

Alfio Briguglia

Coordinatore

Gruppo di lavoro: “Le due culture” . Figure e storie della fisica del novecento. L’incidenza della filosofia personale dello scienziato nel lavoro di ricerca.

L’obiettivo del gruppo di lavoro era presentare alcune figure fondamentali del Novecento, per vedere come di fatto avessero vissuto la relazione tra la loro professione di fisici e il più ampio spettro di interrogativi filosofici, politici, religiosi... tipici di ogni vita dedicata alla ricerca.

Siamo partiti da un discorso di più largo respiro sulla relazione tra fisica e *Lebenswelt*, facendo vedere come si sia passati dalle pretese di una rigida separazione tra oggettività della scienza e soggettività della cultura (Neoempirismo) alla considerazione della loro connessione (*Nuova Filosofia della Scienza*¹). Una conferenza di Schrödinger proprio sulla relazione tra fisica e cultura ha introdotto il tema². In essa lo scienziato austriaco evidenzia il fatto che la scelta della linea di ricerca, il progetto di un esperimento, la utilizzazione dello strumento matematico dipendono da prospettive filosofiche implicite, spesso non dichiarate e, comunque, inaccessibili.

Nella prima metà del Novecento era stata proposta, invece, una visione della scienza nella quale la costruzione di teorie doveva essere considerata né più né meno che un “calcolo” logico, a partire induttivamente dalla base empirica. La contestazione progressiva e sempre più incisiva di tale prospettiva³ ha fatto prevalere la considerazione dell’opera del fisico come opera di *saggezza*, intesa, in senso aristotelico, come capacità di decidere in modo ragionevole in condizioni di incertezza. Abbiamo esemplificato questo discorso collocandoci in un preciso periodo storico, 1925-27, ascoltando due protagonisti: Heisenberg e Schrödinger. Ma accanto a loro si incontrano altre figure carismatiche come W. Pauli. Dietro di loro l’ombra di A. Einstein e N. Bohr. Quasi come contraltare a questa cultura, R. Feynman rappresenta un atteggiamento molto diverso, che potremmo indicare con “fisica come gioco”. I primi personaggi vivevano in maniera molto naturale una sintesi di fisica e filosofia, maturata in un ambiente culturalmente sofisticato come quello mitteleuropeo. Feynman, cresciuto all’interno di una cultura più pragmatica e meno incline a speculazioni metafisiche, si vantava invece di non capire nulla di filosofia, con la riserva dichiarata di non credere che i filosofi avessero qualcosa di interessante da dire.

Schrödinger, Heisenberg, Pauli, Einstein, Bohr avevano una formazione filosofica di prima mano e non consideravano le discussioni sulla natura della conoscenza o sugli eterni problemi dell’uomo come una perdita di tempo. È di Schrödinger l’affermazione: “se eliminiamo la metafisica, arte e scienza si riducono a miseri oggetti senza anima, incapaci di ogni evoluzione ulteriore”⁴. Schrödinger conosceva molto bene il mondo classico e aveva lette quasi tutte le opere di Schopenhauer (la cui filosofia gli serviva anche a giustificare il suo lasciarsi soggiogare dal fascino femminile⁵).

L’aver scelto come caso storico la proposta contemporanea di due meccaniche dei quanti ha portato il gruppo di lavoro a rivisitare alcuni concetti di meccanica analitica, indispensabili per comprendere la proposta di una meccanica ondulatoria. Schrödinger e Heisenberg rappresentano due modi diversi di intendere il dualismo onda corpuscolo in qualche modo legati alla loro “filosofia personale”⁶.

Nel percorso, che nel 1926 portò il primo a formulare una meccanica ondulatoria (non relativistica) per l’atomo di idrogeno, è esplicito l’intento di voler costruire una teoria che

non facesse a meno della continuità spazio-temporale delle orbite elettroniche e per la quale la parola “comprendere” non dovesse essere interpretata in un modo che eliminasse l’intuibilità.

Il tema della *visualizzabilità* accompagna la nascita della meccanica quantistica e costituirà, nei decenni a seguire, uno spartiacque tra filosofie della conoscenza diverse tra loro⁷. L’atomo di Bohr sembrava dare un notevole contributo alla possibilità di comprendere i processi atomici. Esso però ben presto si rivelò nient’altro che un’utile e provvisoria metafora⁸. W.Heisenberg decise di fare a meno di orbite (in ciò era sostenuto da W. Pauli) e organizzare i dati sperimentali in matrici (senza riconoscerle come tali). Già Hendrik Kramers, altro allievo di Bohr a Copenaghen, aveva aperto la strada ad Heisenberg, sostituendo alle frequenze orbitali le frequenze di emissione e considerando ogni atomo come un insieme di oscillatori⁹.

Le relazioni di indeterminazione sembrarono apporre il sigillo definitivo alla possibilità di considerare come cose reali traiettorie e posizioni di elettroni. Proposte da Heisenberg come conseguenza delle regole di commutazione tra impulso e posizione, furono la causa di una discussione accesa con Bohr, che considerava scorretta la sua interpretazione basata sul “disturbo” e non su un dualismo inaggirabile onda-corpuscolo. Questo, a parere di N. Bohr, era la diretta conseguenza del fatto che al mondo microscopico ci si può accostare solo con un linguaggio generato all’interno di una esperienza macroscopica del mondo¹⁰. Nasceva il *Copenhagener Geist*, oggetto di uno tra i più famosi e civili dibattiti (Bohr-Einstein) della storia della cultura, un dibattito filosofico su come avrebbero dovuto andare le cose, ma combattuto con le armi della fisica. Meno amichevoli furono i commenti che Schrödinger e Heisenberg si scambiarono circa le rispettive proposte della nuova meccanica¹¹.

È famosa la valutazione da parte di Schrödinger della proposta di Heisenberg: “...fui spinto (*abgestossen*) da quello che mi parve un metodo piuttosto difficile di algebra trascendente, che sfidava qualsiasi visualizzabilità”. D’altra parte, quest’ultimo non sarà da meno: “Quanto più soppeso la parte fisica della teoria di Schrödinger tanto più orribile (o detestabile – *abscheulicher*) mi risulta”¹².

Qualche decennio dopo, Feynman, con la sua proposta dei cammini esplorati tutti assieme, proporrà un approccio ancora diverso, con la convinzione dichiarata che la molteplicità delle proposte possibili è una caratteristica di tutto ciò che non è banale.

Come proseguimento del lavoro fatto nel nostro gruppo di studio sarebbe utile approfondire il dibattito che si è svolto lungo tutto il Novecento sulla natura della scienza (*NoS*). Tale approfondimento sarebbe didatticamente consigliato, dal momento che l’idea che i docenti di fisica hanno della loro disciplina coincide spesso con standard popolari non corrispondenti a quello che in effetti gli scienziati fanno¹³.

Probabilmente molte delle difficoltà che ha incontrato l’epistemologia del Novecento dipendono dalla pretesa di voler racchiudere in poche regole prescrittive il lavoro effettivo dello scienziato e il concetto di razionalità scientifica, spesso considerata come razionalità *tout court*. Lo sforzo ascetico dell’inizio del Novecento concentrato sul criterio di significanza (quali sono le condizioni perché un discorso abbia significato?), sul criterio di demarcazione (cosa distingue la scienza dalla non scienza?), sul criterio di accettabilità razionale (quali sono le condizioni per accettare come vera una proposizione?) ha poi ceduto il campo a modi diversi, oserei dire più umani, di considerare sia la natura della scienza che della razionalità. La lezione della storia, che ci racconta come hanno lavorato effettivamente gli scienziati, quale era il loro mondo vitale, quale filosofia personale ha influenzato la loro ricerca ha costretto l’epistemologia a cambiare prospettiva.

Un secolo di dibattiti e riflessioni ci consegna una visione del lavoro dello scienziato e della natura della scienza ricca e complessa, più compromessa con altre espressioni della cultura di quanto non avrebbe voluto l’epistemologia standard della prima metà del Novecento¹⁴.

La filosofia di Heisenberg tra il 1925 e il 1927 è tutta contenuta negli *incipit* dei due articoli con i quali proponeva il suo nuovo approccio per il recupero di una coerenza interna alla fisica, ritenuta in crisi.

Già nel lavoro del 1925¹⁵ il ventiquattrenne Heisenberg annunciava l'intenzione costruttrice della nuova teoria: "reinterpretare quantisticamente le grandezze classiche cinematiche e meccaniche", facendo a meno di riferimenti alla posizione e orbita dell'elettrone nell'atomo, perché grandezze inosservabili in linea di principio.

Nel lavoro del 1927¹⁶ proponeva una definizione di comprensione fisica assolutamente prammatica, inaccettabile per E. Schrödinger, e dichiarava irreversibile l'abbandono dei concetti classici di traiettoria e posizione, che considerava all'origine di contraddizioni interne.

In una conversazione, ricostruita da Heisenberg quattro decenni dopo, Einstein gli avrebbe detto incredulo: Ma dice sul serio? Dunque, secondo lei, una teoria deve basarsi esclusivamente su grandezze osservabili? Al che, Heisenberg gli avrebbe ricordato che aveva fatto così anche lui con il tempo assoluto inosservabile, sostituito con il tempo misurato dagli orologi. "Può essere che abbia detto una cosa del genere. Ma, comunque sia non ha senso", fu la risposta di Einstein¹⁷. Nella discussione che segue, Einstein sembra anticipare N. R. Hanson: senza una teoria non esistono neanche i dati sperimentali e la teoria non è organizzazione economica di dati sensoriali, ci parla della realtà (contro Mach!). Le argomentazioni di Einstein costringono Heisenberg a rinnegare quanto affermato nella stessa occasione circa la definizione di comprensione. Concede ad Einstein che comprendere non può significare solo prevedere. E allora? "Non possiamo affermare che abbiamo veramente 'capito' la meccanica quantistica", è la conclusione del colloquio¹⁸.

Nel 1926 il quarantenne Schrödinger pubblicò quattro comunicazioni sulla "Quantizzazione come problema agli autovalori"¹⁹. L'intuizione di de Broglie e l'analogia formale con il principio di Fermat per l'ottica e con quello di Hamilton per la meccanica furono, per quest'ultimo, la guida per interpretare e rendere "comprensibili", mediante il modello ondulatorio, le transizioni radiative dell'atomo di Bohr come battimenti tra frequenze di onde stazionarie.

"Ciò che ora credo con grande convinzione è quanto segue. L'evento meccanico reale viene appropriatamente compreso o rappresentato mediante i processi ondulatori nello spazio e non mediante il moto dei punti rappresentativi in questo spazio. Lo studio del moto del punto rappresentativo, che costituisce l'oggetto della meccanica classica, è solo un procedimento approssimato e come tale ha esattamente la stessa giustificazione dell'ottica geometrica o dei raggi rispetto ai processi ottici reali"²⁰. [...] Schrödinger giunge alle stesse conclusioni di Heisenberg: occorre rinunciare ai concetti di posizione e traiettoria delle particelle. A differenza di Heisenberg, però, non rinuncia alla possibilità di una visualizzazione spazio – temporale dei fenomeni, unica possibilità che abbiamo di comprensione, *in quanto non possiamo davvero cambiare le forme del pensiero e ciò che non possiamo capire al loro interno, non possiamo capirlo del tutto.* [...] *In che modo si deve dunque procedere nello sviluppo ondulatorio della meccanica nei casi in cui esso si dimostra necessario? Si deve partire, invece che dalle equazioni fondamentali della meccanica, da un'equazione d'onda per lo spazio e considerare la varietà dei processi che essa rende possibili*²¹.

Nell'introduzione alla raccolta *Onde di materia e onde di probabilità*²² il curatore S. Boffi osserva: Anche se la meccanica ondulatoria ha contribuito in modo determinante alla svolta del pensiero scientifico e al riorientamento di prospettiva dello scienziato di fronte ai fenomeni fisici, essa nasce dal desiderio di comprensione della realtà fisica oggettiva in quanto tale. E, come in ogni attività umana, i criteri di scelta che hanno innescato questa svolta hanno trovato ispirazione nella matrice culturale della singola persona, responsabile della scelta. Questa matrice culturale è quella europea, riconducibile a tre radici principali: la ricerca dell'intelligibilità del reale perseguita dai greci, il progetto imperiale della *pax romana* e la fede religiosa del popolo ebraico e della tradizione giudaicocristiana²³.

Leggendo le memorie del 1926 si comprende chiaramente come la via di ricerca scelta da Schrödinger sia motivata da una convinzione filosofica su cosa debba significare comprendere in fisica e, in fondo, su come debba comportarsi la natura. Ancora in una conferenza del 1958²⁴ Schrödinger contesta la pretesa del punto di vista di Copenaghen di ridurre il senso di una teoria alla pura prevedibilità statistica, attribuendo un ruolo forte al soggetto osservatore. “La mia idea è che allo stadio presente, e finché il vettore di stato rimane immutato nel suo significato, dobbiamo tener presente che esso descrive “il mondo reale nello spazio e nel tempo e non può essere sublimato in una funzione probabilistica nell’intento di far previsioni”²⁵.

Non c’è stato più tempo, durante i lavori del nostro gruppo, per presentare un altro approccio alla spiegazione del duplice comportamento corpuscolare ed ondulatorio della materia, quello di R. Feynman, questa volta motivato più dal desiderio ricomprendere e di rifare sempre tutto daccapo che dalla filosofia. Giocare in modo “irriverente” con idee paradossali per comprendere lo strano comportamento quantistico da un nuovo punto di vista sembra, in R. Feynman, quasi un progetto di ricerca²⁶.

Un altro caso di influenza della cultura sulla ricerca, sul quale è stata solo fornita una bibliografia, è rappresentato dalla convinzione di W. Pauli di avere sempre pensato i concetti fisici sulla base di archetipi di tipo psichico facenti parte dell’inconscio collettivo. Pauli in *Psiche e natura* si augura l’avvento di una descrizione unitaria della natura che comprenda anche la *psiche* e che metta in luce *il fondamento archetipico dei concetti* che di fatto si usano nella fisica attuale. Il punto di vista definitivo deve far intravedere nella produzione della *Hintergrundphysik* [retroterra], tramite l’inconscio dell’uomo moderno, una linea di sviluppo verso una futura descrizione della natura che comprenda unitariamente *physis* e psiche, e che oggi sperimentiamo solo in una fase prescientifica. Per raggiungere una tale descrizione unitaria della natura sembra necessario in primo luogo *risalire al retroterra archetipico dei concetti scientifici*. Anche su questo rimando ai riferimenti bibliografici in nota²⁷.

Note

¹ Per una storia sintetica dell’evoluzione da una concezione all’altra vedi H. I. Brown, *La nuova filosofia della scienza*, Laterza, Roma Bari 1984

² In E. Schrödinger, *La mia visione del mondo*, Garzanti, Milano 1987

³ Per un dibattito tra i protagonisti più influenti della contesa sulla natura del metodo scientifico agli inizi degli anni ‘70 vedi P. Feyerabend, T. Kuhn, I. Lakatos, M. Masterman, K. Popper, S. Toulmin, J. Watkins, L. Pearce Williams, *Critica e crescita della conoscenza*, Feltrinelli, Milano, 1976, trad. G. Giorello; vedi anche G. Boniolo, P. Vidali, *Filosofia della scienza*, Bruno Mondadori, Milano 1999, cap. 9

⁴ E. Schrödinger, cit. p. 19

⁵ S. Boffi, *La meccanica delle onde*, Università degli Studi di Pavia, Quaderni di Fisica Teorica, nota 27, reperibile all’indirizzo <http://www2.pv.infn.it/~boffi/quaderni.html>

⁶ Sul concetto di “filosofia personale” vedi G. Boniolo, *Metodo e rappresentazione del mondo. Per un’altra filosofia della scienza*, Bruno Mondadori, Milano 1999

⁷ Sulla questione della visualizzabilità e delle rispettive filosofie di tutti i partecipanti al grande dibattito su cosa debba intendersi per teoria scientifica e comprensione della realtà vedi G. C. Ghirardi, *Un’occhiata alle carte di Dio. Gli interrogativi che la scienza moderna pone all’uomo*, Il Saggiatore, Milano 1997, cap. 5 e 6

⁸ Vedi per un approfondimento S. Petruccioli, *Atomi metafore paradossi. Niels Bohr e la costruzione di una nuova fisica*, Theoria, Napoli 1988

⁹ Sulle premesse al lavoro di Heisenberg vedi A. Pais, *Il danese tranquillo. Niels Bohr: un fisico e il suo tempo 1885-1962*, Bollati Boringhieri, Torino 1993, cap. 13 a,b

¹⁰ Circa l’importanza del linguaggio nella proposta di un “principio di complementarità” vedi il capitolo “Siamo sospesi nel linguaggio” in Pais, cit. “Filosofare faceva parte della natura di Bohr”. A chi gli chiedeva quanto significative fossero per lui le considerazioni filosofiche giovanili rispose, poco prima della sua morte: In un certo, senso era la mia vita. Ivi, p. 422

¹¹ Amichevoli furono, però, le gentilezze che Schrödinger e Heisenberg si scambiarono durante una visita di Schrödinger a Bohr

¹² Pais cit. p. 298

¹³ È, credo, inutile sottolineare come venire a contatto con la storia della scienza può aiutare il docente a far sì che l'insegnamento della propria disciplina contribuisca al raggiungimento degli obiettivi formativi che la scuola si propone. Sulla formazione degli insegnanti, l'epistemologia e la storia della scienza rimando a A. M. Briguglia, F. F. G. Calabrese and R. M. Sperandeo-Mineo, *Developing Epistemologically Empowered Teachers: an Approach to Pre-Service Physics Teacher Education Focusing on History and Philosophy of Science*, In: *Teacher Education: Policy, Practice and Research*, Editors: Anthony Selkirk and Maria Tichenor, © 2009 Nova Science Publishers, Inc.

¹⁴ G. Holton individua otto aspetti di un evento che riguarda la storia della scienza: la comprensione del contenuto scientifico dell'evento; lo stato della conoscenza scientifica comune in un dato periodo; l'aspetto personale dell'attività dello scienziato; la traiettoria temporale privata; lo sviluppo psicobiografico: relazione tra stile di vita privata e opera scientifica; lo studio dell'ambiente sociale; lo sviluppo culturale esterno alla scienza; l'analisi logica del lavoro studiato. G. Holton, "Thematic Analysis in Science", in *L'immaginazione scientifica*, Einaudi, Torino 1983. Nel nostro gruppo di lavoro abbiamo voluto, in particolare, esplorare l'influenza della "filosofia personale" sui programmi di ricerca del singolo scienziato

¹⁵ W. Heisenberg, "Reinterpretazione quantistica delle relazioni cinematiche e meccaniche", *Zeitschrift für Physik*, 18 settembre 1925, commentato e tradotto da F. La Teana in Quaderno 8, *Memorie storiche di fisica, L'FnS*, XXXI, Supplemento n. 4, ottobre-dicembre 1998. L'illuminazione decisiva la ebbe nell'isola rocciosa di Helgoland nel Mare del Nord, luogo senza vegetazione, nel quale si era rifugiato in seguito ad un attacco di febbre da fieno

¹⁶ "Il contenuto intuitivo della cinematica e della meccanica nella teoria quantistica", pubblicato in *Zeitschrift für Physik* il 23 marzo 1927, riportato in S. Boffi, *Il principio di indeterminazione*, Università degli Studi di Padova, Quaderni di Fisica teorica, reperibile all'indirizzo <http://www2.pv.infn.it/~boffi/quaderni.html>

¹⁷ W. Heisenberg, *Fisica e oltre. Incontro con i protagonisti 1920-1965*, Bollati Boringhieri, Torino 1999

¹⁸ Ivi p.76

¹⁹ La solitudine di Helgoland aveva ispirato il giovane Heisenberg. Sembra, a detta del suo biografo, che ad ispirare il più anziano Schrödinger non siano state le rocce delle Alpi ad Arosa, dove si era recato per le vacanze natalizie, ma un'amante misteriosa che aveva chiamato a sé (vedi Walter Moore, *Schrödinger. Life and thought*, Cambridge University Press, 1989)

²⁰ Ivi p.60-61

²¹ Ivi p.63-64. Vedi anche la sua *Nobel Lecture*

²² S. Boffi, *Onde di materia e onde di probabilità*, Università degli Studi di Pavia, 1989 reperibile all'indirizzo <http://www2.pv.infn.it/~boffi/quaderni.html>

²³ Ivi p.10. Apprestandosi a presentare le memorie relative alla seconda proposta di una meccanica quantistica ad opera di E. Schrödinger, S. Boffi sente il bisogno di sottolineare il peso di tradizione culturale, in particolare filosofica, che sta dietro una teoria scientifica: "In questa libera attività creativa dell'intelletto, tuttavia, un ruolo essenziale, anche se spesso a livello inconscio, è giocato dall'insieme di nozioni, di idee, di concetti, di atteggiamenti che si trasmettono da una generazione all'altra: quel bagaglio culturale che costituisce l'insegnamento di base informale e che può a ragione essere definito come una *mitologia scientifica*. Tramandata senza più riferimento alle fonti, ma fatta propria nel profondo, questa mitologia scientifica è la forza motrice dell'immaginazione e rappresenta la cornice entro la quale lo spirito creativo si esprime. Il dualismo onda-corpuscolo rientra in questa mitologia scientifica e risale ai primissimi tentativi dei filosofi naturalisti ionici di organizzare la visione del mondo. L'idea della struttura discontinua della materia secondo Eraclito, contrapposta a quella dell'essere indivisibile e continuo di Parmenide, rinasce nelle dispute settecentesche sulla natura della luce tra i sostenitori della teoria corpuscolare di Newton e quelli della teoria ondulatoria di Huyghens" p.13.

²⁴ *Potrebbe l'energia essere un concetto puramente statistico?* Conferenza tenuta in una riunione congiunta della Società di fisica e della Società di chimica-fisica, a Vienna il 26 marzo 1958. E. Schrödinger morirà il 4 gennaio 1961, fedelmente assistito dalla moglie, più volte tradita, Annamaria Bertel.

²⁵ E. Schrödinger, *L'immagine del mondo*, Bollati Boringhieri, Torino 2001, p. 378

²⁶ R. Feynman, *Nobel Lecture*, "The Development of the Space-Time View of Quantum Electrodynamics", 11 dicembre 1965, reperibile all'indirizzo http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1965/feynman-lecture.html. È commovente leggere la rievocazione di R. Feynman dei momenti di educazione a osservare, scoprire, pensare vissuti col padre in: R. Feynman, *Il piacere di scoprire*, Adelphi, Milano 2002. "Mi insegnava a fare attenzione alle cose... Ecco, è così che mi ha insegnato mio padre, con esempi e discussioni: niente forzature, solo conversazioni divertenti e interessanti", p. 24. Vedi anche Elena e Leandro Castellani, *Feynman. La vita di un fisico irriverente*, I grandi della scienza, *Le Scienze*, anno VI, n. 35, novembre 2003

²⁷ W. Pauli, *Psiche e natura*, Adelphi, Milano 2006 (la citazione precedente è a p.39); A. I. Miller, *L'equazione dell'anima*, Rizzoli, Milano 2009