

# Un inedito di John Bell sull'onda pilota di de Broglie

Angela Laurora - Università di Bari "Aldo Moro" - [angela.laurora@uniba.it](mailto:angela.laurora@uniba.it)

Augusto Garuccio - Università di Bari "Aldo Moro" - [augusto.garuccio@uniba.it](mailto:augusto.garuccio@uniba.it)

*Abstract:* L'idea dell'onda pilota di de Broglie del 1923 ha costituito uno dei temi fondamentali della ricerca in Meccanica Quantistica, suscitando negli anni a seguire l'interesse e il confronto dei diversi protagonisti del dibattito sui fondamenti di questa teoria. Tra coloro che hanno contribuito alla discussione sulla tematica, John Bell ha in alcuni suoi lavori scientifici espresso la sua favorevole opinione sul modello dell'onda pilota di de Broglie. In questo contributo presentiamo un documento inedito del fisico irlandese, *Notes for a history of the pilot wave*, in cui è tracciato un progetto di ricostruzione storica del dibattito intorno a tale teoria. Il manoscritto è stato ritrovato tra la documentazione originale e inedita conservata e resa disponibile dalla sig.ra Mary Bell, moglie e collega del fisico irlandese. L'inedito è particolarmente significativo poiché Bell affronta la questione in una prospettiva, quella storica, cercando di offrire un quadro organico delle riflessioni dei fisici che si erano interrogati sull'argomento, organizzandole cronologicamente e con riferimento alle fonti bibliografiche. In particolare esso permette una ricostruzione storica delle riflessioni di Bell sulle posizioni dei padri fondatori della Meccanica Quantistica circa l'idea di de Broglie, posizioni da loro espresse in occasione dei due eventi che egli reputa più pertinenti alla tematica: la V Conferenza Solvay *Électrons et photons* nel 1927 e nel 1952 la raccolta di scritti *Louis de Broglie, Physicien et Penseur*, a cui contribuirono i protagonisti che in quegli anni avevano partecipato al dibattito.

*Keywords:* John Bell, Meccanica Quantistica, Louis de Broglie, Onda pilota.

## 1. Introduzione

Il paradosso formulato nel 1935 da Einstein, Podolsky e Rosen è stato uno dei principali temi della ricerca sui fondamenti della Meccanica Quantistica e John Bell (1928-1990) ha ricoperto un ruolo fondamentale nel relativo dibattito, permettendo di affrontare quegli aspetti che hanno condotto a nuovi sviluppi di rilevanza concettuale e, successivamente, applicativa. Bell è riuscito a stimolare le ricerche sul paradosso EPR, orientando i lavori di tutti coloro che hanno affrontato tali tematiche e l'importanza del suo lavoro scientifico è ora universalmente riconosciuta dalla comunità scientifica.

Recentemente la possibilità di avvalersi dell'analisi della corrispondenza scientifica e di altri documenti originali resi disponibili dalla Sig.ra Mary Bell, moglie e collega di

John, ha permesso di fornire un contributo (Laurora 2014) che integra la ricostruzione storica del pensiero scientifico di Bell e conferma il carattere fortemente originale nella ricerca teorica.

Il dibattito sulla questione aperta nel 1935 da Einstein, Podolsky e Rosen, con la pubblicazione del lavoro “Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?” (Einstein *et al.* 1935), rimase, per circa 30 anni, limitato a un piano filosofico e un suo sviluppo, non legato unicamente alle convinzioni personali dei protagonisti, fu reso prudente da un’opera precedente del famoso matematico John von Neumann, *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, che nel 1932 aveva mostrato l’impossibilità di completare la Meccanica Quantistica nei termini causali e locali proposti da Einstein (Von Neumann 1932). Nel 1952, tuttavia, il fisico David Bohm pubblicò “A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of Hidden Variables” (Bohm 1952) in cui mostrò invece possibile tale completamento della Meccanica Quantistica e riformulò il paradosso considerando una configurazione molto vicina ad una possibile situazione fisica realizzabile sperimentalmente.



**Fig. 1.** John Stewart Bell. Cortesia del CERN di Ginevra

È proprio la lettura del lavoro di Bohm che colpì l’interesse di John Bell e accrebbe le motivazioni che lo avevano condotto a interessarsi alla questione fin da studente. Nel 1964 pubblicò “On the Einstein-Podolsky-Rosen paradox” (Bell 1964), un lavoro pionieristico in cui egli propose la famosa disuguaglianza che porta il suo nome. La pubblicazione, dopo aver ricevuto tiepide reazioni, suscitò un rinnovato interesse verso la ricerca sui fondamenti della Meccanica Quantistica a seguito della pubblicazione nel 1969 dell’articolo di Clauser, Horne, Holte e Shimony sulla proposta di test sperimentali per la verifica della disuguaglianza di Bell (Clauser *et al.* 1969) e dei contributi e della discussione al Convegno di Varenna nel 1970 (d’Espagnat 1971).

La pubblicazione dei risultati riguardanti la prima generazione di test sperimentali condotti tra il 1972 e il 1976 e di quelli concernenti gli esperimenti di seconda generazione eseguiti tra il 1976 e il 1982 furono di stimolo alle riflessioni di Bell e consentirono di ampliare l'interesse e la partecipazione al dibattito. Fu un periodo in cui, tuttavia, il dibattito si svolse ancora per vie informali, come testimonia il ruolo che ebbero gli incontri sulla questione delle variabili nascoste organizzati tra il 1973 e il 1982 dall'Associazione "Gonseth" e dalla conseguente diffusione dei fascicoli *Epistemological Letters*, che raccolsero i contributi al dibattito e consentirono quindi il confronto e l'affinamento delle relative idee, prima della loro pubblicazione su qualche rivista adeguata (Association F. Gonseth 1973-1984).

Tra il 1982 e il 1990, un periodo caratterizzato dal proseguimento della riflessione sulle questioni fondamentali e dai test sperimentali di terza generazione, vi fu una maggiore partecipazione di Bell ai convegni ai quali – rispetto a quelli degli anni Settanta – contribuì con seminari particolarmente caratterizzati dall'attenzione a diffondere le idee ormai consolidate e a divulgarle anche attraverso le interviste che egli rilasciò tra il 1983 e il 1990.

Nel marzo del 1987 Bell raccolse, nel volume *Speakable and unspeakable in quantum mechanics* (Bell 1987), i lavori scientifici pubblicati tra il 1964 e il 1987, tra i quali vi sono anche quelli che affrontano la teoria di de Broglie. Nella Prefazione al volume Bell suggerì la lettura di quegli articoli che, a suo giudizio, consentono di comprendere gli aspetti essenziali della teoria formulata dal fisico francese. Sono i lavori che hanno permesso di conoscere il punto di vista di John Bell circa il modello dell'onda pilota e che precedono cronologicamente il documento inedito ritrovato.

## ***2. Notes for a history of the pilot wave***

Tra i documenti originali di John Bell è stato ritrovato un manoscritto dal titolo *Notes for a history of the pilot wave* sull'onda pilota, un argomento che – come indicato dallo stesso fisico irlandese – lo ha sempre interessato. Lo sottolinea lui stesso in occasione di un breve scritto dal titolo *Louis de Broglie's guiding wave* inserito nella raccolta di ricordi e di testimonianze personali su Louis de Broglie, pubblicata nel 1988 a cura della "Fondation Louis de Broglie" per ricordare lo scienziato francese a circa un anno dalla sua scomparsa (Bell 1988). Questo contributo, non essendo una pubblicazione scientifica, è praticamente ignorato dalla letteratura ma è prezioso poiché documenta con chiarezza a riguardo il pensiero di Bell:

The magnificent discovery, in 1923, of de Broglie waves, won for Louis de Broglie immortal fame. Is it not strange then that his efforts to understand the physical status of those waves commanded so little attention among his great contemporaries? His 'pilot wave' picture, of 1927, has fascinated me since I first heard of it. And when I did first hear of it, in 1952 when it was rediscovered and developed by David Bohm, I was indignant that I had not been told of it before. [...] But the courage and vitality of de Broglie, in his late maturity, in breaking from a heavily prevailing orthodoxy, remains for me admirable and inspiring. [...] I was indignant that I had not been told

sooner of the pilot wave picture. And I am indignant that even now most students are not told of it at all. For it is a powerful antidote to the complacent notion that the ambiguity and subjectivity of contemporary physical theory are dictated by experimental facts (Bell 1988, p. 27).

Osserviamo che questa breve nota mette in evidenza la sua posizione, per così dire, “politica” sull’interpretazione della Meccanica Quantistica espressa con chiarezza nelle ultime righe del suo contributo in omaggio a de Broglie.

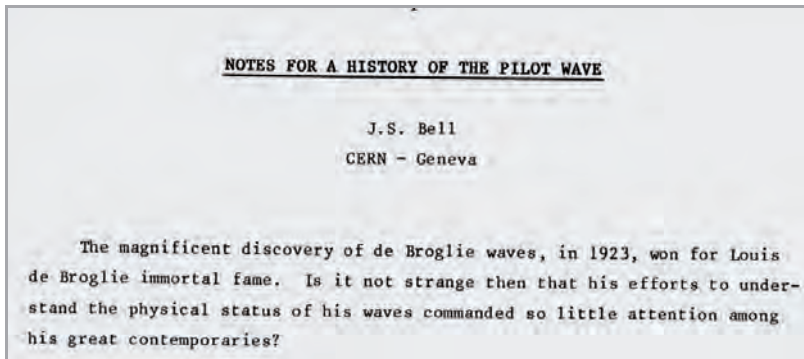


Fig. 2. Le prime righe del dattiloscritto originale di John Bell

D'altronde John Bell si era già occupato dell'onda pilota nel 1982, proprio in occasione del 90° compleanno di de Broglie, preparando per quell'evento celebrativo un contributo dal titolo "On the impossible pilot wave", pubblicato poi su *Foundations of Physics* nell'ottobre dello stesso anno (Bell 1982), e successivamente inserito nel volume *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*:

Moreover, the essential idea was one that had been advanced already by de Broglie in 1927, in his 'pilot wave' picture. But why then had Born not told me of this 'pilot wave'? If only to point out what was wrong with it? Why did von Neumann not consider it? More extraordinarily, why did people go on producing 'impossibility' proofs, after 1952, and as recently as 1978? When even Pauli, Rosenfeld, and Heisenberg, could produce no more devastating criticism of Bohm's version than to brand it as 'metaphysical' and 'ideological'? Why is the pilot wave picture ignored in text books? Should it not be taught, not as the only way, but as an antidote to the prevailing complacency? To show that vagueness, subjectivity, and indeterminism, are not forced on us by experimental facts, but by deliberate theoretical choice? I will not attempt here to answer these questions (Bell 1987, p. 160).

Il manoscritto ritrovato conferma l'interesse di Bell per questo argomento ed è particolarmente significativo poiché affronta la questione in una prospettiva, quella storica, cercando di offrire un quadro organico delle riflessioni degli scienziati che si erano interrogati sull'argomento, organizzandole cronologicamente e con riferimento alle fonti bibliografiche.

Il documento è costituito da 12 pagine dattiloscritte. Le prime tre pagine sono dedicate da Bell alle sue riflessioni che si concludono recando la seguente indicazione: «Paris, 5 November, 1987». Il manoscritto si colloca, quindi, successivamente a marzo del 1987 quando scompare de Broglie e dopo la pubblicazione di *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*. Non risulta però che questo lavoro sia stato pubblicato successivamente e, infatti, non è presente neppure nell'edizione aggiornata dello stesso volume pubblicata nel 2004. Una sistematica ricerca tra le fonti secondarie non ha fornito alcun riscontro, per cui è ragionevole ritenere il manoscritto quasi certamente inedito. Alla pagina 4 del documento Bell riporta le indicazioni della bibliografia consultata e in appendice, costituita da 8 pagine, allega il testo delle considerazioni che i diversi scienziati fecero in concomitanza di due eventi che Bell reputa più pertinenti alla tematica: la V Conferenza Solvay *Électrons et photons* nel 1927 e la pubblicazione nel 1952 della raccolta di scritti *Louis de Broglie, Physicien et Penseur* (George 1953).

Nelle pagine del manoscritto relative alle riflessioni, egli parte dall'idea dell'onda pilota proposta da Louis de Broglie nel 1923 e riflette sulla considerazione prestata a questo concetto dai padri fondatori della Meccanica Quantistica:<sup>1</sup>

The magnificent discovery of de Broglie waves, in 1923, won for Louis de Broglie immortal fame. Is it not strange then that his efforts to understand the physical status of his waves commanded so little attention among his great contemporaries?

L'interesse per tale tematica ebbe origine dalla lettura del lavoro di David Bohm del 1952. Bell rimase affascinato dalla pubblicazione tanto che questa costituì decisamente la spinta decisiva per il suo coinvolgimento come protagonista nel dibattito sui fondamenti della Meccanica Quantistica:

I have myself been fascinated by his 'pilot wave' picture since I first heard of it – when it was rediscovered and developed by David Bohm in 1952. And I have been intrigued by the reception given to this idea. So I have been led to seek out especially the opinions of the great founding fathers on this matter. I have put together here, in Appendices, what seem to me to be the essential passages in the writings I have found.

Come già detto, in particolare egli valuta le opinioni da loro espresse in occasione dei due eventi che, come già evidenziato, Bell reputa pertinenti alla tematica: la V Conferenza Solvay nel 1927 su *Electrons et Photons*, che vide i più prestigiosi fisici del tempo confrontarsi sulla formulazione della nuova teoria quantistica, e la pubblicazione nel 1952, in occasione del 60° compleanno di de Broglie, di una raccolta di scritti dal titolo *Louis de Broglie, Physicien et Penseur* (George 1953) a cui contribuirono i protagonisti che fino a quell'anno avevano partecipato al dibattito:

There were two particularly suitable occasions for such opinions to be expressed. The first was in October 1927, the 5th Solvay Conference when de Broglie first

---

<sup>1</sup> Le citazioni tengono conto delle note scritte a mano da Bell a margine del documento dattiloscritto.

presented his ideas. The second was in 1952, when a festschrift was put together for de Broglie's 60th birthday – just after, as it happened, the work of Bohm became known.

Riguardo alla V Conferenza Solvay nel 1927 egli indica coloro che, tra i protagonisti del dibattito, intervennero sulla proposta di de Broglie:

All the great men were at the 1927 meeting: Einstein, Born, Bohr, Schrödinger, de Broglie, Pauli, Heisenberg, Dirac – in order of age. Only Einstein, Schrödinger and Pauli responded to the Broglie. Einstein thought that “Mr. de Broglie is right to look in that direction”. (Indeed, Einstein had himself had very similar ideas about the combination of electromagnetic waves and photons.) But he gave no support beyond this remark. Schrödinger said that attempts to put particles and waves together could be at best temporary expedients. He was already in love with the wave, did not want particles at all, and so it was for the rest of his life. Pauli dismissed the pilot wave picture on the grounds that, after an interaction, a system is not seen to go into one of its stationary states. The reply of de Broglie was hesitant, and the point was left for Bohm to clear up. In fact, the idea that a system must always be in one of its stationary states was a hangover from the old Bohr atom. It does not appear now in any careful formulation of the modern theory. Pauli seems not to have returned to the point.

Analogamente, esaminando il volume di saggi *Louis de Broglie, Physicien et Penseur* del 1953, Bell individua nello specifico coloro che fornirono un ulteriore commento all'idea di de Broglie. Riguardo agli altri fisici che non contribuirono alla raccolta di scritti, egli ne riporta alcuni commenti, ritenuti utili per le sue riflessioni:<sup>2</sup>

In the 1952 festschrift, Einstein and Pauli commented again on the pilot wave theory, and what seems to me the essence of their remarks I include in the Appendices. Schrödinger did not return to it, and after 1927 I know of no comment by him on the pilot wave idea. Born and Heisenberg were present in 1952, but wrote about other things. So I include in the Appendix a relevant remark by Born in a letter to Einstein, and one of his notes to the collected Born-Einstein letters [3]. And I include some relevant passages from a 1955 survey [4] by Heisenberg. Bohr and Dirac were absent in 1952. I represent Bohr here by a remark from a letter to Pauli in August 1927, and by another attributed to him by Heisenberg, and by some of 1952 analysis of Rosenfeld [2], who seems to have appointed himself the champion of Bohr. And I quote some passages from a 1963 article by Dirac [5].

Dopo aver esaminato i vari contributi, Bell evidenzia il lavoro di Bohm del 1952 come un'occasione di cambiamento – circa la riflessione sull'idea di de Broglie – e la relativa risposta da parte dei vari protagonisti del dibattito:

<sup>2</sup> Nella citazione sono stati mantenuti i riferimenti bibliografici nella stessa forma con cui compaiono alla pagina 4 del dattiloscritto e di seguito riportati così come annotati da Bell: [2] Louis de Broglie, *Physicien et penseur*, André George, ed. (Albin Michel, Paris 1953), [3] *The Born-Einstein Letters*, M. Born, ed. (MacMillan, London 1971), [4] *Niels Bohr and the Development of Physics*, W. Pauli, L. Rosenfeld and V. Weisskopf, eds. (Pergamon, London 1955), [5] P.A.M. Dirac, *Scientific American*, May 1963, p. 45.

The situation had been very much changed by the 1952 work of Bohm. Louis de Broglie had himself taken up again his old ideas. The great men had to admit, with visible reluctance it seems to me, that the pilot wave picture could not be faulted logically, nor distinguished experimentally from the orthodox theory. They cast around, rather desperately it seems to me, for other reasons to reject it. They called it ‘metaphysical’ and ‘ideological’. They need not detain us. Pauli pointed out that a careless modification of the picture could get it into trouble with the exclusion principle. So if we modify the pilot wave picture, hoping to improve on quantum mechanics, let us be careful. And they deplored the lack of symmetry between  $q$  and  $p$ . The ordinary quantum formalism, like classical canonical mechanics, has such symmetry – until one looks at a realistic Hamiltonian.

L’ultimo riferimento è a Paul Dirac:

It is refreshing in the end to come to the opinions of Dirac – comforting as they are for those who (like Einstein, de Broglie, Bohr and the others) worry greatly about the meaning of quantum mechanics. Dirac thought that one should not worry very much about that. He thought that the puzzles were associated with the provisional state of the theory, and that looking back from the vantage point of a more developed theory we will regret the time spent trying to interpret an underdeveloped one. He insisted too on beauty in the equations, and on this ground neither the pilot wave picture nor the more elaborate ‘double solution’, preferred by de Broglie, would have appealed to him. However, in some respects, he is definitely in the de Broglie camp – in his gentle scepticism about ‘complementary’ and his openness to the idea that clarity and precision might one day prevail in theoretical physics.

Bell conclude la sua riflessione sottolineando l’importanza dell’insegnamento del modello dell’onda pilota:

Most contemporary theoretical physicists, busy as they are, making important developments in the manner of Dirac, have little time for questions of meaning. If they think of these things at all, they are likely to think of themselves as following Bohr and ‘complementarity’. If they have heard of the pilot wave, they are likely to think vaguely that it has somehow, probably by Pauli, been refuted. It has not. And it remains a powerful antidote to the complacent idea that the ambiguity and subjectivity of orthodox quantum mechanics is dictated by experimental facts. I think that all students of quantum mechanics should be exposed to the pilot wave picture, to broaden their minds.

### 3. Conclusioni

Il confronto tra l’inedito ritrovato e il breve scritto pubblicato nel 1988 in ricordo di de Broglie farebbe supporre che Bell avesse in mente di scrivere un lavoro più elaborato che poi ha dovuto sintetizzare – tenendo probabilmente conto della scadenza dovuta alla commemorazione di de Broglie – in quello pubblicato nella raccolta di scritti in onore del premio Nobel francese.

Tuttavia il ritrovamento del manoscritto tra i documenti inediti di Bell conferma come l'analisi delle questioni che fin da giovane Bell reputava centrali ha continuato ad appassionarlo anche in età più matura e fa supporre che egli abbia conservato tale bozza di lavoro in vista di un'accurata e più elaborata riflessione sull'idea dell'onda pilota, partendo proprio dalla dettagliata ricostruzione storica del dibattito su tale teoria. Purtroppo la sua improvvisa e immatura scomparsa ha posto la parola fine a questo progetto.

## Bibliografia

- Association F. Gonseth, Institut de la méthode (1973-1984). *Epistemological Letters*.
- Bell J.S. (1964). "On the Einstein, Podolsky, Rosen paradox". *Physics*, 1, pp. 195-200.
- Bell J.S. (1982). "On the impossible pilot wave". *Foundations of Physics*, 12 (10), pp. 989-999.
- Bell J.S. (1988). *Louis de Broglie's guiding wave*, in *Louis de Broglie que nous avons connu*. Paris: Fondation Louis de Broglie, Conservatoire National des Arts et Métiers, p. 27.
- Bell J.S. (1987). *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bohm D. (1952). "A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of Hidden Variables". *Physical Review*, 85 (2), pp. 166-179.
- Clauser J.F., Horne M.A., Shimony A., Holt R.A. (1969). "Proposed Experiment to Test Local Hidden-Variable Theories". *Physical Review Letters*, 23 (15), pp. 880-884. "Erratum" (1970), *Physical Review Letters* 24 (10), p. 549.
- D'Espagnat B. (ed.) (1971). *Foundations of Quantum Mechanics, International School of Physics "Enrico Fermi", 49th Course* (Villa Monastero, Varenna, 29 June-11 July 1970). New York & London: Academic Press.
- Einstein A., Podolsky B., Rosen N. (1935). "Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?". *Physical Review*, 47 (10), pp. 777-780.
- George A. (ed.) (1953). *Louis de Broglie, Physicien et Penseur*. Paris: Albin Michel.
- Institut international de physique Solvay (ed.) (1928). *Électrons et photons. Rapports et Discussions du Cinquième Conseil de Physique tenu à Bruxelles du 24 au 29 octobre 1927 sous les auspices de l'Institut international de physique Solvay*. Paris: Gauthier-Villars.
- Laurora A. (2014). *John Bell e le ricerche sul paradosso di Einstein, Podolsky e Rosen*. (Tesi di Dottorato in Storia della Scienza). Università degli Studi di Bari "Aldo Moro".
- Von Neumann J. (1932). *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*. Berlin: Verlag von Julius Springer.