

Fisica & Metafisica

Danilo Giulietti

Dipartimento di Fisica dell'Università e INFN, Pisa, Italy

danilo.giulietti@unipi.it

Abstract. La ricerca più avanzata nei diversi campi della Fisica, da quella sub-nucleare all'Astrofisica, mostra come le ipotesi teoriche interpretative dei meccanismi ultimi che regolano la Natura si avvicinano molto alle problematiche tipiche del pensiero metafisico. Su questo tema vi è un dibattito piuttosto vivo in ambito filosofico e più propriamente epistemologico. Massimo Cacciari lo ha affrontato in un suo recente lavoro [1] ed efficacemente sintetizzato in alcune lezioni che possono essere seguite su YouTube [2].

Fisica e Metafisica. La Fisica si interessa allo studio degli innumerevoli fenomeni che si presentano in Natura, cercando di descriverli in maniera quantitativa attraverso il linguaggio Matematico.

La Metafisica, fin dalle sue origini, si occupa invece di quegli aspetti esistenziali, che vanno aldilà dei fenomeni fisici, tentando di dare una risposta a domande quali: cosa vi è dopo la morte? quale l'origine dell'Universo? interrogandosi sul rapporto fra spirito e materia, realtà e sua percezione,

I Filosofi Greci. Nel mondo occidentale i primi ad interessarsi del rapporto fra Fisica e Metafisica furono i filosofi Greci. Fra questi Platone, che propose un particolare rapporto fra il mondo che percepiamo (le "ombre" della Fisica) e quello vero ed irraggiungibile (le "idee" della Metafisica). La visione Platonica comporta inevitabilmente un primato della Metafisica sulla Fisica.

Nel campo dell'indagine dei fenomeni Fisici i Greci raggiunsero risultati importanti (anche se accompagnati da un elevato grado di incertezza) in Astronomia e sulla forma e dimensioni della Terra. Archimede, pur procedendo sulla stessa linea di ricerca puramente conoscitiva, dette un decisivo impulso a quella applicativa (potremmo dire Ingegneristica) con i suoi studi su leve, macchine da guerra, galleggiamento dei corpi,

Anche nel campo della Matematica i Greci ottennero risultati rilevanti (Pitagora, Archimede, ...) ed ancor più in quello della Geometria (Euclide).

Nel dibattito filosofico concernente il rapporto fra Fisica e Metafisica, la Matematica e la Geometria giocavano un ruolo privilegiato, in quanto esse trattano entità che possono essere definite con assoluta precisione (potremmo dire "ideali") cui corrispondono nella Realtà solo "copie" approssimate, che si avvicinano ad esse con un margine di errore, che può essere anche molto piccolo, ma mai nullo. Esempio: definizione di una superficie sferica raffrontata con quella di una sfera reale per quanto ben realizzata.

Rivoluzione Scientifica. Questo primato si mantiene di fatto fino alle rivoluzionarie intuizioni di Copernico, Galileo, Keplero e Newton, supportate dai progressi nella comprensione dei fenomeni naturali investigati attraverso il metodo sperimentale ed interpretati mediante sempre più sofisticati modelli Matematici, grazie allo sviluppo del Calcolo Differenziale (Leibniz, Newton).

Alla subalternità della Fisica alla Metafisica comincia a farsi strada un nuovo atteggiamento in cui i due ambiti assumono pari dignità, senza interferenze di uno sull'altro. Ciò che viene affermato nelle Sacre Scritture non ha valore scientifico, ma è solo funzionale al discorso religioso.

Il progressivo sviluppo delle conoscenze scientifiche ed in particolare quello nel campo della Fisica e della Tecnologia favoriscono il nascere di una visione Illuministica/Positivistica, che relega la Metafisica in un ambito marginale, speculativo-religioso. Il rapporto fra Fisica e Metafisica si capovolge, riconoscendo alla prima un indiscusso primato non solo per quanto riguarda l'interpretazione dei fenomeni naturali, ma anche l'origine del Mondo e della Vita stessa, temi questi ultimi che, fino a qualche tempo prima, erano di esclusiva competenza Religiosa-Metafisica.

Crisi della Fisica Classica. Sorprendentemente, proprio quando alla fine dell'Ottocento la Fisica dell'Elettromagnetismo di Maxwell, la Meccanica Statistica e la Termodinamica (Boltzmann) sembravano sancire il trionfo del metodo scientifico sulla speculazione Metafisica, comparvero le prime avvisaglie che quel trionfo non fosse definitivo. In effetti, seppure sembrasse che ormai si fosse trovata la chiave interpretativa di tutti i principali fenomeni naturali, ve ne erano alcuni (apparentemente minori) che rimanevano incomprensibili. Fra questi:

- 1) Effetto Fotoelettrico.
- 2) Distribuzione spettrale del Corpo Nero.
- 3) Spettro a righe degli elementi portati alla temperatura di una fiamma.
- 4) Struttura degli Atomi e distribuzione elettronica al loro interno.
- 5)

Meccanica Quantistica. Una serie di esperimenti di successo e rivoluzionarie teorie sviluppate "ad hoc" per interpretare i risultati di quegli esperimenti condussero alla formulazione di una Nuova Fisica, adatta per comprendere la realtà atomica e sub-atomica, ma in palese contrasto con la Fisica Classica: era nata la Meccanica Quantistica.

Due Realtà: una Macroscopica, interpretabile con la Fisica Classica ed una Atomica e Sub-Atomica interpretabile con la Meccanica Quantistica. Mentre la prima è fatta di Certezze (date le condizioni iniziali si può prevedere l'evoluzione di un fenomeno fisico), la seconda può solo stimare la Probabilità che le possibili evoluzioni di un certo fenomeno (Atomico o Sub-Atomico) si verifichino. Una Realtà, quella Quantistica, fatta di Incertezza e Probabilità, sfuggente e sfuocata come le "ombre" delle "idee" nella visione Platonica. Una Realtà che ha portato uno dei massimi protagonisti ed artefici della Meccanica Quantistica a dubitare di alcuni suoi risultati, fino ad affermare che "Dio non gioca a dadi con l'Universo" (A. Einstein).

Pragmatismo Scientifico. Le conseguenze teoriche della Meccanica Quantistica hanno portato a prevedere fenomeni come l'Effetto Tunnel o l'Entanglement, che, seppure controintuitivi nell'ambito della Fisica Classica, sono realmente osservabili in specifiche situazioni sperimentali.

Si può sicuramente affermare che l'evoluzione della Società Umana dalla fine della Seconda Guerra Mondiale è stata in larga misura determinata dalle innovazioni tecnologiche basate sulla Meccanica Quantistica. Basti pensare ai semiconduttori ed alla micro-elettronica che hanno consentito la realizzazione di apparati compatti come i Personal Computers, gli Smart-Phone, la meccanizzazione sotto controllo digitale dei processi di produzione, il WEB con l'immenso impatto prodotto nel nostro stile di vita,.....

Gli indubbi successi sul piano tecnologico sono dovuti ad un approccio Pragmatico fatto di attività di Ricerca Sperimentale (potremmo dire seguendo un modo di procedere alla Galileo) abbinato ad una interpretazione e previsione dei risultati sulla base della Meccanica Quantistica. L'atteggiamento di

base è: non capisco fino in fondo, ma funziona! Che poi è ciò che in parte succede anche con l'Intelligenza Artificiale, in cui sembra che il controllo dell'Algoritmo possa scappare di mano!

La frontiera della Ricerca in Fisica. Con la Rivoluzione Scientifica ed il Metodo Scientifico praticato per la prima volta da Galileo s'avvia un processo di interazione a feedback positivo fra ricerca in Fisica e Tecnologia, tutt'ora in corso, che ha consentito un'espansione senza pari delle conoscenze dei fenomeni naturali e delle loro possibili applicazioni. L'osservazione della Natura non si basa più sui cinque sensi di cui dispone un Essere Umano, ma essa è potenziata da una strumentazione progressivamente più sofisticata, resa possibile dalle conoscenze precedentemente consolidate.

Realtà Fisica e Fenomeni Inosservabili. Alla luce delle attuali conoscenze in merito alla Struttura della Materia, può sembrare sorprendente che ancora alla fine dell'Ottocento si dubitasse della sua natura molecolare. Grazie ai progressi tecnologici nel campo dell'ottica ed in particolare della microscopia il botanico Robert Brown poté osservare il moto caotico di granelli di polline (dimensioni di qualche μm) in sospensione nell'acqua (1827, Moto Browniano), metodologicamente studiato da Jean Perrin (1910) e qualche anno prima interpretato da Albert Einstein come dovuto al bombardamento casuale delle molecole del liquido in cui quelle particelle erano in sospensione (1905). Queste osservazioni e la loro interpretazione teorica sulla base della Meccanica Statistica di Boltzmann rappresentarono una conferma definitiva della Struttura Molecolare della Materia e portarono alla determinazione sperimentale del Numero di Avogadro (6×10^{23}), costante fondamentale per lo studio dei processi chimici. Un fenomeno fisico, manifestatosi grazie ad uno strumento tecnologicamente avanzato (microscopio con lenti acromatiche), interpretato sulla base di teorie ancora in fase di validazione, ha portato all'evidenza di entità (le molecole), che per le loro dimensioni (pochi Å) non sono osservabili.

Questo particolare rapporto fra previsione teorica di un fenomeno, la sua osservazione e le entità che vi partecipano (non sempre osservabili) si ripresenta in maniera ancora più marcata quando si passa alla scala atomica e poi a quella nucleare e sub-nucleare.

L'atomo. Agli inizi del Novecento ancora non era chiaro quale fosse la distribuzione delle cariche negli atomi. Che gli atomi fossero entità con carica elettrica complessivamente nulla e che contenessero al loro interno gli elettroni era evidente (per come si presenta la materia ed elementari considerazioni teoriche); ma gli elettroni erano distribuiti dentro una specie di gelatina di carica positiva (modello "panettone") o orbitavano attorno ad un nucleo di carica positiva (modello "planetario") ? In un celebre esperimento (Rutherford, 1911), in cui un sottile foglio di oro veniva bombardato da particelle α (energia cinetica $\approx \text{MeV}$), la distribuzione spaziale di queste ultime, dopo l'interazione, mostrava inequivocabilmente che la carica positiva degli atomi era concentrata in un nucleo dalle dimensioni estremamente piccole rispetto a quelle dell'atomo stesso.

Questo discriminante risultato sperimentale richiedeva comunque di rispondere ad alcune domande: come era strutturato il nucleo e come potevano stare assieme le cariche positive che lo costituivano? e gli elettroni come gravitavano attorno al nucleo? Alla prima domanda si poté dare una risposta solo dopo che negli anni '30 fu scoperto il neutrone e si comprese che delle forze a corto raggio d'azione (forze nucleari) fra protoni e neutroni (nucleoni) contrastavano la forza di repulsione Coulombiana rendendo il nucleo degli atomi stabile (più o meno!).

Il modello Planetario. Nel tentativo di rispondere alla seconda domanda Niels Bohr (1912) avanza un modello planetario quantistico, basato essenzialmente sulla quantizzazione del momento angolare, il cui minimo valore $h = 6.6 \cdot 10^{-34} J \cdot s$ è proprio quello utilizzato da Einstein per interpretare l'Effetto Fotoelettrico sulla base dei quanti di radiazione elettromagnetica $h\nu$ e da Planck nella distribuzione spettrale del Corpo Nero:

$$u(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{e^{K/T} - 1} \cdot d\nu \quad \frac{J}{m^3}$$

Il modello dell'atomo di Bohr consente di rendere conto di alcuni fenomeni prima incomprensibili, come ad esempio lo spettro di emissione a righe dei vapori atomici ad alte temperature, anche se non può dare una spiegazione del perché gli elettroni nel loro moto orbitale non collassino sul nucleo, come conseguenza dell'irraggiamento di una carica elettrica accelerata.

Onda-corpuscolo. Per superare l'inadeguatezza del modello di Bohr su questo ultimo punto bisogna attendere l'ardita ipotesi di De Broglie (1926), che propone di associare ad ogni particella materiale un comportamento analogo a quello del fotone e l'interpretazione probabilistica che ne verrà data da Schroedinger nella famosa equazione (1926).

La relazione di dispersione che lega nella Relatività Ristretta (Einstein) energia, impulso e massa di una particella

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$$

e la relazione fra energia e frequenza del fotone ($E=h\nu$) ipotizzata per interpretare l'Effetto Fotoelettrico (Einstein), aveva condotto ad associare ad un fotone un impulso proporzionale alla sua energia ($p=h\nu/c$), stabilendo un preciso legame fra la lunghezza d'onda dei fotoni di cui è costituita la radiazione elettromagnetica ed il loro impulso ($\lambda=h/p$). L'idea di De Broglie è di trattare le particelle materiali alla stregua dei fotoni, attribuendo ad esse un comportamento ondulatorio, che, tramite l'equazione di Schroedinger, può essere tradotto in una funzione di distribuzione di probabilità di trovare quella particella nelle varie regioni dello spazio. Chiaramente, dato il valore estremamente piccolo della costante di Planck, questo comportamento ondulatorio può essere messo in evidenza solo per particelle elementari di massa molto piccola, come nel caso dell'elettrone ($m=10^{-30}kg$).

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

Dove:

λ = lunghezza d'onda associata di De Broglie

h = costante di Planck

p, m, v = impulso, massa, velocità della particella

Elettrone. L'elettrone è forse la particella elementare con la quale abbiamo più spesso a che fare, anche se inconsapevolmente. Esso infatti è alla base di tutti i fenomeni elettrici con i quali conviviamo (elettrizzazione dei materiali per strofinio, corrente elettrica, trasmissione e ricezione delle onde

elettromagnetiche, scariche elettriche, fulmini, aurora boreale, conduzione del calore nei metalli, ...). Tuttavia, cosa sappiamo di lui, a cominciare dalle sue dimensioni? Una stima può essere avanzata eguagliando l'energia potenziale elettrostatica legata alla sua carica $E_p = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_e}$ a quella relativistica della sua massa a riposo mc^2 , ottenendo il così detto "raggio classico dell'elettrone":

$$r_e = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 mc^2} = 2.8 \times 10^{-15} m$$

Sono dimensioni molto minori di quelle atomiche ($\sim 10^{-10}m$), che tuttavia non corrispondono a quelle reali, delle quali possiamo solo dire, sulla base degli esperimenti finora eseguiti, che risultano inferiori a $10^{-17}m$.

In effetti, sperimentalmente possiamo solo rivelare un elettrone attraverso l'impronta che esso lascia su un'emulsione fotografica, la carica liberata nell'impatto con una CCD o la traccia in una "camera a bolle".

A complicare le cose c'è il fatto che, dato il valore della sua massa, per l'elettrone è particolarmente pronunciato il duplice aspetto onda-corpuscolo ipotizzato da De Broglie. Gli elettroni possono essere accelerati mediante una differenza di potenziale elettrico e , all'aumentare della loro energia cinetica, la lunghezza d'onda di De Broglie diminuisce: è come se l'elettrone si rimpiccolisse all'aumentare della sua energia cinetica; analogamente a quello che succede per i fotoni, la cui lunghezza d'onda diminuisce con la loro energia. Aspetti che sono stati messi in evidenza molto chiaramente da alcuni fondamentali esperimenti d'interferenza (1927, Davisson e Germer) in cui un fascio di elettroni viene inviato su un cristallo.

Particelle elementari. L'immaginazione teorica diviene ancora più spinta quando si tenta di conoscere la struttura delle particelle elementari, di cui sono costituiti i nuclei atomici (protoni, neutroni). La ricerca in questo campo si conduce essenzialmente all'interno di enormi strutture quali sono gli acceleratori di particelle (CERN), dove particelle elementari (dotate di carica, come elettrone o protone), accelerate mediante opportuni campi elettrici a radiofrequenza e portate ad energie di alcuni TeV (10^{12} eV), vengono fatte scontrare. Nell'urto le particelle si decompongono nei loro costituenti (quarks), ma si producono anche altre particelle, tanto più pesanti quanto maggiore è l'energia cinetica (E_c) disponibile nella collisione, in virtù della ben nota relazione $m = E_c/c^2$.

La ricerca nel campo delle particelle elementari si collega (potremmo dire: sorprendentemente!) all'Astofisica, principalmente teorica. Infatti, negli esperimenti condotti nei grandi acceleratori le particelle possono raggiungere energie cinetiche dell'ordine di alcuni TeV, che corrispondono a temperature di decine di milioni di miliardi di gradi, che sono appunto le temperature ipotizzate nei primi istanti (circa $1ns=10^{-9}s$) successivi al Big Bang.

$$T = 10^{12} eV \times 1.16 \times 10^4 \text{ } ^\circ K/eV \approx 10^{16} \text{ } ^\circ K$$

In un certo senso la teoria del Big Bang cerca conferme dai risultati ottenuti presso i grandi acceleratori e la loro interpretazione che si fonda sul Modello Standard (anch'esso in via di validazione!).

Come si può vedere, la situazione è piuttosto intrigata e la parte “immaginifica” di tutta la faccenda è consistente!

La convinzione di molti è che la ricerca nel campo delle particelle elementari sia arrivata al “capolinea”, in quanto difficilmente potrà essere realizzato un acceleratore dalle dimensioni significativamente maggiori dell’attuale LHC, operante al CERN.

Diversa invece è la situazione nell’ambito dell’Astrofisica osservativa. Lo spazio attorno al pianeta Terra è il più grande laboratorio a nostra disposizione e gli strumenti per le osservazioni sono sempre più numerosi; l’ultimo dei quali è costituito dall’interferometro impiegato per la rivelazione delle Onde Gravitazionali.

Proprio l’analisi del “funzionamento” di questa finestra osservativa ci consente di valutare l’evoluzione in corso nel campo delle misure fisiche e quanto sia aumentata la distanza fra lo sperimentatore ed il fenomeno fisico. In questo caso, infatti, i debolissimi segnali captati dall’interferometro vengono elaborati per giorni dai più potenti computer, per farli emergere dal rumore in cui sono “affogati”. La loro interpretazione è poi condotta sulla base di modelli astrofisici, anch’essi in parte da validare (stima delle distanze a cui l’evento si è prodotto, effetto delle lenti gravitazionali e della materia oscura,).

Conclusioni. A questo punto possiamo provare a tirare delle conclusioni in merito al limite della nostra conoscenza della Natura e la ragione ultima delle leggi che la regolano.

La nostra fantasia (o per meglio dire, di menti straordinarie quali quelle di Galileo, Newton, Einstein, ed altri) con l’aiuto della Matematica ci ha consentito di formulare molte delle leggi che regolano i Fenomeni Naturali, di cui ci siamo serviti per sviluppare tecnologie grazie alle quali il nostro modo di vivere è progressivamente evoluto. Quelle tecnologie ci hanno anche permesso di estendere le possibilità osservative, originariamente limitate ai nostri cinque sensi. Di pari passo potremmo dire che è aumentata la distanza fra il fenomeno naturale e chi lo osserva, in quanto i risultati di quella osservazione richiedono per essere interpretati che l’osservatore abbia un’idea di ciò che è inosservabile!

Dunque, anche se il processo ricorrente ed inarrestabile:

Fisica → Tecnologia → Fisica → Tecnologia

porterà ad un livello di Conoscenze dei Fenomeni Naturali sempre maggiore, la ragione ultima del Tutto resterà appannaggio del pensiero Metafisico.

[1] Massimo Cacciari, Metafisica concreta, Adelphi, 2023.

[2] Massimo Cacciari, Palazzo Serra di Cassano, Napoli, 30/05/2024

https://it.video.search.yahoo.com/yhs/search?fr=yhs-trp-018&ei=UTF-8&hsimp=yhs-018&hspart=trp&p=Massimo+Cacciari+Metafisica+concreta&type=Y143_F163_225899_091823#id=1&vid=53ebb6bdaa8769009c2a30c1c7a50b78&action=click

