws for the small-scale structure of the universe — propose two completely different theories. Time in general relativity is conceived as one aspect of the four-dimensional space-time, according to which time is inseparable from space-time and the flow of time is treated as an illusory subjective phenomenon whereas in quantum mechanics, time is understood as classical clock time, ticking away independent of a quantum system. In the former, nothing really happens because everything is already there—from the trajectories of subatomic particles to the revolutions of planets, stars and galaxies fixed eternally in the four-dimensional block. In the latter, however, something does happen at the collapse of the wave function that wasn't already there in reality. So, a consistent unification of time is required for the final link of unifying the Standard Model of particle physics with general relativity. Elsewhere I have argued that both quantum mechanics and general relativity require modifications in the concept of time in order to achieve this unification. Quantum mechanics must give up the classical clock time and general relativity must give up the block universe and the view that time is merely a subjective phenomenon (2015, pp. 87-98).

Hawking explained the main difficulty of unification as incorporating the uncertainty principle into general relativity since general relativity is a “classical” theory and quantum mechanics is not. (1988, pp. 156-157). Heisenberg’s principle that it is impossible to measure both the velocity and position of a single particle at the same time introduced the element of chance or randomness into the universe. Hawking wrote: “In general, quantum

mechanics does not predict a single definite result for an observation. Instead, it predicts a number of different possible outcomes and tells us how likely each of these is” (1988, p. 55). In other words, how do we reconcile the ontological determinism of general relativity with the probabilism in quantum mechanics? Einstein, in expressing his view that the universe operates according to a rigid determinism, famously complained of quantum mechanics: “God does not play dice with the universe.” Nonetheless, the overwhelming majority of quantum physicists have affirmed the probabilistic nature of the quantum world.⁸ The creators of quantum mechanics, Bohr, Heisenberg, Schrödinger and Dirac agreed that the quantum domain is made up of quantum entities – electrons, photons, atoms—that are different in character than anything in deterministic classical physics. This is sometimes called “quantum weirdness.” While quantum mechanics is notoriously difficult to characterize due to so many interpretations of it,⁹ in one version advanced by Heisenberg, quantum entities are probabilistic entities in that the evolution and collapse of the wave function is characterized as a transition from the possible to the actual (1958, pp. 54-55).

The determinism/probabilism problem is built into the problem of two different theories of time, since general relativity is deterministic, with past, present and future all ontologically fixed in the four-dimensional space-time and the probabilistic quantum theory proposes an open future for the evolution of quantum states.

This leads to the question: what is time in Hawking’s *A Brief History of Time*? His view of time in the proposed quantum theory of gravity involves two essential features: (i) Feynman’s formulation of the quantum theory in terms of a sum over histories approach, modified by his proposal of “imaginary time,” according to which waves for particle histories are measured using imaginary numbers rather than real ones, and (ii) Einstein’s theory of general relativity as a representation of the structure of the gravitational field. Feynman’s

⁸ Hawking affirmed the probabilistic nature of quantum mechanics when he argued “no matter how much information we obtain or how powerful our computing abilities, the outcomes of physical processes cannot be predicted with certainty because they are not determined with certainty. Instead, given the initial state of a system, nature determines its future state through a process that is fundamentally uncertain” (2010, p. 72).

⁹ The Copenhagen Interpretation, the pilot-wave ontology, the many-worlds ontology, the spontaneous-reduction models, relativistic quantum field theory, and the actual events ontology, for example.

sum over histories applied to Einstein's theory of gravity results in a view of the history of particles in a curved space-time that represents the history of the whole universe.

Imaginary time is required because matter and energy produce a spacetime curved in on itself. Since real time leads to singularities where the laws of physics don't work and we cannot make predictions, imaginary time allows us to explain how the three space directions and the imaginary time direction would form a spacetime that was closed in on itself, without boundaries nor edges, nor any beginning or end (1988, p. 141; 1993, p. 82). The universe is thus self-contained and in imaginary time, there is no important difference between the forward and backwards directions (1989, pp. 143-144). Hawking claimed that imaginary time, while difficult to grasp, will one day become an "intellectual leap of the same order as believing that the world is round" (1993, pp. 81-82). His comparison of the globe with the expanding universe in increasing imaginary time shows a block universe whereby all events exist in a four-dimensional spacetime (1988, p. 138, 2001, pp. 90-94). In this respect his position appears to agree with eternalism in the philosophy of time, all events—past, present and future—are present, but how does this square with cosmic time, asymmetry, the arrow of time and the open future?

Some physical laws do not distinguish between the past and the future and therefore support the concept of symmetry in nature. In classical mechanics, for example, the law $F = ma$ is symmetrical in the sense that it describes the motion of particles or macroscopic bodies without regard to any direction in time. Any physical process described by this law is equally described by a time-reversed process. But now the question is whether all of physics works in this way. Other laws support an asymmetry in time or an arrow of time, such as thermodynamics in which disorder or entropy increases, in quantum mechanics where we observe the collapse of the wave function and the decay of radioactive elements, and in cosmology where the universe is expanding rather than contracting. Moreover, beyond physics there is evidence for asymmetry in psychology where we remember backwards not forwards and in causation, effects are always preceded by causes and never the reverse. So, the question is: which laws are fundamental or have an overriding status in the depiction of reality? Hawking argued that the psychological, thermodynamic and cosmological arrows of time support a real direction of time in spite of the fact that many laws of physics do not distinguish between a forward and a backward direction of time. In appealing to the weak anthropic principle and the expansion of the universe, Hawking contended that only when

the universe is expanding does it support life and the existence of intelligent beings who contemplate the direction of time (1988, pp. 151-152). We are here; therefore, the universe is constructed such that intelligent life is possible. In the expansive phase we experience time in accordance with the thermodynamic and cosmological arrow (1988, pp. 145, 152). Disorder increases with the direction of time.

What happens then when the universe is contracting? The idea of expanding and contracting phases of the universe appeared to offer another example of symmetry in physical laws, but theoretically, there is still a direction of time. Hawking argued first that the no boundary condition would mean that there is an arrow of time that would reverse at the contraction of the universe (1985). But then he changed his position because fluctuations in the no boundary state would continue to grow in a phase of contraction so that the thermodynamic arrow of time still points in a constant direction regardless of whether the universe is expanding or contracting (1993). Disorder would continue to increase and the thermodynamic and psychological arrow of time would not reverse (1988, p. 150). So, the direction of time is not merely a subjective illusion since it is based on something in reality – the thermodynamic arrow. But this still leaves us with the unanswered question regarding the open future and the uncertainty principle, i.e., randomness or chance. To be clear this is not an epistemological matter of predicting future events, but rather a question of ontological status of the future.

Progress on a unified theory for the most part stalled after the unification of electromagnetism and the weak nuclear force by Glashow, Weinberg and Salam in 1967. The unification of the strong nuclear force in the Standard Model (Grand Unified Theory) and the big problem of unification with general relativity (Theory of Everything) remain unsolved.

Weinberg observed that physicists, in their search for the final theory, are more like hounds sniffing about the ground rather than hawks high above seeing general patterns in philosophy (1994, p. 167). In his chapter “Facing Finality” of *Dreams of a Final Theory*, like Hawking he expressed his optimism for a final theory based on the success of physics in the twentieth century that provided “a convergence of arrows of explanation” and principles that have steadily become simpler and more economical. These arrows, he contends, must converge somewhere (1994, pp. 231-232). As he made his case, he argued: “The discovery of the final laws of nature will mark a discontinuity in human intellectual history, the sharpest that has occurred since the beginning of modern science in the seventeenth century” (1994, p. 235).

But instead of appealing to the limits of human intelligence, the main problem is the limits of financial resources to build the Super Collider that would be instrumental in the discovery of a final theory.¹⁰ The Planck energy of a hundred trillion times higher than the energy of any Super Collider, where all the forces are expected to be unified in one force, is beyond any accelerator now conceivable (1994, p. 234).

As for the shape of a unified theory, if and when it happens, it seems likely that:

- (1) as Einstein predicted, it will be some kind of field theory,
- (2) either relativity theory or orthodox quantum theory (or both) will need to be modified,
- (3) the question about the nature of time will be fundamental; either time will be treated as an illusion, a local phenomenon of a multi-dimensional universe (or multiverse) or it will figure as a key feature of reality,
- (4) the theory must reconcile the uncertainty principle with the theory of gravity,
- (5) the theory will provide testable predictions, and
- (6) the theory will exhibit broad explanatory power covering both the large-scale and small-scale structure of the universe.

It is of course possible, indeed most probable, that there is no *final*, unified theory, but only (i) an endless sequence of theories or (ii) different partial theories of physics describing different aspects of reality, with no overall ability to provide comprehensive explanations.¹¹

¹⁰ In 1992 the US government cancelled the Super Collider project when the cost rose from the original estimate of \$4.4 billion to \$8.25 billion. The proposed €9 billion to €21 billion Future Circular Collider at CERN has yet to be funded. See <https://home.cern/science/accelerators/future-circular-collider>

¹¹ With regard to (i), Popper, for example, doubts the idea of a final theory or ultimate explanations. Instead, he argued that every explanation may be “further explained by a theory or conjecture of a higher degree of universality. There can be no explanation which is not in need of a further explanation...” (1972, p. 195). Furthermore, he wrote: “... although I do not think that we can ever describe, by our universal laws, an *ultimate* essence of the world, I do not doubt that we may seek to probe deeper and deeper into the structure of our world or, as we might say, into properties of the world that are more and more essential, or of greater and greater depth (1972, p. 196).

With regard to (ii), Hawking and Mlodinow described M-Theory as a network of theories, each one of which is adequate for describing phenomena within a particular range, but no single theory within the network describes every aspect of the universe, even though some theories overlap in explaining diverse physical phenomena. While M-theory has been understood to be a quantum theory of gravity and a leading contender for a Theory

Just as Newton, or Aristotle before him, provided a coherent paradigm that gave unity and direction to physics for a time, so will the unification of relativity and quantum theory if and when it occurs. A “final” theory simply means the final step of unification in the current attempt to develop a comprehensive paradigm, not a final theory of physics. Any physical theory will face the inevitable decay of the framework and the shock of a scientific revolution. In this connection, the ancient wisdom from Plato’s *Timaeus*, quoted at the beginning of this paper, that science, and in particular any cosmological account as to the beginning of the universe, is a likely story, rings true (1953, 640-641). The second alternative (ii) presents a more challenging claim, but if we can make the very plausible assumption that nature itself is unified and intelligible, history would appear to be on the side of those who have achieved unified theories, themselves parts of other more general theories. If the first alternative (i) is correct, it is no deterrent to the endless quest of both science and metaphysics.

4. Conclusions

In this paper I argued that the inconsistency in Hawking’s philosophy of science in 1988 was addressed in his subsequent writings but was never resolved. His optimism for a confirmed, final, unified theory was repeated as late as 2010, yet the model-independent realism he embraced at this time conflicts with this claim. Since model-independent realism is a form of instrumentalism and anti-realism, it stands as fundamentally incompatible with realism in spite of its paradoxical name. I also examined some of the problems with the herculean task of a Theory of Everything and the prospects for its success. The main contender endorsed by Hawking, a quantum theory of gravity, must solve fundamental problems with the incompatibility of quantum mechanics and the general theory of relativity, but at present, the issues relating to the nature of time and the probabilistic versus deterministic formulations of quantum mechanics and general relativity remain insurmountable. Hawking’s proposal of imaginary time does not appear to solve the

of Everything, Hawking and Mlodinow view it as not fulfilling the dream of any such complete unified theory (2010, p. 58). Moreover, as Hawking and Mlodinow considered prospects for the Theory of Everything, M-Theory, based on the multiverse conjecture, with laws for 10^{100} different universes, only one of which corresponds to what we know as our universe, they suggest that the hope for a single theory may have to be abandoned (2010, pp. 117, 119).

probabilism/determinism problem because it does not account for the open future and the uncertainty principle required by quantum mechanics.

Physicists who dabble in philosophy are likely to miss the subtleties of the various philosophical positions and the complexity of the arguments advanced in support of or against the positions. Philosophers who dabble in physics, as Hawking charged, are likely to fail in understanding the complex mathematics in which physical theories are expressed and the sheer complexity of those theories, especially at the cutting-edge of physics. Both groups risk their dignity in any such interdisciplinary endeavors, myself included.

In response to physicists such as Hawking and Weinberg who claim that philosophy provides no useful guidance to science, it is more a matter of what the right kind of philosophy has to offer, namely, a scientifically informed metaphysics rather than bad philosophy. There is no escape from philosophy in the same way that there is no escape from some conceptual framework by which we interpret our experience.

Acknowledgements

I wish to thank Raphael Neelamkavil, Carlos van Hamme, Christine Holmgren, Leonard Mlodinow and anonymous reviewer for critical comments on an earlier draft of this paper.

References

- Pierre Duhem. *The Aim and Structure of Physical Theory*. Princeton, NJ: Princeton University Press. 1954. Translation from 2nd edition by Philip P. Wiener, originally published as *La Théorie Physique: Son Objet, sa Structure*. Paris: Marcel Rivière. 1914.
- Stephen W. Hawking. Arrow of Time in Cosmology. *Physical Review D*. 32, 2489-2495. 1985.
- Stephen W. Hawking. *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes*. New York: Bantam Books. 1988.
- Stephen W. Hawking. *Black Holes and Baby Universes and Other Essays*. New York: Bantam Books. 1993.
- Stephen W. Hawking. *The Universe in a Nutshell*. New York: Bantam Books. 2001.

- S. Hawking, R. Laflamme, G. W. Lyons. Origin of Time Asymmetry. *Physical Review D*, 47, 5342-5356. 1993.
- Stephen W. Hawking, Roger Penrose. *The Nature of Space and Time*. Princeton: Princeton University Press. 1996.
- Stephen W. Hawking, Leonard Mlodinow. *The Grand Design: New Answers to the Ultimate Questions of Life*. New York: Bantam Press. 2010.
- Werner Heisenberg. *Physics and Philosophy*. New York: Harper and Brothers. 1958.
- Thomas Kuhn. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press. 1962.
- Leemon B. McHenry. Review of *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes*, by Stephen W. Hawking. *The Review of Metaphysics*, March, 626-628. 1989.
- Leemon B. McHenry. *The Event Universe: The Revisionary Metaphysics of Alfred North Whitehead*. Edinburgh: Edinburgh University Press. 2015.
- Plato, *Timaeus, The Dialogues of Plato*. Translation by Benjamin Jowett. Oxford: Clarendon Press. 1953.
- Karl Popper. *The Logic of Scientific Discovery*. New York: Basic Books. 1959.
- Karl Popper. *Objective Knowledge: An Evolutionary Approach*. Oxford: Clarendon Press. 1972.
- W. V. O. Quine. On Empirically Equivalent Systems of the World. *Erkenntnis*, 9, 313–328. 1975.
- Mendel Sachs. On Hawking's *A Brief History of Time* and the Present State of Physics. *British Journal for the Philosophy of Science*. 44 (3), 543-547. 1993.
- Steven Weinberg. *Dreams of a Final Theory*. New York: Vintage Books. 1994.

Science & Philosophy
Volume n. 13, Issue n. 2, 2025

Contents

<i>The Upraise of Instrumentalism in the Natural Sciences and its Consequences</i> Mario Alberto Natiello, Hernán Gustavo Solari
<i>Connecting the Dots: Science, Philosophy, and the Great Mysteries of the Universe</i> Edoardo Jacopo Bruno
<i>The Digital Cage. A Sociological Analysis of Algorithmic Bureaucracy as a Total System</i> Umberto Pagano
<i>The actuality of Aristotelian logic: the defense of the principle of non contradiction</i> Cristina Carestiato
<i>Sulla gravità dei gravi: Galileo e Aristotele (On the Gravity of Heavy Bodies: Galileo and Aristotle)</i> Luca Granieri
<i>Collimations & Quasi-coincidences (for fuzzy points & singletons)</i> Nicola Umberto Animobono
<i>From Experiment to Simulation: The Cartesian Error of Experience from Galileo to Turing</i> Alberto Bardi
<i>Formazione dei docenti e Bildung: proposta teorica di un quadro di riferimento (Teacher Training and Bildung: Theoretical Proposal for a Framework)</i> Tullio Aebischer
<i>On the Prospects for a Unified Theory of Physics: A Belated Response to Stephen Hawking</i> Leemon Benton McHenry