

Direttore

Silvano TAGLIAGAMBE

Università degli Studi di Sassari

Comitato scientifico

Jesús Timoteo ÁLVAREZ †

Universidad Complutense de Madrid

Dario ANTISERI

Libera Università Internazionale degli Studi Sociali “Guido Carli” (LUISS) di Roma

Gilberto CORBELLINI

Sapienza – Università di Roma

Roberto GIUNTINI

Università degli Studi di Cagliari

Amit HAGAR

Indiana University

FILOSOFIA DELLA SCIENZA

Il vero viaggio di scoperta
non consiste nel cercare nuovi orizzonti
ma nell'avere occhi nuovi.

— Marcel PROUST

Alla base di questa collana vi sono due idee guida. La prima è che i confini tra le discipline sussistano soprattutto per il piacere (e l'esigenza) di varcarli e che questa istanza sia più forte di qualsiasi implacabile "polizia di frontiera", tesa a impedire la libera interazione e lo scambio dialogico tra i diversi campi del sapere. Valeva ieri per la teoria di Copernico e per quella di Darwin, vale, a maggior ragione, oggi per le frontiere della cosmologia o per quelle della biologia e della fisica, per non parlare dell'informatica o dell'alta tecnologia. La seconda idea è che la filosofia più interessante, come amava ripetere Ludovico Geymonat, è quella che si annida nelle pieghe della scienza, per cui è a quest'ultima, nelle sue diverse articolazioni e nei suoi svariati indirizzi, che vanno al di là di ogni artificiosa barriera tra "scienze della natura" e "scienze umane", che bisogna guardare per dare una risposta seria e credibile ad alcune delle grandi domande che la filosofia si è posta nel corso del suo sviluppo storico.

In questo quadro generale i singoli contributi che vengono proposti sono tutti contrassegnati da frequenti segni d'interpunzione metaforici, per stimolare quel tipo di lettura di cui parla Wittgenstein nei suoi Pensieri diversi: «Con i miei numerosi segni d'interpunzione io vorrei rallentare il ritmo della lettura. Perché vorrei essere letto lentamente». Non sono libri "usa e getta", da affrontare in maniera fugace e sbrigativa. Sono opere che esigono di essere lette seguendo e facendo propria la bellissima (e sempre attuale) massima attribuita a Svetonio, che è un richiamo all'importanza della meditazione: «Festina lente».

Classificazione Decimale Dewey:

530.1 (23.) TEORIE DELLA FISICA E FISICA MATEMATICA

CLAUDIO BORGHI

ONDA E TEMPO

IL COLLASSO DELLA FUNZIONE D'ONDA E LA GENERAZIONE DEL TEMPO

introduzione di

SILVANO TAGLIAGAMBE





ISBN
979-12-218-2285-4

PRIMA EDIZIONE
ROMA 27 FEBBRAIO 2026

a Grazia, tesoro prezioso

INDICE

11	<i>Introduzione</i> di SILVANO TAGLIAGAMBE
37	<i>Premessa</i>
39	Capitolo I Onda e tempo
53	Capitolo II Caso e divenire
73	Capitolo III Generazione e conservazione
91	Capitolo IV Forma e materia
113	Capitolo V Forma e formula
125	Capitolo VI Interazioni e relazioni
159	<i>Postilla</i>

INTRODUZIONE

UN'EFFICACE SINTESI DI FISICA E METAFISICA

DI SILVANO TAGLIAGAMBE

1. Il compito e il nucleo della ricerca di Claudio Borghi

Il senso e il compito di questo libro possono essere sintetizzati facendo riferimento all'obiettivo che lo stesso autore, in altra sede, riconosce come tratto distintivo della sua ricerca, definendolo "tra i più rischiosi e, in apparenza, anacronistico": quello di "individuare un'area comune di indagine che consenta oggi a fisici e filosofi di parlarsi. Un dialogo necessario, considerata l'impasse in cui si trova attualmente la fisica teorica, alla costante ricerca di una sintesi tra gli ambiti inconciliabili della relatività generale e della meccanica quantistica".⁽¹⁾

All'origine e al centro di questa ricerca c'è l'idea di tempo; quella del tempo fisico, innanzitutto, la cui vera essenza operativa, a giudizio di Borghi, non va cercata nella meccanica o nell'elettrodinamica, classica o relativistica o quantistica, in cui gli orologi sono in ultima analisi degli strumenti di comodo, ma in termodinamica, in cui il tempo è generato all'interno degli strumenti di misura ed è un prodotto necessario dell'evoluzione irreversibile. Il concetto di irreversibilità, al livello descrittivo fornito dalla meccanica quantistica, dalla relatività e dalla gravità quantistica, non compare o viene esplicitamente considerato non reale, in quanto a livello fondamentale la sua realtà pare essere illusoria. La descrizione dei fenomeni fisici fornita dalla termodinamica

(1) F. Barbieri e A. Cappelletti (a cura), *Borghi: indagine sul tempo*, SettimanaNews, 26 settembre 2025.

sembra implicitamente rivelare l'esistenza di una dimensione del tempo diversa rispetto a quella che emerge dalle teorie fondamentali: la realtà operativa del tempo irreversibile rivoluziona radicalmente il quadro teorico come se, in un certo senso, su scala macroscopica il mondo mostrasse una peculiarità fenomenica che le teorie più fondamentali non riescono a spiegare.

La stessa questione è stata posta al centro dell'attenzione da Massimo Pauri, un maestro della fisica scomparso nel 2024, membro autorevole delle più importanti istituzioni scientifiche europee e americane, vice presidente de l'Académie Internationale de Philosophie des Sciences e senior Fellow del Center for Philosophy of Science di Pittsburgh.

2. Tempo della fisica e tempo della biologia

Merito di Pauri è stato quello di focalizzare l'attenzione sulla differenza fondamentale tra il tempo fisico e quello psicologico. Essa, a suo giudizio, risiede nel fatto che quest'ultimo non è, diversamente dal primo, regolare e inalterabile, in quanto non è caratterizzato dai *reali rapporti* di prima/dopo esistenti tra le stimolazioni, quindi dalla successione, ma dalle relazioni di *somiglianza* o di *diversità* presenti negli elementi della successione, che riguardano quindi la categorizzazione, il modo di costruire tipologie che ci permettono di stabilire se un elemento qualunque ne fa o meno parte.

Egli così riassume la sua posizione in ordine a questo problema:

La descrizione fisica di un sistema che include soggetti coscienti è *impossibile in linea di principio*, nonostante il fatto che, *giudicato a posteriori*, l'effetto fisico di ogni libera scelta di azione nel mondo debba necessariamente essere compatibile con la stretta rete causale propria della descrizione fisica. Infatti è vero, come osserva Carnap, che la stessa possibilità di una libera scelta e di una libera azione è subordinata a un elevato grado di *macro-determinismo locale*. Poiché una scelta implica una preferenza determinata per un corso di azione definito rispetto ad ogni altro, il significato di qualunque scelta sarebbe compromesso dalla impossibilità di prevedere le conseguenze di azioni alternative. Perciò la capacità di previsione è garantita solo se il risultato della scelta si

inserisce in una *catena causale* “quasi-deterministica”. Tuttavia le cose non sono così semplici per quanto riguarda il ruolo della causalità *prima* della scelta del soggetto agente. Invero, nel caso in cui il sistema su cui si intende agire contenga un soggetto cosciente, la situazione sarebbe differente. In tal caso, infatti, il risultato dell’azione non sarebbe, ovviamente, prevedibile e garantito sulla base di una catena causale determinata, a meno che non si supponga, dando per scontato quello che si vorrebbe dimostrare, che il soggetto cosciente sia soggetto a condizioni causali vincolanti, deterministiche e prevedibili.⁽²⁾

L’alternativa a questa concezione, sempre secondo Pauri, consiste nel considerare il tempo una realtà unica e monolitica, assimilabile a quella di cui parlano i fisici, una realtà “statica”, fatta di relazioni, in cui non sussistono effettive proprietà transitorie del mondo e al divenire non può essere attribuito alcun significato oggettivo. Quest’ultimo, di conseguenza, deve venir considerato una mera *illusione antropocentrica*, una costituzionale ma fallace interpretazione della realtà da parte dei soggetti coscienti, un qualcosa che “dipende dalla mente” in quanto non è in alcun modo giustificabile a partire da una descrizione temporale puramente relazionale. In questa concezione alternativa però, a giudizio di Pauri, la libertà dell’uomo non può manifestamente trovare posto. Per difendere una prospettiva in cui possa rientrare la libera scelta dell’azione (che “crea il futuro”), occorre dunque “rigettare la nozione di un mondo fisico come *totalità autoconsistente*” e “considerare la nozione di una *causalità generale* del mondo che non possa essere ridotta alla stretta causalità nomologica espressa dalla fisica”.⁽³⁾

Il problema va dunque approfondito a partire dalle radici, raccogliendo l’invito dello stesso Pauri a scandagliare le modalità attraverso le quali si è giunti, storicamente, a elaborare e a mettere a punto la descrizione fisica dei fenomeni naturali. In particolare, egli punta l’attenzione su due aspetti: l’implicita metodologia della *separazione del mondo* in tre parti – una prima che possiamo definire propriamente come

(2) M. Pauri, *I rivelatori del tempo*, ‘Nuova civiltà delle macchine’, 1999, n. 1, p. 45. Le medesime argomentazioni sono sviluppate da Pauri, in forma più articolata e dettagliata, nel capitolo 3 “La descrizione fisica del mondo e la questione del divenire temporale” del volume *Filosofia della fisica*, a cura di G. Boniolo, pp. 245-333, Bruno Mondadori, Milano 1997.

(3) Ivi, pp. 49-50.

l'*oggetto* (o il sistema) *fisico*, una seconda che è l'osservatore (che sovente assume ambigualmente le specie simultanee di *apparato di misura* e di *soggetto pragmatico* che applica le procedure sperimentali ed elabora le strutture teoriche) e una terza che costituisce il *resto del mondo* – e le altrettanto implicite *approssimazioni fondanti*, tra le quali rientra appunto quella del tempo fisico. Laddove la *tripartizione* consente la formulazione delle possibili variazioni temporali dell'oggetto (*leggi fisiche*), in connessione con la scelta di differenti relazioni con il resto del mondo⁽⁴⁾, le approssimazioni fondanti sono costituite da quelle che Pauri chiama le *condizioni galileiane*:

- i) *ripetibilità temporale indefinita* dell'intero insieme di relazioni fra l'oggetto e il resto del mondo;
- ii) *irrilevanza delle relazioni spaziali* fra una conveniente regione, definita dall'oggetto stesso e dal suo ambiente locale, e il resto del mondo.

Tutte queste condizioni, che stabiliscono la distinzione fra discipline puramente empiriche e scienze sperimentali, implicano in particolare l'*omogeneità spaziale* e – soprattutto – l'*omogeneità temporale*, insieme alla possibilità di rinnovare a piacere la richiesta separazione del mondo.⁽⁵⁾ Le suddette approssimazioni, inoltre, per poter essere formulate e attivate, presuppongono a loro volta una sorta di *idealizzazione primaria*, che sta alla base della definizione del *tempo fisico*. L'omogeneità temporale e l'individuazione della ricorrenza di stati fisici identici esigono, infatti, che siano soddisfatte due specifiche condizioni:

Innanzitutto la costituzione di un'opportuna *procedura di approssimazione*; in secondo luogo, una condizione cosmologica sul "resto del mondo" che garantisca l'esistenza di subtotalità autonome, fisicamente quasi-isolate, tali da consentire – nei limiti dell'approssimazione costituita – il riconoscimento di una stabilità di ricorrenza temporale. Tali richieste, che sono anche pre-condizioni per la realizzabilità – almeno locale e sempre nei limiti della approssimazione – delle *condizioni galileiane*, identificano per *definizione* un orologio fisico standard, cosicché

(4) Ivi, p. 42.

(5) *Ibidem*.

non ha poi senso empirico chiedersi se successivi intervalli temporali contengono o meno la stessa “quantità di tempo”: il tempo fisico è *relazionale* per costituzione.⁽⁶⁾

Il nucleo iniziale della riflessione di Borghi sul tempo è proprio l'indagine sulla costituzione interna degli orologi fisici, a partire da un'analisi critica del cosiddetto *paradosso dei gemelli*, che, in effetti, non è tale secondo la teoria di Einstein, trattandosi di una semplice conseguenza della geometria dello spaziotempo. La relatività postula che l'effetto orologi – o l'effetto gemelli: è la stessa cosa – non dipenda né dal tipo di orologio né dal gemello, cioè dev'essere verificato su qualsiasi dispositivo di misura come su organismi viventi ecc., come si trattasse, per l'appunto, di orologi standard. A questo presupposto Borghi oppone il fatto che gli effetti citati sono stati testati solo su orologi atomici, o altri a essi equivalenti (al quarzo ecc.), non su orologi biologici e neppure su orologi radioattivi o termici, oggetto specifico dei suoi studi iniziali. Il problema si riassume nella domanda se gli orologi siano o meno equivalenti e l'analisi sviluppata porta, in effetti, a concludere che non lo sono.

Gli orologi termici, ad esempio, non sono equivalenti agli atomici, poiché misurano il tempo quantificando l'incremento di entropia al loro interno, laddove gli orologi atomici sfruttano processi reversibili, in cui non si produce calore. Negli orologi atomici il periodo proprio è legato alla differenza di energia tra un fissato livello eccitato e il livello fondamentale, energia che gli elettroni emettono, quando tornano al livello fondamentale, come radiazione elettromagnetica.

Egli condivide quindi pienamente l'idea di Pauri che la comprensione profonda del concetto di tempo sia legata alla differenza fra fenomeni reversibili e irreversibili. La caratteristica fondamentale del tempo è la sua natura evolutiva, che emerge solo nel quadro teorico della termodinamica, in cui gli orologi registrano un fenomeno irreversibile che si produce al loro interno: il tempo evolutivo è misurabile in quanto generato da dispositivi che quantificano durate in accordo con l'ipotesi del tempo termico di Rovelli.

(6) Ivi, p. 43.

Il nocciolo fondamentale del problema del tempo, da proporre, secondo Borghi, in alternativa alla diatriba tra teorie relativistiche antagoniste con cui troppo spesso si è tentato di risolverlo, consiste in una teoria che, come vedremo, può essere connotata come *generativa* e *dissipativa*. Esclude quindi la possibilità di visualizzarlo come una linea retta e universale (come in Newton), in quanto si tratta di un fenomeno intrinsecamente dinamico e produttivo che emerge dalla complessità dell'universo, dalle interazioni fisiche e dai processi reali che influenzano la nostra percezione. La realtà del tempo è connessa all'ordine energetico, continuamente generato sia al livello microscopico dei costituenti elementari che al livello macroscopico delle strutture e degli organismi. Ed è su questo aspetto che occorre concentrare l'attenzione per comprendere, in particolare, il senso della nuova disamina teorica che l'autore propone nel presente lavoro.

3. L'ipotesi generativa

Nel saggio *L'ipotesi generativa*, con sottotitolo “Una nuova dinamica del tempo”⁽⁷⁾, Borghi propone una prospettiva teorica in ambito fisico-cosmologico il cui nucleo è costituito da una riflessione critica sui concetti di spazio, tempo, materia, energia, entropia e informazione, in cui sostiene una visione alternativa del tempo, definito come “il lascito entropico del rinnovarsi del presente energetico”. Si tratta di un approccio che invita a ridimensionare la portata concettuale dei modelli derivanti dalla relatività generale e a riconoscere la necessità di una visione termodinamica, energetico-entropica, nella cui dialettica generativa-dissipativa consiste il ritmo della nuova dinamica del tempo, per cui non è lo spaziotempo che si accresce, ma l'energia che si rigenera. Cerchiamo dunque di comprendere il significato di questa concezione, che l'autore ha ulteriormente sviluppato e approfondito in due libri successivi, entrambi pubblicati da Neri Pozza, il primo nel 2023⁽⁸⁾, il secondo nel 2025⁽⁹⁾, investigando la

(7) C. Borghi, *L'ipotesi generativa. Una nuova dinamica del tempo*, Mimesis, Milano-Udine 2020.

(8) C. Borghi, *Presente e divenire*, Neri Pozza, Vicenza 2023.

(9) C. Borghi, *L'ordine generato. Una nuova interpretazione dei concetti di energia e tempo*, Prefazione di M. Cacciari, Neri Pozza, Vicenza 2025.

dimensione propria di un presente energetico, di una singolarità, cioè, in cui il presente si libera dalla rete relazionale in cui lo confina la teoria einsteiniana e si configura come un'origine che si rigenera attualmente.

È il tema dell'inizio che, come ha evidenziato Massimo Cacciari nella sua Prefazione al libro del 2025, è da intendersi *nella cosa*, immanente a essa come dato che si rinnova in forma di tempo. La ricerca del fondamento non può che essere perseguita congiuntamente dalla fisica e dalla filosofia, che non possono di conseguenza pensarsi separate e distanti: se la prima dovrà recuperare la sua anima meta-fisica, come appunto afferma Cacciari, la seconda avrà invece il compito di accettare i propri caratteri paradossali, non di rado controintuitivi. Il dialogo tra le ricerche delle scienze della natura e quelle delle scienze umane dovrà essere alimentato da un'indagine di ampio respiro sulle teorie fisiche e cosmologiche che abbia come oggetto l'ordine generato, a partire dalla focalizzazione del problema dell'energia e, parallelamente, da una riflessione sulla natura del tempo, da considerare come grandezze interconnesse, probabilmente coincidenti, intorno alle quali si sviluppa una trama speculativa da cui potrebbe scaturire un ripensamento radicale dei fondamenti del pensiero sia filosofico che scientifico, a dimostrazione della straordinaria fecondità che una reciproca e più profonda comprensione tra filosofia e fisica teorica potrebbe avere per lo sviluppo di entrambe, come appunto sostiene Cacciari.

Il punto da cui partire per inquadrare e affrontare la complessa questione che viene così posta è la necessità di ripensare il concetto di energia, entità primitiva di cui si possono individuare tre forme:

- l'energia *ordinata* legata alle interazioni fondamentali (gravitazionale, elettromagnetica ecc.);
- l'energia *disordinata* (termica) legata ai fenomeni dissipativi;
- l'energia ordinata *generata* nelle strutture originarie (atomo, entanglement, stati quantici).

La realtà del tempo implica, a sua volta, un suo duplice legame con l'energia: il presente può essere interpretato come generazione attuale di energia ordinata, la durata come scia entropica di tale generazione. In tutto e per tutto, quindi, il tempo è ordine generato e dissipato, che esperiamo nella coscienza del presente in atto e nel flusso del divenire che

traduce, in un certo senso, il dissolversi continuo della generazione energetica. Volendo, una sintesi tra Eraclito e Parmenide, le cui rispettive visioni non sono tuttavia da intendere come originariamente conflittuali.

In ugual misura, si tratta di individuare l'implicita connessione tra i concetti di Chronos e Aion: "Nella sintesi del presente, eterno contatto in cui Chronos prende luce da Aion, si ricompone il senso circa la natura e l'origine del tempo"⁽¹⁰⁾. Allo stesso tema si riferisce opportunamente Cacciari nella Prefazione: "Aion non va perciò inteso come un altro tempo, ma come la condizione universale della manifestazione di tutti"⁽¹¹⁾.

Per illustrare la teoria dell'ordine generato è istruttivo riferirsi a un'opera di particolare interesse del fisico catalano Jorge Wagensberg, intitolata *La rebelión de las formas*⁽¹²⁾, in cui si affronta la questione della genesi delle forme come reazione al caso, e all'incertezza radicale che ne consegue, non solo da parte dei sistemi viventi, ma anche della stessa materia nel corso del suo sviluppo, la cui ricerca costante di una resistenza a questa incertezza le consente di acquisire robustezza e flessibilità come sue proprietà specifiche. In un certo senso, la coesistenza in essa di due proprietà a prima vista contrastanti, robustezza e flessibilità (e da qui l'evolubilità), è in parte equivalente all'apparente conflitto sorto in fisica tra la natura corpuscolare e quella ondulatoria della luce.

Per spiegare questa antitesi e venirne in qualche modo a capo Niels Bohr formulò il suo *principio di complementarità*, enunciato in occasione del congresso internazionale di fisica tenutosi a Como nel settembre del 1927, per celebrare il centesimo anniversario della morte di Alessandro Volta. "Da una parte", osservava Bohr nella sua relazione dal titolo *The Quantum Postulate and the Development of Modern Physics*, "la definizione dello stato di un sistema fisico, come viene inteso di solito, richiede l'eliminazione di ogni perturbazione esterna. Ma in questo caso, secondo il postulato dei quanti, ogni osservazione sarebbe impossibile e, soprattutto, i concetti di spazio e di tempo perderebbero il loro senso immediato. D'altra parte, se allo scopo di rendere possibile l'osservazione noi ammettiamo certe interazioni con opportuni

(10) Ivi, p. 180.

(11) Ivi, p. 9.

(12) J. Wagensberg, *La rebelión de las formas: o cómo preservar cuando la incertidumbre aprieta*, Tusquets Editores, Barcelona 2005.

dispositivi di misurazione, non appartenenti al sistema, una definizione univoca dello stato del sistema diventa naturalmente impossibile e non si potrà parlare di causalità nel senso ordinario della parola".⁽¹³⁾

A partire da queste considerazioni Bohr perviene alla seguente sintesi speculativa: "La natura stessa della teoria quantistica ci costringe così a considerare la coordinazione spazio-temporale e l'esigenza della connessione causale, la cui unione caratterizza le teorie classiche, come aspetti complementari ma reciprocamente escludentisi della descrizione, i quali simbolizzano l'idealizzazione dei concetti di osservazione e di definizione rispettivamente".⁽¹⁴⁾

Una concezione affine alla complementarità di Bohr è sottesa all'implicita dualità, se non al conflitto, anche in questo caso solo apparente, tra robustezza evolutiva e flessibilità-evolubilità: proprietà, a ben vedere, a loro volta non alternative, ma complementari.

Sulla base di questo presupposto, per cui la genesi delle forme scaturirebbe dall'opposizione al caos e al dilagare dell'incertezza da parte della materia inerte, quindi di quella vivente e infine del mondo della conoscenza (il popperiano mondo 3), Wagensberg propone e sviluppa l'idea che questa resistenza e ribellione siano il risultato dell'azione di tre processi di selezione, che connota rispettivamente come:

- fondamentali, che riguardano la materia inerte e hanno come risultato la resistenza;
- naturali, che coinvolgono la materia vivente e il cui punto d'approdo è l'adattabilità;
- culturali, che interessano il mondo della conoscenza, attraverso la quale si perviene alla capacità di anticipazione e previsione.

I primi due sono meccanismi senza direzione né progetto che, tuttavia, possono produrre, dal nulla, una complessità tesa a uno scopo, la resistenza nel primo caso e l'adattabilità nel secondo. Ed è di particolare interesse rilevare come la selezione naturale, che Darwin ha avuto

(13) N. Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge*, Wiley, pp. 83-93, New York 1958. Tr. it. *Il postulato dei quanti e il recente sviluppo della teoria atomica*, in Id., *Teoria dell'atomo e conoscenza umana*, p. 325, Boringhieri, Torino 1961.

(14) *Ibidem*.

il merito di scoprire, inverte la tradizionale relazione tra i problemi e le loro soluzioni, nel senso che produce, nel corso della sua lunga storia, una quantità enorme di esiti sulle prime senza incidenza ed efficacia, alcuni dei quali manifestano solo in tempi successivi la loro capacità di risolvere i problemi che si presentano via via.

Queste forme e le tante altre presenti in natura provano l'esistenza di espressioni d'eleganza e d'armonia che combinano matematica ed estetica, il cui tratto comune e caratteristico è di essere al contempo attraenti sotto il profilo estetico e generate da leggi matematiche rigorose e inequivocabili. Le forme sono il primo aspetto intuitivo della realtà che l'occhio umano percepisce. Fin dall'antichità, gli studiosi hanno cercato di ricondurre la bellezza e la perfezione della natura a rapporti armonici. Ogni oggetto che compone l'Universo, infatti, tende all'equilibrio, che si astrae in perfezione matematica, ed è proprio questa tendenza a delineare la bellezza di tutto ciò che ci circonda.

Da notare come queste tematiche, per quanto non vengano indagate direttamente da Borghi, trovino nel suo scritto una singolare trattazione in due sezioni, strutturate, rispettivamente, in paragrafi numerati (*Forma e materia*) e in brevi proposizioni aforismatiche (*Forma e formula*), in cui il concetto di forma viene inquadrato secondo angolazioni prospettiche molto particolari, accendendo la pagina con intuizioni fulminee, penetranti e non di rado stranianti, che, in parte, traggono ispirazione da una significativa citazione di Schrödinger:

Un atomo non possiede le proprietà più primitive che attribuiamo nella vita quotidiana a un corpo materiale. Se si potessero spiegare le vedute moderne ad alcuni filosofi del passato, essi direbbero che l'atomo della fisica contemporanea non ha proprietà materiali, ma è pura forma.

Da sottolineare altresì l'importanza che Borghi assegna allo status di relazione, vale a dire, in consonanza con Wagensberg, a "un livello di realtà in cui il mondo si aggrega e l'informazione non richiede la radiazione elettromagnetica per essere trasmessa, in quanto un sistema entangled è un tutt'uno, come un organismo per gli organi che lo compongono." Un simile assunto implica che i concetti di spazio e tempo

assoluti o di spaziotempo relativistico vengano superati alla luce del concetto di *relazione simultanea*.

4. La relazione simultanea

Vediamo dunque in che cosa consiste questa relazione. Un tratto distintivo fondamentale della meccanica quantistica è che, nel caso di due particelle che abbiano interagito nel corso della loro storia e successivamente si siano separate, l'informazione sul sistema da esse composto dopo la separazione determina due informazioni parziali sulle loro componenti. Tuttavia, queste informazioni parziali (chiamate anche *stati ridotti*) non sono esprimibili da stati puri, rappresentati da un singolo vettore di stato (es. la funzione d'onda ψ), che descrivono perfettamente lo stato di un sistema, al contrario degli stati misti, rappresentati da una matrice densità ρ , che sono una media statistica di stati puri, indicando incompletezza di conoscenza o decoerenza, interazione con l'ambiente che "sporca" gli stati.

Prima delle misure effettuate su di esse, le due particelle si comportano come due oggetti *interscambiabili* e *indiscernibili* fra loro. Dall'equazione di Schrödinger si deduce che se due sistemi hanno interagito a un istante $t = 0$ e risultano poi separati, senza più alcuna reciproca interazione all'istante $t > 0$, si può, misurando solo uno di essi, conoscere con certezza il valore, al medesimo istante t , di una stessa misura operata sull'altro. Due particelle "intricate" (entangled) permettono una conoscenza istantanea del valore di una misura sull'una grazie alla misura effettuata sull'altra: se la prima ha lo spin "up", si è certi che lo spin dell'altra, *se misurato*, è "down". Iterando lo stesso processo, se si ottiene spin "down" per la prima, allora la seconda avrà spin "up". Essendo, per ipotesi, la distanza tra le due particelle al di fuori della portata di un segnale luminoso, e quindi di qualsiasi possibile scambio d'informazione e di azione, dobbiamo escludere, in questo caso, una connessione di tipo causale e postulare, di conseguenza, una relazione per cui le due particelle e gli apparati sperimentali impiegati per misurare gli spin, per quanto lontani possano essere, costituiscono un sistema unico, come fossero in costante contatto diretto. In simili situazioni, che possiamo contrassegnare come di *non località*, il concetto

di distanza spaziale risulta privo di significato. È da sottolineare che il risultato della suddetta rilevazione sperimentale non dipende dall'ordine delle misure effettuate. Tale osservazione, per quanto possa sembrare a prima vista banale o scontata, riveste un'importanza decisiva a sostegno dell'insussistenza di una relazione di causalità, nella quale l'ordine di successione degli eventi e delle osservazioni assumerebbe, necessariamente, una valenza imprescindibile. Scrive a questo proposito Borghi:

Poiché l'entanglement non fa riferimento all'interazione mediata da campi, ma deve essere interpretato alla luce dei concetti di correlazione, stati puri, reversibilità e informazione quantistica, l'analisi critica deve puntare a una chiarificazione del ruolo dello spazio e del tempo nelle relazioni di simultaneità, che sfuggono a un nesso connettivo esprimibile in termini di grandezze e teorie classiche. L'imprendibilità logica del fenomeno è probabilmente dovuta all'uso improprio dei concetti. Una esemplificazione potrebbe essere la seguente: due particelle che hanno interagito conservano, se non la disperdono o la dissipano lungo il cammino, un'informazione circa l'interazione avvenuta in un certo istante e in un certo luogo; quale "forma" abbia questa informazione è l'oggetto dell'indagine. La relazione istantanea a distanza non implica uno scambio di segnali, quindi non rientra nella logica relativistica: spazio e tempo nell'entanglement non formano un continuum quadridimensionale né sono riducibili alla granularità quantistica, che ne snatura la realtà fisica. L'arbitrarietà quanto sfuggente estensione del concetto di relazione – a cui l'interpretazione relazionale assegna una valenza fondamentale nel quadro esplicativo, di fatto in modo incongruente se non operativamente infondato rispetto al concetto di interazione – si supera ipotizzando che l'interazione iniziale, necessaria al prodursi del fenomeno, permanga nel sistema correlato come un'informazione memoriale che trascende lo scambio di segnali, un processo simultaneo e assoluto assimilabile a quello che connette le parti di uno stesso organismo, quindi di uno stesso intero. L'informazione relazionale così concepita trascende lo spazio, si scrive nel presente come energia generata e, letteralmente, non sente lo scorrere del tempo.

Il formalismo della meccanica quantistica permette di calcolare l'evoluzione di un sistema di particelle intricate e fornisce dei valori "correlati" di probabilità per eventuali misure. Questa situazione è ovviamente paradossale e del tutto inspiegabile dal punto di vista della fisica

precedente: infatti, se si lanciano due monete *classiche* in aria e queste interagiscono (si toccano, per dire) per poi separarsi definitivamente, le analisi probabilistiche dei valori testa-croce assunti dalle due monete sono del tutto indipendenti. Ecco in che cosa consiste la simultaneità *assoluta* di cui parla Borghi, che comporta una significativa correzione di prospettiva rispetto alle teorie più recenti. Secondo queste ultime, infatti, il campo è da intendersi come entità primitiva, laddove è nella “consustanzialità di materia e campo” che sta la possibile soluzione dell’enigma dell’entanglement:

In effetti, si direbbe più fondamentale la sorgente del campo, in quanto appare ovvio che niente possa nascere senza un’origine: l’interazione gravitazionale dalla massa, l’elettromagnetica da cariche e correnti ecc. Eppure, la cosmologia concepisce l’innescò della dinamica universale nei termini di una fluttuazione casuale di un *campo* originario. Il punto chiave è che l’origine è campo e materia, in cui la materia nasce *dal* campo. Il ribaltamento del punto di vista, per cui apparentemente sarebbe la materia a generare il campo, consente di risolvere l’enigma dell’entanglement: la realtà è simultaneità, consustanzialità di materia e campo. Niente è prima: l’origine è generazione interna di particelle, senza dover concepire un evento unico da cui sarebbero derivati lo spaziotempo e la materia-energia. L’inerzia è legata all’acquisizione di massa nell’interazione col campo. Tutto si manifesta *attualmente*, senza radici *nel passato*.

5. La teoria generativa del tempo

Il tempo dunque non scorre, si genera. Cosa intende Borghi per generazione e indifferenza al flusso del tempo?

Egli comincia col rilevare che il problema del tempo, nonostante tutti i tentativi di sintesi arbitrarie di cui è stato oggetto, “continua a persistere inviolato, in quanto si è preteso di risolverlo all’interno di sistemi concettuali dedotti da fondamenti assiomatici circoscritti a particolari fatti sperimentali.” Sottolinea, a tale riguardo, la particolare natura del tempo relativistico e il fatto che sia stato derivato dalla teoria elettromagnetica di Maxwell: