

Werner Heisenberg – la filosofia di un fisico

Bisogna inquadrare il pensiero scientifico e filosofico di WH (e anche il lavoro di Gembillo, del 1987) nel suo tempo. Muore nel 1976, già completamente sedimentata la formulazione canonica (interpretazione di Copenhagen) della *Meccanica quantistica* (QM) e la sua integrazione con la Relatività Speciale con il pieno sviluppo e trionfo della *Teoria quantistica dei campi* (QFT), e appena formulata l'unificazione $SU(2) \times U(1)$ delle interazioni elettromagnetica e nucleare debole (pendente la conferma sperimentale del bosone di Higgs), che è la base ordinatrice del *Modello standard delle particelle elementari* (SMP) oggi in piena vigenza.

Tuttavia non era stata ancora affrontata l'inclusione dell'interazione gravitazionale, non posto il problema della asimmetria barionica (albori della *astroparticle physics*), ancora ignorato il problema delle *gerarchie* (nelle estensioni di Grande Unificazione dello SMP) che ha portato all'introduzione delle *supersimmetrie*, e tanto meno formulata la teoria delle *Stringhe*. Erano ancora da fare le osservazioni astrofisiche e cosmologiche che hanno richiesto l'invocazione rispettivamente della *materia oscura* e dell'*energia oscura*. Ai nostri fini della prospettiva filosofica, sarebbe estremamente interessante sapere cosa ne avrebbe pensato.

La presentazione di Gembillo, che riporta quella dello stesso WH, concede molto significato fondante al “Principio di indeterminazione” nelle implicazioni filosofiche della QM. Sicuramente si deve a tradizione storica, ma al giorno d'oggi, come già al tempo (anni 60 e 70 del novecento) degli scritti filosofici di WH, la QM si insegna a partire di una mezza dozzina di Postulati, tra cui che l'informazione sullo stato fisico di un sistema è *completamente crittata* nella “Funzione d'onda”, e la misurazione delle grandezze fisiche nell'azione di certi operatori matematici (gli “Osservabili”) su queste funzioni d'onda. Le “Relazioni d'incertezza” nella misurazione di variabili “complementari” (archetipicamente la coppia posizione-impulso) **seguono** dai postulati, che assurgono alla categoria formale di *principi*⁽¹⁾. Resta comunque il fatto che nel mondo microscopico la causalità, insieme ad altri assunti classici, va in crisi, e questa è una questione filosofica rilevante, dal momento che in generale il risultato di una misurazione non è predeterminato, come neanche il momento in cui un elettrone decide di saltare da una orbita atomica a un'altra o un nucleo instabile decide di decadere.

Per dare spunto al dibattito, azzardo di seguito una scelta di punti significativi del pensiero di WH (condiviso da Bohr, Pauli, Born, von Weizsäcker, ecc., con WH “filosofi loro malgrado”, obbligati per necessità al ripensamento filosofico dei nuovi orizzonti rivelati dalla esplorazione sperimentale del mondo atomico) come riportato da Gembillo.

- 1) L'interesse dello scienziato per la Fisica è di tipo diverso di quello del “filosofo sistematico”: è *forma mentis* imposta dal confronto tra elaborazione filosofica dei concetti e nuovi, bizzarri e inattesi, comportamenti della natura.
- 2) La Scienza è avvenuta all'ombra della Grecia: adagiati a lungo nella visione democritea (atomi materiali e matematica), nel novecento il concetto di “elementarità” è passato dall'atomo materiale indivisibile all'elemento costitutivo semplice, dalla particella alla simmetria, dal materialismo all'idealismo.
- 3) Nel microscopico l'intuizione fallisce. “Suddividere” e “consistere di” sono concetti limitati, da sostituire, in fondo al processo riduzionistico, con il più vago e flessibile di

”elementarità”. L’”effettivamente vero” è screditato. “Descrivere (classicamente) ciò che accade” è contraddittorio. E’ impossibile descrivere “la natura come sarebbe senza il nostro intervento”, il quale provoca un passaggio dal “possibile” allo “effettuale”. “Sostanza” e “realtà” sono sostituite da funzione di probabilità, “idealizzazione” da funzionalità (esempio della $\sqrt{-1}$).

- 4) Gli *a priori* kantiani (spazio, tempo, esistenza, causalità) non vengono accantonati ma delimitati. Non hanno più carattere di universalità o necessità. Si ereditano concetti della fisica classica (rapporti tra grandezze, *Principio di corrispondenza*). La superazione degli orizzonti teorici, dei paradigmi, imposta dalla esperienza, (esempio del “problema del confine della Terra”, superato dalla prima circumnavigazione), non è più una rinuncia.
- 5) Ci sono limiti di principio alla esperienza diretta, imposti dalla stessa natura. La perturbazione è inscindibile dall’atto di osservazione. C’è un rapporto dialettico tra osservazione e definizione.
- 6) L’indeterminismo quantistico spazza via il determinismo laplaciano (particolarmente le estrapolazioni filosofiche illuministe del materialismo meccanicista), ma non equivale a “libertà”. Si recupera la modestia di limitare la validità delle teorie a campi ristretti della natura. [La pretesa di universalità del metodo scientifico dovrà ritenersi solo un’utile ipotesi di lavoro].
- 7) La visione quantistica prende pure le distanze dal neopositivismo logico (Circolo di Vienna), troppo ristretto se applicato alla Natura. E’ impossibile una completa chiarezza logica, un linguaggio perfetto corrispondente ai fatti. E’ assurdo (cita esplicitamente Wittgenstein) pretendere di dotare ad ogni parola di un esatto significato. E’ impossibile pervenire con la ragione a verità assolute. Ci sono limiti alle idealizzazioni, alle assiomatizzazioni dei concetti. L’astrazione considera gli oggetti da un solo punto di vista (e quindi ignora altri). La scienza deve essere consapevole dei propri limiti, si esprime in caratteri matematici ma che devono essere anche “vivi e concreti”.
- 8) La scienza oggettiva ottocentesca era idealizzazione e non rappresenta tutto il reale, sempre più complesso e fatto di strati (Bohr). Ci sarà sempre qualcosa di inconseguibile dai metodi della scienza. L’alfabeto non è il contenuto. La Natura (ciò che rientra nel campo dell’esperienza) appartiene alla realtà, ma non è l’intera realtà.
- 9) La matematica rappresenta il nostro sapere sul comportamento della natura, e la scienza studia fondamentalmente il rapporto tra uomo e natura. La Fisica versa su ciò che possiamo dire della natura, che è esposta ai nostri metodi di indagine ed in certa misura è indipendente dall’uomo, quindi c’è una distanza dal soggettivismo duro.
- 10) La QM e la Relatività hanno rovesciato i concetti rinascimentali di “reale” (vedere, toccare), di spazio, tempo, causalità, e “unificano soddisfacentemente” le varie scienze esatte (riportiamoci però al 1976).

Nell’insieme credo sia ancora valida l’elaborazione di WH delle implicazioni filosofiche della QM (e l’estensione relativistica QFT) nel suo ambito di applicazione, che prende atto dell’irriducibilità dell’interpretazione di Copenhagen, posteriormente confermata (esclusione di variabili deterministiche occulte) dalle diseguaglianze di Bell e gli storici esperimenti di Aspect e anche altri recentissimi⁽²⁾. In una situazione *gedanken* ne è stata evidenziata invece l’inconsistenza quando si

tenta di includere gli osservatori nella descrizione quantistica⁽³⁾. Come si vede, queste preoccupazioni sono di piena attualità.

In particolare ritengo fonte d'ispirazione il suo rivoluzionario approccio pragmatico che lo portò a formulare una delle due versioni iniziali della QM, cioè la "Teoria delle matrici"⁽⁴⁾. Questo pragmatismo radicale fa parte sicuramente della *forma mentis* da egli auspicata. Troviamo un esempio nel concetto odierno di "particella elementare" che ha un carattere quasi esclusivamente funzionale: unisce sotto la connotazione della "semplicità" (simmetria, preciserebbe WH) manifestazioni che spaziano dal corpuscolo materiale (per esempio l'elettrone, anche se si può comportare come onda) alle "risonanze" (esempio del bosone di Higgs, che corrispondono solo a picchi di produzione di certi raggruppamenti di sottoprodotti particellari nelle collisioni ad alta energia).

Aggiungerei solo una riflessione personale, già manifestata in altra occasione: questa irriducibilità disperante del comportamento della natura a schemi concettuali nitidi, (oggettivismo, soggettivismo, meccanicismo, materialismo, idealismo, positivismo) di fronte ai nostri sforzi di comprensione, rivela una "elusività strutturale" della Realtà che non può essere solo il prodotto di un mondo fisico (materia più le sue leggi) inanimato.

⁽¹⁾ Analogamente il "Principio di esclusione di Pauli" (che prende atto di un divieto empirico, cioè che due elettroni, nello

stesso stato quantistico non possono occupare lo stesso punto dello spazio), è stato codificato **postulando**, in maniera più universale e matematicamente sintetica, l'antisimmetria della funzione d'onda di due fermioni (le particelle di spin semi-intero), da cui il teorema di "connessione spin-statistica" (*The Connection Between Spin and Statistics*, W. Pauli, Phys. Rev., Vol.58,716(1940)) nella QFT. Anche le leggi di Newton (che sono "Philosophiae Naturalis Principia" fondanti) stanno a monte del "Principio di Archimede", che tuttavia ha conservato il nome per tradizione ma ormai senza pericolo di fraintendimento.

⁽²⁾ *Experimental rejection of observer-independence in the quantum world*, M.Proietti et. al., arXiv: 1902.05080v1, 13 Feb 2019

⁽³⁾ *Quantum theory cannot consistently describe the use of itself*, D.Frauchiger and R.Renner, Nature Communications (2018) 9:3711

⁽⁴⁾ Nello studio della struttura dell'atomo, Heisenberg fece lo sforzo mentale di rinunciare a ogni "pregiudizio classico" di capire dove siano e quale velocità abbiano gli elettroni, che portava a insuperabili problemi di verifica. Piuttosto si limitò a formulare i livelli di energia dell'atomo, come si deducono dalle frequenze di emissione e assorbimento dei fotoni, in termini degli elementi di una matrice numerica, assumendo che questa sia l'unica conoscenza del sistema che ci è dato di sapere. Conservando però la relazione classica tra energia, impulso e posizione, ne ricavò espressioni matriciali anche per queste ultime. Dato che il prodotto di matrici non è commutativo, ne seguiva immediatamente l'indeterminazione nella loro misurazione simultanea e l'elaborazione del concetto di "complementarità" di queste variabili. E' comprensibile che a questo quadro integrato ci si riferisca ancora, per tradizione, come il "Principio di indeterminazione".

In parallelo, Erwin Schrodinger sviluppava la "Teoria ondulatoria" della materia, con la sua famosa equazione, più confacente alle idee classiche anche se riferita in questo caso a "onde di probabilità". Si dovette aspettare al lavoro di sintesi di Dirac, che mostrò che entrambe erano formulazioni diverse di una stessa struttura matematica fatta di *Operatori in Spazi di Hilbert*, come oggi si insegna, e formulata principalmente da John von Neumann.