

Commenti di J. Julve ai contributi di p. Gragnano e sue risposte

NOTA: Il primo contributo è dell'ottobre 2019, il secondo è intitolato "marzo Gragnano", seguito del primo (i cui capitoli sono richiamati dall'indice del secondo contributo), del marzo 2020. Al contributo di marzo si univa un contributo del prof. Julve.

Julve.- Funzione d'onda – potenziale (p.2)

Siamo d'accordo che la funzione d'onda non ha energia. Esprime solo "ampiezza di probabilità". Prendiamo la funzione d'onda $\Psi(x)$ di una particella che si muove in una dimensione di spazio (posizione data dalla coordinata x). I valori di $\Psi(x)$ sono numeri complessi, e il loro modulo al quadrato $|\Psi(x)|^2$ esprime la densità di probabilità⁽¹⁾ di trovare la particella in x (è uno dei postulati della MQ). Quindi è chiaro che la funzione d'onda non è, e non ha, una energia.

L'interpretazione di De Broglie-Bohm come "campo (potenziale) reale" deve intendersi squisitamente ed esclusivamente nel senso metafisico di potenza-atto: esprime la potenzialità della particella di trovarsi (atto reale) nella posizione x quando effettuiamo la (perturbatrice) operazione di misura della sua posizione. Vedo pericolo di fraintendimento in questo abbinamento dei termini *campo* e *potenziale* dal momento che induce a pensarlo nell'accezione abituale di "campo potenziale", come quello gravitazionale o elettrostatico⁽²⁾, perché allora sì che si tratta di energia per unità di massa o carica, suscettibile addirittura di trasformarsi in energia cinetica.

Gragnano.- (per le risposte mi sto avvalendo di: GIUSEPPE GAMBILLO, *Werner Heisenberg, la filosofia di un fisico*, Napoli 1987 e TIAN YU CAO, *Conceptual developments of 20th century field theories*, Cambridge University press, second edition 2019).

Circa negli anni 1920-1930 c'erano, per quello che ci riguarda, due interpretazioni della MQ che erano di una certa importanza, 1) quella di Heisenberg, nella quale la funzione d'onda non solo è una funzione solo matematica, ma esprime anche un concetto che non può essere ricondotto ad una grandezza fisica, ma ad un ente di ragione, che è appunto la probabilità. Una nota va messa in evidenza su questa interpretazione: Heisenberg pone in atto una rivisitazione dell'ilemorfismo in questi termini: l'aspetto formale, cioè l'aspetto matematico non è, come in Aristotele e Tommaso, un co-principio sullo stesso piano della materia. Ma al contrario la materia si "risolve" nelle forme matematiche (simmetrie e rappresentazioni di simmetrie che sarebbero le funzioni d'onda). Quindi la materia è fatta di atomi matematici, quindi un atomismo alla maniera di Platone. Sotto la materia ci sono le simmetrie. Ma in aggiunta questi enti di ragione ipostatizzati, cioè le funzioni d'onda (intese come rappresentazioni di gruppi di simmetrie, fondamentalmente enti di ragione), visto che esprimevano delle probabilità, allora richiamavano il concetto di potenza di Aristotele. Ma, mentre in Aristotele la potenza è qualcosa di reale, fondato su qualcosa di reale che è l'atto, qui il discorso filosofico viene preso in maniera molto evocativa, vaga, imprecisa. Infatti la possibilità, legata alla probabilità, non è la potenza di Aristotele. La possibilità è un ente di ragione, la potenza è un ente reale. Faccio un esempio. Potrei, con tutto il potere del mondo, trasformare un bambino in un gatto? Ricombinare il materiale genetico, le molecole, in modo da ottenere qualcosa di diverso, tipo un gatto? Sarebbe possibile? Ossia sarebbe non contraddittorio? In linea di principio dovrei rispondere, di sì, se riuscissi a fare quello che in questo momento storico non posso fare, cioè ricombinare le cellule a piacimento; allora dal punto di vista solo logico, potrei farlo. Quindi la possibilità riguarda la dimensione logica, non la dimensione reale. Ma il bambino è in potenza (reale) a diventare un

gatto? Direi di no. Il bambino è in potenza reale a diventare un essere umano adulto, non un gatto. Quindi la possibilità, e quindi la probabilità, si fonda non sulla natura del soggetto in studio, ma solo su aspetti logici, non contraddittori. Infatti quando si parla di funzione d'onda, che dovrebbe descrivere, quali probabili posizioni e traiettorie assume la particella, visto che non si tratta di qualcosa di fisico, di reale, ma di una funzione che porta a definire delle probabilità, essa non ci dice nulla, o quasi nulla dell'aspetto naturale. Per spiegarmi meglio allora preciso che una legge fisica fa sempre riferimento ad un aspetto natura, ad una essenza di qualcosa che si esprime attraverso il comportamento detto "naturale". Cioè la legge fisica corrisponde al comportamento di una natura, un gatto si comporta naturalmente come un gatto, una particella con una certa massa ha un comportamento naturale corrispondente alla sua essenza. Ad esempio la legge di gravitazione universale corrisponde alla natura di ciò che ha massa e del campo gravitazionale. Ma se trattiamo con possibilità logiche non ci riferiamo alla natura. E' vero che questa funzione d'onda io la ricavo dai risultati sperimentali, ma se affermo che non è una grandezza fisica, che non ha energia, e che dice solo la probabilità che avvenga una delle possibili soluzioni, allora la probabilità di un evento non si riferisce alla sua causa, mentre una legge fisica mi dovrebbe fare capire proprio il rapporto tra causa ed effetto. Scusate se sono stato un po' lungo, ma era per far capire che la funzione d'onda alla Heisenberg, ovvero quella della scuola di Copenaghen, esclude il concetto di natura, di legge fisica, energia, causa ed effetto. Dietro quella probabilità ci possono essere tante nature che hanno dei risultati probabilistici simili. Se la funzione d'onda parlasse di una natura, cioè si riferisse all'essenza di qualcosa, allora dovrebbe essere una grandezza fisica, avere un'energia, cioè riferirsi a qualcosa di reale.

La seconda soluzione era quella di Schrödinger e de Broglie. Sono soluzioni simili, perché per de Broglie c'era l'atomo circondato da onde, e per Schrödinger al posto della massa si potevano avere onde ad altissima frequenza. L'aspetto che accomuna le due soluzioni è che le onde sono reali, hanno una densità di energia, e sono quindi grandezze fisiche. Si parla della natura degli oggetti che stiamo studiando.

Bene, dopo il 1927 la meccanica quantistica subisce una accelerazione, perché l'aspetto matematico diventa sempre più importante. C'è una generalizzazione delle condizioni di quantizzazione, ma in questa generalizzazione e formalizzazione si prendono aspetti di entrambe le correnti di interpretazione, quella probabilistica e quella reale, tanto è vero che nella seconda quantizzazione, c'è sì l'energia nel vuoto, e i campi diventano qualcosa di reale, dalla energia vengono fuori delle particelle e dalle particelle viene fuori energia. Alla maniera della relatività ristretta. E' pur vero che la seconda quantizzazione, la quantizzazione dei campi ammette la teoria della relatività. Ma non si capisce come si possa passare da una situazione che è quella della meccanica quantistica, dove non c'è energia nel vuoto, ad una situazione, come quella della seconda quantizzazione, che pure deriva dalla prima quantizzazione, in cui la funzione d'onda è solo un ente di ragione e non una grandezza fisica.

Per cui rimane vero che se ci fermiamo alla sola Meccanica quantistica prima dello sviluppo matematico massiccio avvenuto alla fine degli anni '20 non riusciamo a cogliere le contraddizioni che invece verranno rivelate solo dopo.

Julve.- Ridurre a piacere gli errori di misura (p.3).

È chiaro che non si può né strumentalmente né concettualmente (nel senso metafisico già detto che gli enti reali sono limitati e finiti). Sarebbe solo una idealizzazione. Tuttavia qui c'è una differenza

fondamentale tra le teorie classica e quantistica. **In linea di principio classicamente l'unico limite alla precisione delle misure è tecnologico**, che si potrà migliorare con strumenti sempre più perfetti. Invece nella MQ esiste inoltre il limite teorico dato dal principio d'indeterminazione per le coppie di variabili coniugate, come quelle di posizione–quantità di moto⁽³⁾ o tempo–energia. Anzi, in quest'ultimo caso l'indeterminazione quantistica è superiore all'errore sperimentale con cui si possono misurare l'energia o i tempi di decadimento in sistemi instabili, quali per esempio molti prodotti degli urti tra particelle elementari o il caso del neutrone (fuori dal nucleo atomico), che si prende *in media* 12 min a decadere! Potrei spiegarlo in maggiore dettaglio.

Gragnano.- Mi trovo in disaccordo con la parte evidenziata in giallo. In linea di principio non c'è solo il limite pratico e tecnologico, ma c'è anche il limite della mente umana. Una mente finita non può gestire una misura con una precisione infinita, cioè un numero reale con un numero infinito di decimali dopo la virgola. Il principio di indeterminazione si basa su aspetti matematici, cioè il rapporto tra la funzione d'onda delle coordinate e la sua trasformata di Fourier, ma il principio di indeterminazione sembra poter essere interpretato come una causalità fisica, cioè se io stringo l'errore sulle coordinate io determino, causo, l'aumento dello spettro delle possibili quantità di moto, e viceversa. Ma io credo che se parliamo di probabilità, di funzione d'onda come ente di ragione, allora non possiamo mettere in gioco la causalità,

Julve.- Postulati inverificabili (p.4).

Può essere soggetto di dibattito il comportamento di un oggetto o sistema all'interno dei margini di errore sperimentale: realmente non lo si può osservare e ci si affida alle estrapolazioni o induzioni dettate dal marco teorico adottato, nella fattispecie classico o quantistico. In particolare la causalità o casualità del comportamento può trovare spazio all'interno di quei margini in molte situazioni. Ci sono invece moltissimi sistemi in cui la differenza tra le teorie si manifesta in maniera qualitativa, come nel caso dell'atomo: classicamente la sua energia ha valori continui e sarebbe instabile, collassando in tempi brevissimi, mentre la MQ descrive (tralasciamo la questione dello "spiegare") correttamente la sua stabilità e quantitativamente lo spettro discreto dei suoi livelli di energia. In questi casi la differenza non è solo filosofica, è operativa e misurabile.

Gragnano.- La differenza sperimentale diventa filosofica quando con un processo induttivo passo dai dati sperimentali alla teoria, usando principi che non riscontro altrove, principi che sono per definizione inverificabili e lontani dai principi presenti in altri ambiti, allora l'interpretazione usa i dati sperimentali come pretesto per poter confermare quei principi. Ma tali principi, appunto, sono per definizione inverificabili. L'operazione che compie Heisenberg, mi sembra, sia quella di mettere sullo stesso piano le teorie scientifiche e la metafisica: cioè considerarle entrambe "locali" legate a particolari condizioni fisiche. Mentre a seconda delle circostanze, io posso usare la teoria classica di Newton, o la relatività ristretta o la meccanica quantistica, invece dal punto di vista filosofico i principi di base e l'aspetto metafisico dovrebbero essere sempre gli stessi, perché la realtà ha una certa unità presupposta. Altrimenti l'induzione, il passaggio dal particolare al generale, diventerebbe veramente troppo arbitrario. Tanto nella meccanica quantistica mi trovo di fronte a situazioni e principi che non potranno mai essere confermati o falsificati sperimentalmente.

Julve.- Funzioni d'onda – simmetrie (p.4).

Vero (parole di Heisenberg!) il *ruolo fondante* delle simmetrie che sostituisce il *ruolo* dei vecchi atomi (+ vuoto, ci sarebbe da aggiungere, e ancora + tempo in prospettiva più moderna), ma senza pensarle come componenti o parti elementari materiali. Semmai gli eredi materiali odierni degli atomi greci sarebbero i campi quantistici (ordinati nella tavola del Modello Standard) che creano-annichilano le particelle elementari osservabili. Le simmetrie (rapporti matematici tra i campi, e azzeccatamente pensabili come enti platonici) condividono con i campi il ruolo fondante con pari protagonismo.

Anzi, qui vedo un ulteriore parallelismo che potrebbe arricchire i concetti esplicitati nel contributo:

Il vuoto classico è il substratum dove si muovono gli atomi, dove si rapportano tra di loro (aggregano, disgregano, collidono) con proprietà di simmetria caratteristiche dello spazio (rotazione, traslazione) e del tempo (traslazione temporale). Tra le particelle elementari (cioè tra i loro campi quantistici), oltre a queste stesse simmetrie spazio-temporali ricorrono ulteriori “simmetrie interne” alla famiglia, nella fattispecie il gruppo $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$. Quindi al paradigma classico dato dal binomio atomi + vuoto (con le sue simmetrie) corrisponde il paradigma odierno dato da particelle elementari (campi quantistici che impregnano tutto lo spazio) + simmetrie (spazio-temporali e “interne”), e adesso più che mai entrambi i membri del binomio hanno connotazioni platoniche.

Gragnano.- Penso di aver già risposto sopra. La seconda quantizzazione, e quindi anche il modello standard, è uno sviluppo della prima quantizzazione usando entrambe le interpretazioni, quella di Heisenberg e quella di de Broglie. Un miscuglio che crea tanta confusione e tanti problemi presenti nella Teoria dei Campi Quantistici.

Julve.- Non linearità della gravitazione e comportamento caotico (p.5).

Per i non iniziati credo che sarebbe bene specificare che si sta parlando della gravitazione descritta dalla Relatività Generale, che in effetti ha equazioni “non polinomiali” (caso spinto di non linearità) per il campo gravitazionale. D'accordo col ricordare che spesso, ma non necessariamente, la non linearità delle equazioni in molti sistemi è associata al comportamento *caotico* delle soluzioni (estrema sensibilità alle condizioni iniziali, come nel problema a tre o più corpi, il doppio pendolo, ecc.), che credo non riguardi direttamente la RG, nella quale invece è causa dell'insorgenza delle famose singolarità: la “singolarità nuda” al centro dei buchi neri e la necessariamente esistente nel passato (Big Bang) o nel futuro (Big Crunch) dell'universo (“Teoremi di singolarità” di Penrose-Hawking). Comunque si tratta pure di situazioni “fuori controllo” nell'evoluzione del sistema.

Gragnano.- Il punto interessante della non linearità è che mostra come si usi come presupposto filosofico l'atomismo-meccanicismo alla Platone fin quando è possibile e poi, quando non è più possibile si invoca la complessità o non linearità. L'impostazione ilemorfica invece parte già dal fatto che il tutto non è banalmente la somma delle parti, che ci sono identità e quindi natura che non possono essere semplicemente scomposte e ricomposte come se fosse delle macchine. L'esempio più interessante e vicino, a mio avviso, è il rapporto tra la massa e il suo campo potenziale

gravitazionale. Questa relazione non è stata mai messa a tema in maniera approfondita, nel senso di chiedersi: com'è che questi due aspetti reali (qualità dal punto di vista aristotelico) sono legati insieme? In una visione ilemorfica si potrebbero senza difficoltà considerare due qualità della stessa sostanza.

.....

NOTE

- (1) Cioè, probabilità per unità di lunghezza. Se vogliamo studiarne le dimensioni (in termini delle grandezze fondamentali di massa M , lunghezza L , e tempo T) la probabilità è adimensionale (dimensione zero), quindi la densità lineare di probabilità ha dimensioni L^{-1} e di conseguenza $\Psi(x)$ ha dimensioni $L^{-1/2}$. Una densità di probabilità spaziale, cioè in tre dimensioni di spazio, avrebbe dimensioni L^{-3} e allora $\Psi(x)$ avrebbe dimensioni $L^{-3/2}$. Queste considerazioni sono indipendenti dalla questione dell'energia della funzione d'onda, che in particolare non è una densità di energia.
- (2) Concretamente queste energie potenziali variano inversamente alla distanza dalla massa o carica che le originano.
- (3) Per l'indeterminazione Δx della posizione e Δp della quantità di moto la relazione è $\Delta x \times \Delta p \geq \hbar/2$, dove \hbar è la costante di Planck, piccola ma ben nota. La relazione d'indeterminazione per il tempo-energia è simile.