

OLTRE LA FISICA *NORMALE*
INTERPRETAZIONI ALTERNATIVE
E TEORIE NON STANDARD
NELLA FISICA MODERNA

a cura di

Isabella Tassani

WANTED



NEITHER DEAD NOR ALIVE

Isonomia Epistemologica

Isonomia – Epistemologica

Volume 3

OLTRE LA FISICA NORMALE

**INTERPRETAZIONI ALTERNATIVE E TEORIE NON STANDARD NELLA FISICA MODERNA
PER IL 75-ESIMO COMPLEANNO DI FRANCO SELLERI**

Volume 1
Il realismo scientifico di Evandro Agazzi
Mario Alai (a cura di)

Volume 2
Complessità e riduzionismo
Vincenzo Fano, Enrico Giannetto, Giulia Giannini, Pierluigi Graziani (a cura di)

Volume 3
Oltre la fisica normale
Isabella Tassani (a cura di)

ISONOMIA - Epistemologica Series Editor
Gino Tarozzi

gino.tarozzi@uniurb.it

OLTRE LA FISICA NORMALE

**INTERPRETAZIONI ALTERNATIVE E TEORIE NON STANDARD NELLA FISICA MODERNA
PER IL 75-ESIMO COMPLEANNO DI FRANCO SELLERI**

A cura di

Isabella Tassani

© ISONOMIA – Epistemologica
All rights reserved.

ISSN 2037-4348

Scientific Director: Gino Tarozzi
Managing Director: Pierluigi Graziani
Department of Foundation of Sciences
P.za della Repubblica, 13 – 61029 Urbino (PU)

<http://isonomia.uniurb.it/>

Design by massimosangoi@gmail.com

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form, or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise without prior permission, in writing, from the publisher.

Sommario

GINO TAROZZI, ISABELLA TASSANI <i>Introduzione</i>	7
ALESSANDRO AFRIAT <i>La topologica</i>	13
GENNARO AULETTA <i>Features, not waves!</i>	19
STEFANO BORDONI <i>Widening the boundaries of classical physics: from Einstein's 1909 paper back to late nineteenth-century theoretical physics</i>	25
MARCO BUZZONI <i>Kuhn: l'esperimento mentale fra scienza normale e scienza rivoluzionaria</i>	53
CLAUDIO CALOSI, VINCENZO FANO <i>Di due analoghi dilemmi: forza di gravità e correlazioni a distanza</i>	69
ALBERTO CAPPI <i>Cosmologia standard e oltre</i>	95
GIOVANNI MACCHIA <i>Quasar, redshift e controversie: l'espansione dell'universo è da rivedere?</i>	115
FABIO MINAZZI <i>La questione epistemologica del realismo nel programma di ricerca di Franco Selleri</i>	181
ARCANGELO ROSSI <i>La scienza tra normalità e rivoluzione</i>	209
GINO TAROZZI <i>Oltre la fisica normale. Realtà della funzione d'onda e delle proprietà fisiche prevedibili nell'interpretazione di Selleri della meccanica quantistica</i>	223

Introduzione

Nonostante il suo grande potere predittivo e la vastità del suo campo di applicazione, la meccanica quantistica nella sua formulazione *standard*, meglio nota come “interpretazione ortodossa”, contiene una vera e propria rinuncia a quelle esigenze esplicative che caratterizzano ogni autentica teoria scientifica, rinuncia che è stata sintetizzata dall’affermazione di Feynman, secondo la quale «è tutto assolutamente misterioso e più ci riflettiamo più ci appare misterioso».

Nel corso della sua straordinaria opera scientifica Franco Selleri si è sempre opposto a questa rinuncia alla comprensione della struttura della realtà fisica, mostrando i limiti e le conclusioni paradossali cui conduceva l’idea largamente condivisa che la meccanica quantistica, così come altre teorie della fisica del ‘900 su cui egli ha in un secondo tempo concentrato le sue ricerche e analisi critiche, rappresentassero, per dirla con Popper, “la fine della strada in fisica”.

Tale carattere antiesplicative e di radicale rinuncia epistemologica da parte della teoria quantistica *standard* si è tradotto in primo luogo nell’abbandono del principio di causalità, come è stato sottolineato molto efficacemente da Selleri, in *Quantum Paradoxes and Physical Reality* (1990), con riferimento alla legge quantistica del decadimento radioattivo, che definisce una vita media per una data classe di particelle atomiche, ma non spiega il perché del differente comportamento individuale di ciascuna particella appartenente a questa classe:

La fisica attuale non fornisce una comprensione di queste cause e accetta infatti una filosofia acausale: ogni decadimento è un processo spontaneo e non ammette una spiegazione causale. La questione della differente vita individuale di simili sistemi instabili, come i neutroni, secondo questa linea di pensiero rimarrà per sempre senza una risposta e dovrebbe essere pertanto considerata come una questione “non scientifica”.

Nato a Bologna il 9 ottobre del 1936, Franco Selleri ha compiuto i suoi studi presso l’Università della sua città, l’antica e celebre *Alma Mater*

studiorum, con scienziati da lui definiti “indimenticabili”: il chimico Giovanni Battista Bonino, il matematico, e fisico matematico, Antonio Pignedoli e il fisico Giampietro Puppi. Nel 1958 si è laureato in Fisica *cum laude* e, solo un anno dopo, è diventato borsista all’Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN).

Il primo articolo della sua lunga carriera scientifica riguarda una delle sue idee originali, l’*one-pion exchange model* per i processi anelastici ad alta energia in fisica delle particelle. Il notevole successo di questo modello gli ha aperto la strada a diverse esperienze internazionali: borsista al CERN di Ginevra (1959-61), *collaborateur étranger* a Saclay (Francia, 1962/63), *research associate* alla Cornell University (USA, 1963/65), ecc. Nel 1966 Selleri torna in Italia, prima a Bologna e poi, dal 1968 come docente e direttore di ricerca dell’Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (I.N.F.N.) al Dipartimento di Fisica dell’Università di Bari, dove dal 1980 è stato chiamato come professore ordinario di Fisica teorica.

Risale ai tardi anni ‘60 l’elaborazione e lo sviluppo della sua prospettiva critica nei confronti delle teorie fondamentali della fisica moderna, in particolar modo della teoria delle particelle elementari e della meccanica quantistica, che verrà ben presto a configurarsi uno dei principali elementi caratterizzanti del suo programma di ricerca.

Nel corso della sua intensa e infaticabile attività scientifica, Selleri è entrato in proficuo contatto con molti grandi fisici e filosofi della scienza, ma quelli che ritiene lo abbiano più significativamente influenzato sono stati Louis de Broglie, John Bell e Karl Popper.

Egli ha molto apprezzato l’idea di de Broglie che la funzione d’onda della meccanica quantistica dovrebbe descrivere oggettivamente onde reali che si propagano nello spazio ordinario. Perciò egli è arrivato a ritenere che la teoria quantistica, considerata così “misteriosa”, per riprendere le parole di Feynman, potrebbe essere riformulata in modo tale da apparire comprensibile anche a un normale essere umano pensante. Con la sua ipotesi delle onde vuote, più tardi definite “onde quantistiche”, Selleri può essere considerato a pieno diritto un originale continuatore dell’opera di de Broglie, che in una lettera a Franco Selleri (11 aprile 1969), individuò in tale nuova prospettiva

un importante tentativo volto a ottenere un’interpretazione della meccanica ondulatoria più soddisfacente di quella che viene attualmente adottata e una conferma delle idee che mi avevano guidato nel momento in cui avevo proposto nel 1923-24 le concezioni di base della meccanica ondulatoria,

che rispetto alla teoria dell'onda pilota presenta, come rileva sempre de Broglie nella stessa lettera, la possibilità di un appello all'evidenza sperimentale:

L'esperienza che lei propone per provare l'esistenza dell'onda sarà di estremo interesse per provare l'esistenza di quest'onda debolissima (*très faible*) che trasporta le particelle [...].

Selleri fu molto impressionato dalla scoperta della famosa diseguaglianza di Bell, che discrimina a livello empirico tra la teoria quantistica e tutte le descrizioni realistiche locali della natura, che per lui significava la possibilità di scegliere sperimentalmente tra differenti prospettive filosofiche; inutile dire che egli preferisce il realismo locale alla perfetta validità della teoria quantistica convenzionale, considerandosi insoddisfatto degli esperimenti realizzati finora, che ha criticato in diversi lavori mettendo in luce le ipotesi addizionali, tipicamente quantistiche, che vengono di solito introdotte sotto varie forme.

Alle ricerche sul problema dell'incompatibilità sia logica che empirica tra meccanica quantistica e realismo locale, e al duplice problema da una parte delle ipotesi in gioco nella dimostrazione del teorema di Bell, dall'altro del suo dominio di validità, Selleri ha dato un contributo che può essere difficilmente sopravvalutato nella fisica del '900; già nel 1974 il grande storico della scienza Max Jammer, nel suo classico *The Philosophy of Quantum Mechanics* (1974), metteva in rilievo come egli avesse da una parte dimostrato la forma più forte della diseguaglianza di Bell, dall'altro mostrato, in alcuni articoli scritti con V. Capasso e D. Fortunato, la possibilità di discriminare a livello empirico tra descrizione attraverso stati *entangled* e descrizione attraverso vettori di stato fattorizzabili, quest'ultima implicata dal realismo locale, anche rispetto ad altre osservabili, definite "osservabili sensibili".

Della filosofia popperiana, Selleri ha apprezzato e condiviso l'atteggiamento critico verso la fisica moderna, il suo realismo e razionalismo, piuttosto che la sua specifica teoria della conoscenza. E a sua volta le idee di Selleri sulla meccanica quantistica sono state altrettanto influenti sul grande filosofo viennese, che dopo aver sostenuto per molti anni un'interpretazione statistica strettamente corpuscolare, aderì poi pienamente all'interpretazione realistica della funzione d'onda:

Franco Selleri ha suggerito (continuando l'opera di Louis de Broglie) che possono esistere onde senza particelle [...]. Le conseguenze [*di tale possibilità*] sembrerebbero essere rivoluzionarie [...] esse stabilirebbero, in luogo del

carattere “complementare” di particelle e onde (ondicelle) l’interazione di due tipi di oggetti reali: onde e particelle.

Analogamente Popper fece propria la critica di Selleri e Tarozzi alla dimostrazione probabilistica di Clauser e Horne del teorema di Bell, critica che sembrava restringere alla sola classe delle teorie deterministiche locali di variabili nascoste l’ambito di validità di tale teorema, sembrando così aprire una prospettiva di riconciliazione tra meccanica quantistica e teorie probabilistiche locali:

F. Selleri e G. Tarozzi hanno trovato un modello che soddisfa la definizione di Bell di località ma non la definizione di località di Clauser e Horne (conosciuta anche come “condizione di fattorizzabilità”); questo sembra mostrare ancora una volta che Clauser e Horne non hanno soddisfatto la pretesa di universalità [*del teorema di Bell*].

Franco Selleri ha pubblicato, prevalentemente su prestigiose riviste internazionali, più di trecento articoli riguardanti principalmente la fisica delle particelle, i fondamenti della teoria quantistica e della relatività ma, anche se in misura minore, la storia e la filosofia della fisica. Infine, egli ha scritto molti libri, pubblicati presso editori europei e americani, che hanno generalmente ricevuto critiche molto positive. Riguardo a *Paradossi quantistici e realtà fisica*, un noto fisico americano ha scritto:

Il Professor Selleri è quasi unicamente qualificato come un vero scettico che, ciononostante, ha una profonda comprensione dell’Interpretazione di Copenaghen. Se si aggiunge a questo un’instancabile onestà intellettuale e un’imparzialità di fondo, ci si può rendere conto quanto sia speciale questo libro.

Selleri è stato ed è tuttora membro del comitato scientifico di molte riviste internazionali, quali *Foundations of Physics Letters*, *Fundamental Theories of Physics*, *Annales de la Fondation Louis de Broglie*, e *Apeiron*, svolgendo la funzione di *referee*, tra le quali *Foundations of Physics*, *Physics Letters*, *Journal of Physics*, *Europhysics Letters* e *Nuovo Cimento*. Fa parte di molte istituzioni e società scientifiche, come la Società Italiana di Fisica (S.I.F.), l’*American Physical Society*, la Società Italiana di Logica e Filosofia della Scienza (S.I.L.F.S.), la *New York Academy of Sciences*, la *Fondation Louis de Broglie* di Parigi, la *Gdanskie Towarzystwo Naukowe* e il Centro interuniversitario di ricerca in Filosofia e Fondamenti della Fisica (C.I.R.F.I.S.) degli atenei di Bologna, dell’Insubria, del Salento e di Urbino.

Negli anni recenti, ha stabilito l’esistenza di una, a suo parere, inaccettabile discontinuità tra qualunque ragionevole descrizione dei sistemi

di riferimento accelerati e la descrizione relativistica dei sistemi di riferimento inerziali. Ha suggerito come si possa superare la precedente difficoltà distinguendo il gruppo di trasformazioni di Lorentz da altre trasformazioni che implicano un ritorno alla nozione di simultaneità assoluta.

Come curatori di questo numero speciale di *Isonomia* siamo onorati di fare omaggio a Franco Selleri come amico e collega speciale, sia per la sua passione instancabile e la sua profonda conoscenza dei fondamenti delle teorie della fisica contemporanea che ha generosamente profuso nel cercare risposte alle fondamentali questioni concettuali aperte, sia e forse ancor più per la prospettiva perennemente critica che egli ha sempre seguito con particolare rigore ed estrema determinazione per raggiungere questo scopo.

Siamo certi di esprimere anche il pensiero dei colleghi che hanno contribuito a questo numero della rivista, augurandogli ancora molti anni di un'altrettanto eccellente creatività scientifica.

Gino Tarozzi e Isabella Tassani,
Dipartimento di Scienze di Base e Fondamenti
Università di Urbino *Carlo Bo*

Features, not waves!

Gennaro Auletta
University of Cassino
gennaro.auletta@gmail.com

Classically, the main ontological attempts at understanding quantum mechanics focus on the corpuscular behavior of these systems and especially on detection events, since these are the most classical phenomena that we have in such a context (indeed, they also require the presence of a classical apparatus). The main trend has been to consider wave-like aspects as deprived of ontological substrate and as reflecting rather the mathematical abstract formalism of the theory. The few attempts that have been done in order to assign some form of ontological reference to wave-like aspects have tried to interpret this in terms of classical waves and have been disproved across the last 30 years (see Auletta & Tarozzi, 2004b; Auletta & Torcal, 2011).

It is perhaps time to try a different approach, by renouncing any attempt at a classical ontology and by taking seriously into account the non-local aspects of the theory (which are mostly associated with wave-like phenomena). When we consider things in this perspective, we shall discover that all non-local phenomena in quantum mechanics, although different, have something in common: they all rely on non-local interdependencies among possible events or measurement outcomes (see Auletta, 2011). This is true for all interference phenomena for isolated systems, this is true for entangled systems, this is true for the Aharonov-Bohm effect, and so on. What is sad is that we do not have until now a name for denoting this mysterious reality. It is indeed mysterious, since we cannot directly measure it. There is in fact no way to have a direct experimental evidence of it. In most cases we can only reconstruct the interference profile after many experimental runs, a circumstance that has led many scientists to discard any ontological attribution to wave-like phenomena. However, a proposed

experiment (Auletta & Tarozzi, 2004a) shows that this is not necessarily the case.

Nevertheless, although very mysterious, these interdependencies display certain effects. Let us consider the following example: suppose that the state of two particles is a singlet state (an instance of entanglement: see Auletta *et al.*, 2009, Ch. 16). In such a case, they show a spin-correlation such that when one of the two particles is found to be in a spin-up state along an experimentally chosen direction, the other one will be necessarily in a spin-down state along the same direction or vice versa (that is, if the former is found in a spin-down state, the other one will be in a spin-up state). In other words, we expect to obtain either up-down or down-up but never up-up or down-down. If the world consisted of random events only, we would expect to obtain one of these four possible outcomes with equiprobability. The fact that we can obtain only two (either up-down or down-up) out of four cases represents a reduction of the space of possible events. In other words, quantum-mechanical correlations act as constraints limiting the space of the events that we can obtain (and therefore also the space of possible measurement outcomes). Now, it is bizarre to admit that something can have such effect without being somehow a reality.

Since a specific term for denoting this kind of reality does not exist (but neither a satisfactory theory) I shall use the term *features* (Auletta & Torcal, 2011) meaning two different things simultaneously:

- These factors are characters of quantum state that have noticeable and experimental consequences. Although they cannot be ascertained in themselves, we can be sure of their presence when for instance we compare the statistics of the systems in entanglement. If the results show the kind of reduction of the space of possible events that I have mentioned, we can infer that they are in fact present.
- However, I avoid the term *property* since properties are by definition local, while I have stressed that features manifest themselves precisely in non-local phenomena.

However, we need also to take seriously in account that we cannot do a direct experience with these features. It is a little like for the Kantian noumenon. If I am allowed to draw this analogy further, I can say that a correct ontology can only be a kind of phenomenal one, that, is an ontology that is always interpreted in the framework of a certain theory. On the contrary, the primary reality is in itself a piece of *uninterpreted* ontology. This might be true of features, but what is the situation for events? They seem to be much more real so that such a distinction between an interpreted

and uninterpreted ontology seems not very insightful for dealing with our problem. I will certainly not deny that there is indeed an ontological difference between events (which by definition are localized in space and time) and features (which by definition are delocalized). However, there is a commonality that is much stronger than this difference.

We take for granted that detection events mean property-attribution to quantum systems. In fact, if a detector clicks, we can say e.g. that a particle is located in a certain region of the space. However, what we forget here is that we are allowed to make such an attribution only because the measured system has previously interacted with an apparatus (the so-called premeasurement: see Auletta *et al.*, 2009, Ch. 9) in such a way that, if a detector clicks, the established connection between object system and apparatus allows us to infer which property we may assign to the system in this experimental set up. Moreover, we can do this only because there is a theory (namely quantum mechanics) that describes this dynamics and therefore provides us with the formal or mathematical means to perform such an inference. In other words, we assign a property only in the framework of both an experimental context and a theory. Therefore, a property is a piece of interpreted ontology: one of the major worries about classical mechanics is to have misunderstood this point and to have taken properties as primary ontology beyond any interpretation. However, an event is a piece of uninterpreted ontology: an event only happens or occurs and tells nothing about anything else. In order to do this, we need the mentioned framework.

Therefore both events and features are pieces of uninterpreted ontology. However, events have properties as interpreted counterpart. Which is the interpreted counterpart of features? Only this would fully justify our parallelism between events and features. I must admit that it is not so straight to find an interpreted counterpart to features (here, their specificity is manifest). However, I have mentioned the necessity of an experimental context in order to be able to assign properties. If we analyze such a process with more care, we shall see that it has three main fundamental stages:

- 1) We *prepare* a system in a certain state. A preparation can be understood as a *determination* of the state of a single system. It is the procedure through which only systems in a certain (previously theoretically defined) state are selected and delivered for further procedures, that is, allowed to undergo subsequent operations (premeasurement and measurement). States are equivalence classes of preparations.

- 2) Then we select a certain observable (like position or energy) to be measured. This step is called *premeasurement*. It consists in an interrogation of a quantum system relative to a specific degree of freedom. Indeed, not all experimental contexts are adequate to measure a certain observable, and this allows us to define an observable as an equivalence class of premeasurements.
- 3) Finally, a *detection* or measurement in a strict sense is an answer to our interrogation of the object system. Therefore, we can say that a property is an equivalence class of detections (many different detections can lead to the same property attribution).

Events occur in the third step, whilst features are constitutive of the state as it is prepared in the first step. The second step is somehow the dynamical bridge initial and final procedure (it is indeed in this stage that system and apparatus interact). Then, we can say that properties are attributed thanks to *detection* events, that is, to events that happen in a specific experimental framework. On the other hand, features are inferred thanks to the *effects* that a system in a certain state has on the subsequent steps. Therefore, the whole of the experimental procedure (consisting in preparation, premeasurement and detection) is a sort of *operational* bridge between uninterpreted and interpreted ontology (it is here that the Kantian framework is no longer helpful but we need to shift to a operationalist philosophy). It is what ensures this distinction but also the connection between these two ontologies (and therefore also justifies the term *uninterpreted* ontology). In this way, events and features on the one hand, and detections and preparations on the other can be taken to really be part of the two mentioned ontologies.

References

The aim of the following list is to provide the reader with some original texts in which primary literature is also quoted.

Auletta, G., Tarozzi, G., 2004a, “Wavelike Correlations versus Path Detection: Another Form of Complementarity”, *Foundations of Physics Letters*, 17, pp. 889-95.

Auletta, G., Tarozzi, G., 2004b, “On the Physical Reality of Quantum Waves”, *Foundations of Physics*, 34, pp. 1675-94.

Oltre la fisica normale

Auletta, G., Fortunato, M., Parisi, G., 2009, *Quantum Mechanics*, Cambridge, Cambridge University Press.

Auletta, G., 2011, “Correlations and Hyper-Correlations”, *Journal of Modern Physics*, 2, pp. 958-61.

Auletta, G., Torcal, L., 2011, “From Wave--Particle to Features-Event Complementarity”, *International Journal of Theoretical Physics*, 50, pp. 3654-68.

