

La fisica moderna; tra teorie scientifiche e implicazioni filosofiche



Con le 4 equazioni di James C. Maxwell del 1865 la fisica era arrivata ad una concezione capace di riunire in un'unica teoria tutte le conoscenze sull'elettricità e sul magnetismo, trattando dei fenomeni magnetici ed elettrici come di due aspetti di uno stesso ente fisico, il **campo elettromagnetico**. In particolare Maxwell predisse che il campo elettromagnetico e l'energia in esso contenuto si propagano nello spazio attraverso onde trasversali che si muovono con velocità finita: le **onde elettromagnetiche**. Basandosi sul fatto che la velocità calcolata per le onde elettromagnetiche risulta uguale alla velocità della luce, Maxwell propose che la luce non fosse altro che un'onda elettromagnetica. Grazie a numerose conferme sperimentali, la teoria di Maxwell sembrò porre definitivamente fine al problema di quale fosse la natura della luce, concludendo il dibattito, che aveva interessato i fisici a partire dal XVII secolo, tra i sostenitori di una sua natura ondulatoria (di cui principale rappresentante fu Christiaan Huygens) e la scuola di pensiero che concepiva la luce come un fascio di particelle (posizione sostenuta da Isaac Newton).

Nonostante i successi riportati dalla formulazione ondulatoria di Maxwell avessero circondato questa teoria fisica di un alone di infallibilità, rimanevano ancora da spiegare alcuni fenomeni riguardanti la luce, in particolare il cosiddetto **effetto fotoelettrico**, per cui illuminando un metallo esso emette elettroni che opportunamente convogliati in un circuito fanno registrare una corrente. Mediante un'interpretazione elettromagnetica della luce risultano inspiegabili 3 dati sperimentali:

- L'emissione dei fotoelettroni è (quasi) istantanea.
- L'emissione dei fotoelettroni dipende dalla frequenza della luce e non dall'intensità; in particolare sotto la cosiddetta "frequenza di soglia" non avviene emissione di fotoelettroni, per quanto possa essere elevata l'intensità della radiazione luminosa.
- Il "potenziale frenante" (barriera di potenziale posta per impedire ai fotoelettroni di raggiungere il circuito) dipende dal metallo e non dall'intensità della luce.

L'effetto fotoelettrico vide la sua spiegazione con l'interpretazione di Einstein nel 1905 ("annus mirabilis"). Einstein intuì che la spiegazione di tale effetto non era da ricercare in una correzione del modello ondulatorio, ma in un punto di vista completamente nuovo.

"Secondo l'ipotesi qui considerata, l'energia non si distribuisce con continuità su volumi di spazio via via crescenti, bensì consiste in un numero finito di quanti di energia, localizzati in punti dello spazio, che si muovono senza dividersi e possono essere assorbiti o generati solo come unità intere"

Secondo tale interpretazione quindi la luce si comporta come un fascio di particelle (individuate successivamente come fotoni); l'effetto fotoelettrico si spiega quindi col fatto che la luce, interagendo con un materiale, ha un'interazione di tipo singolo fotone – singola particella del metallo. L'energia di ogni fotone è descritta dalla relazione $E = hf$, dove f è la frequenza della luce e h la costante di Plank. Ogni fotone "trasporta" perciò un'energia totale definita che può assumere solamente valori multipli di h ed f ; l'energia della luce è perciò **quantizzata**. L'effetto fotoelettrico può dunque essere così interpretato:

- un quanto di luce viene assorbito da un elettrone del metallo a cui cede tutta la sua energia.
- se l'energia assorbita è sufficiente a vincere l'attrazione elettrostatica che lo lega al metallo (detta energia di ionizzazione) l'elettrone si separa dal suo atomo.
- l'aumento di intensità della radiazione consiste nell'aumento del numero di fotoni, e provoca semplicemente l'aumento del numero di fotoelettroni emessi.

Si spiega così l'importanza determinata della frequenza della luce, strettamente connessa all'energia necessaria a vincere l'attrazione elettrostatica; se tale frequenza è inferiore al valore di soglia, non si ha in nessun caso l'emissione di fotoelettroni. Inoltre l'energia cinetica di ogni elettrone emesso risulta indipendente dall'intensità, spiegando come il potenziale d'arresto non possa in alcun modo dipendere da essa.

Einstein passò successivamente all'analisi delle caratteristiche fisiche del fotone, dimostrando che si tratta di una particella di energia $E = hf$, massa $m = hf / c^2$, massa a riposo $m_0 = 0$, quantità di moto $Q = h / \lambda$.

La questione sulla natura della luce risultava quindi tutt'altro che chiusa; come Einstein infatti afferma:

“ Abbiamo due opposte rappresentazioni della realtà (interpretazione della luce ondulatoria e interpretazione della luce come fascio di fotoni); da sola nessuna delle due spiega totalmente i fenomeni della luce; insieme vi riescono! Come capire questi due aspetti affatto diversi della luce? Ci troviamo ora di fronte ad un nuovo problema per la cui soluzione bisogna fare appello a nuovi principi”.

Una soluzione a questo problema fondamentale fu proposta dal matematico Louis De Broglie, affermando nella sua tesi di dottorato che ad una qualsiasi particella è associata un'onda, e le relazioni tra le caratteristiche ondulatorie e materiali sono $E = hf$ e $Q = h / \lambda$. De Broglie introdusse così il concetto di **onde di materia**.

Questa nuova interpretazione delle particelle portò al calcolo dell'energia dell'elettrone tramite le relazioni tra le sue caratteristiche corpuscolari ed ondulatorie; i tre fisici che dettero un contributo fondamentale in questo campo furono Bohr, Schroedinger e Dirac, le cui equazioni descrivono l'energia dell'elettrone ($E = - me^4 / 8\epsilon^2 h^2 n^2$) ed il suo moto attorno al nucleo, che Bohr inizialmente suppose circolare, che Schroedinger analizzò mediante la “funzione d'onda” abolendo l'ipotesi di un'orbita circolare, e nel cui calcolo Dirac tenne conto anche degli effetti relativistici.

RISULTATI E PARADOSSI DELLA CONCEZIONE ONDA-CORPUSCOLO

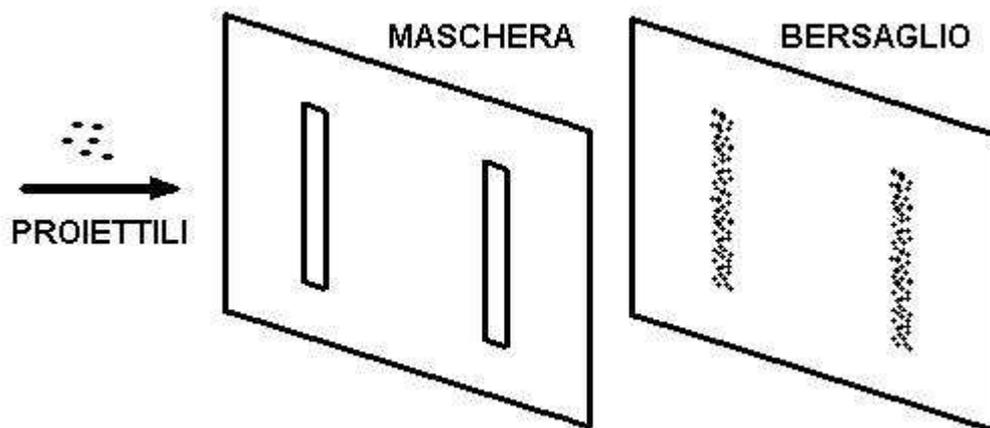
I risultati raggiunti a partire dalla spiegazione di Einstein per l'effetto fotoelettrico, confermati da dati sperimentali, posero i fisici davanti a dati del tutto incomprensibili per la fisica classica: in qualche modo, all'epoca non ancora chiaro, le particelle materiali si comportano, in determinate circostanze, come onde.

Dal punto di vista sperimentale, i risultati ottenuti sono talmente sorprendenti da risultare quasi incredibili, al punto che molti fisici (Einstein fra tutti) rifiutarono di accettarne il significato; ancora oggi la questione è oggetto di molti dibattiti che investono direttamente anche l'ambito filosofico.

L'esempio forse più significativo del dualismo onda – particella e delle sue conseguenze si ha nella cosiddetta **interferenza quantistica**.

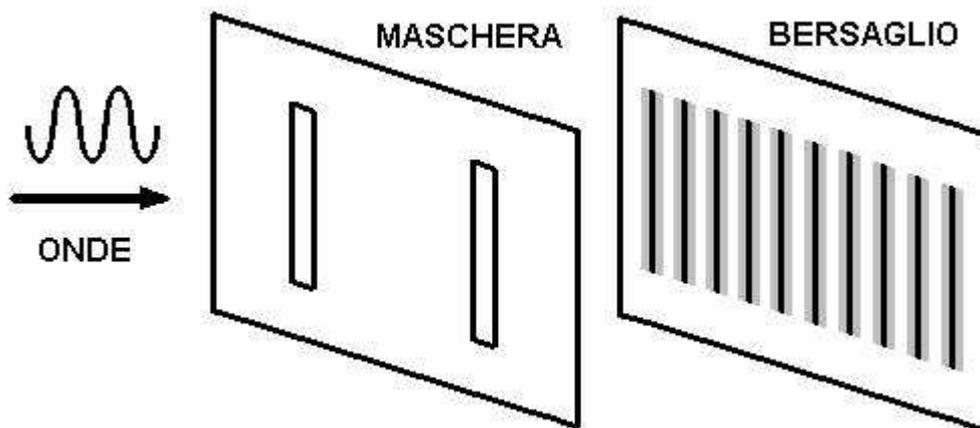
Consideriamo inizialmente una sorgente di particelle "classiche" che vengono inviate su un bersaglio: per esempio una mitragliatrice che spara verso di un muro distante 10 metri (non in una direzione fissa, ma in modo da coprire tutto il muro). Quindi frapponiamo una "maschera" tra la sorgente ed il bersaglio, ovvero uno schermo forato, a circa 2 metri dal bersaglio: la maschera può essere una lastra di metallo con due fenditure rettangolari strette e lunghe.

È evidente che sul muro giungeranno solo i proiettili in corrispondenza dei due fori, mentre gli altri verranno fermati dalla maschera. In definitiva, i proiettili che colpiranno il bersaglio formeranno due rettangoli stretti e lunghi che saranno la "proiezione" sul bersaglio dei due fori della maschera



La maschera ed il bersaglio nel caso dei proiettili

Ora ripetiamo l'esperimento con delle onde al posto dei proiettili, per esempio delle onde sonore. In tal caso le onde colpiranno il bersaglio non soltanto in corrispondenza dei due fori, ma anche in altre parti del muro; se si potessero visualizzare le parti colpite con maggiore e minore intensità, vedremmo una tipica figura a frange detta *figura di interferenza*, che si estende ben oltre la proiezione delle fenditure. Ciò è dovuto ad un fenomeno ondulatorio detto *interferenza*: grazie a tale fenomeno, le onde possono colpire regioni del bersaglio che sarebbero irraggiungibili per i proiettili.



La figura di interferenza nel caso delle onde

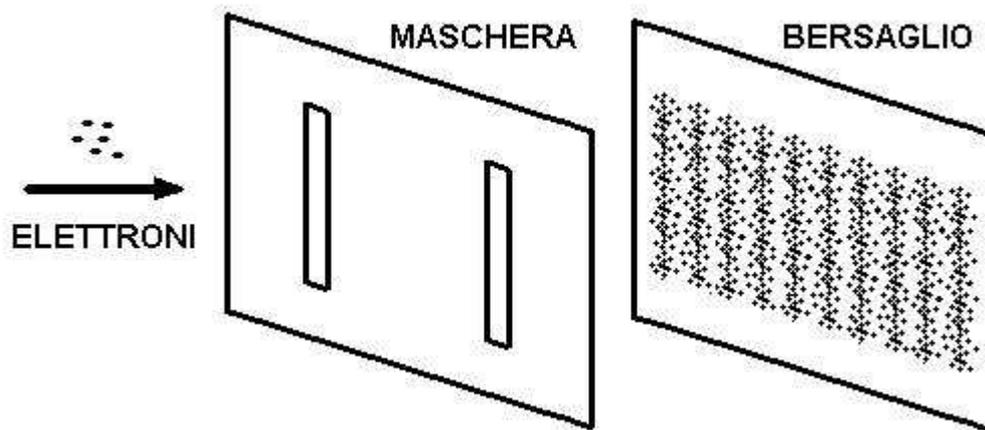
Va aggiunto che se si tappa una delle due fenditure, l'interferenza non può più avere luogo, e la distribuzione delle onde sul bersaglio diventerà simile a quella dei proiettili, ovvero sullo schermo si vedrà la proiezione dell'altra fenditura, quella aperta. Si usa dire che in tal caso la figura di interferenza viene "distrutta".

Passiamo adesso al caso quantistico: consideriamo degli *elettroni* e ripetiamo un esperimento simile, ovviamente su scale molto più piccole.

La sorgente emette *elettroni distinti*, cioè *particelle* e non onde, e quindi ci aspettiamo di avere la stessa situazione che si presentava nel caso dei proiettili: gli elettroni dovrebbero colpire solo due

zone rettangolari in corrispondenza delle fenditure, invece otteniamo una figura di interferenza come nel caso delle onde. Eppure non si tratta di onde, ma di particelle distinte.

Proviamo a rallentare il processo ed inviare un singolo elettrone alla volta: ovvero aspettiamo che un elettrone giunga sul bersaglio prima di far partire il successivo. Esso viene emesso come una particella singola; supera la maschera; e raggiunge il bersaglio come particella singola. Sorprendentemente esso può colpire zone del bersaglio irraggiungibili ad una particella, come se fosse un'onda; continuando ad inviare singoli elettroni, uno alla volta, alla fine essi ricostruiscono la figura di interferenza tipica delle onde! Sebbene si tratti di particelle singole, nell'attraversare la maschera ciascuna di esse si comporta come un'onda estesa che produce interferenza.



Gli elettroni formano la figura di interferenza

A questo punto la domanda sorge spontanea: com'è possibile che un singolo elettrone si comporti come un'onda e faccia interferenza con se stesso? E da quale dei due fori passa il singolo elettrone? Per poter produrre l'interferenza, esso deve essere un'onda e passare contemporaneamente dai due fori, il che secondo noi non è possibile per una particella singola. In questo ragionamento chiaramente applichiamo all'elettrone il concetto di "particella classica", ma esso non è più valido in meccanica quantistica.

In realtà, finché l'elettrone non viene rivelato sul bersaglio, esso non si trova mai in un punto preciso dello spazio, ma esiste in uno stato potenziale astratto descritto da una funzione d'onda (grandezza introdotta da Schroedinger), che si propaga appunto come un'onda e non secondo una traiettoria definita.

De Broglie e Schrödinger tentarono di descrivere tutto il mondo quantistico in termini di onde, abolendo il concetto di particella. Bohr ed altri fisici però obiettarono che all'atto della rivelazione l'elettrone si comporta come una particella e non un'onda (la funzione d'onda "collapsa in un punto") e fecero notare altri aspetti tecnici che rendono vana la spiegazione puramente ondulatoria.

A questo punto possiamo immaginare di "smascherare il trucco" andando a vedere che cosa fa realmente l'elettrone nell'attimo in cui attraversa la maschera. Nella nostra convinzione infatti l'elettrone deve oggettivamente passare da uno dei due fori e non dall'altro (questo è il cosiddetto "realismo" di Einstein), e noi vogliamo "coglierlo" in quell'attimo per scoprire il suo segreto; ma per cogliere l'elettrone sul fatto, dobbiamo rivelarlo. Per far ciò, si pone un rivelatore in prossimità di uno dei due fori, per poter conoscere da quale delle due fenditure transita effettivamente l'elettrone. Questo è sperimentalmente possibile, ma così facendo la figura di interferenza scompare. Infatti: o l'elettrone passa dal nostro foro, quindi viene individuato dal nostro rivelatore, e in quell'attimo diventa "particella reale"; oppure passa dall'altro foro, ma quando passa da un foro solo - sia esso onda o particella - non può produrre interferenza.

La meccanica quantistica non ci permette di avere contemporaneamente la figura di interferenza e la conoscenza del singolo foro da cui l'elettrone è passato. O l'uno o l'altro: o l'elettrone viene rivelato come particella oggettiva, e quindi non produce interferenza, o è un'onda estesa, ed in tal caso non passa da un solo foro, bensì da tutte e due.

Da ciò si può trarre la prima incredibile conclusione: la conoscenza di un sistema ne altera lo stato; l'atto della misurazione da parte dell'osservatore è determinante nell'evoluzione di un sistema fisico; esperimenti successivi hanno addirittura dimostrato che è sufficiente la *conoscenza potenziale* che possiamo avere di tale sistema per alterarne lo stato.

Da questo e da altri esperimenti risulta che l'atto della misurazione e dell'osservazione assume un'importanza impensata fino agli sviluppi della teoria quantistica; il paradosso quantistico descritto sembra evidenziare che la "consapevolezza" dell'osservatore gioca un ruolo decisivo ai livelli fondamentali della realtà, la quale sembra "adeguarsi" alle sue scelte.

LA CENTRALITA' DELL'OSSERVATORE: RIMANDO ALLA "RIVOLUZIONE COPERNICANA" DI KANT

L'osservatore assume perciò un ruolo centrale; possiamo paragonare questo cambiamento di prospettiva alla "rivoluzione copernicana" del filosofo Immanuel Kant.

Nella critica kantiana, il filosofo analizza i procedimenti conoscitivi della ragione umana; essa conosce per mezzo di **giudizi**, unioni tra soggetto e predicato, che possono essere sostanzialmente di 3 tipologie:

- giudizi analitici a priori, nei quali il concetto del predicato è già intrinseco al soggetto; la loro funzione è unicamente quella di esplicitare, di rendere più chiara una proprietà già insita nel concetto del soggetto. Il vantaggio di tali giudizi è la loro universalità, cioè la loro validità incondizionata dall'esperienza, lo svantaggio è la loro analiticità o sterilità: essi di fatto non producono nuova conoscenza.

- giudizi sintetici a posteriori, nei quali il predicato precisa un concetto del soggetto precedentemente ignoto; il vantaggio di tali giudizi è di essere fecondi, di produrre quindi nuova conoscenza. Essi però sono allo stesso tempo particolari, poiché derivano dall'esperienza e non sono quindi estendibili all'universale.

- giudizi sintetici a priori, che accrescono la conoscenza in quanto sintetici ma sulla base di un fondamento necessario e universale. In questo genere di giudizi, la sintesi tra il soggetto e il predicato non è data dall'esperienza, ma da un principio a priori interno al soggetto conoscente.

Ciò significa che il soggetto, nell'atto del conoscere, proietta sull'oggetto la propria capacità sintetica, il che di fatto vuol dire che l'uomo non è un osservatore "passivo" di fronte alla realtà, ma che con le sue categorie di pensiero la modifica e la rielabora con le strutture a priori della sua sensibilità.

In ciò consiste la "rivoluzione copernicana" di Kant; egli sposta il fondamento della conoscenza dall'oggetto al soggetto, mostrando come "il cosmo reca l'impronta della nostra mente".

IL PRINCIPIO DI INDETERMINAZIONE DI HEISENBERG

Dall'esperimento dell'interferenza quantistica inoltre assistiamo all'impotenza di conoscere contemporaneamente tutti gli aspetti di un dato sistema fisico senza alterarlo (non possiamo contemporaneamente avere la figura di interferenza e sapere da quale foro è passato l'elettrone). Tale impotenza non deriva da un'imprecisione dovuta a strumenti di misura non adeguati o a conoscenze limitate, bensì è **strutturale**, cioè intrinseca della teoria stessa, come dimostrato dal principio di indeterminazione di Heisenberg:

Poniamo una particella che si muove nello spazio ad una certa velocità; per conoscere la sua posizione è necessario inviarle contro un raggio luminoso che possa rivelarla. L'interazione luce-particella (o meglio fotone – particella) assume le caratteristiche di un urto che altererà inevitabilmente lo stato di moto della particella in questione; sarà perciò impossibile conoscere contemporaneamente con precisione la sua posizione e la sua velocità, e quanto più precisa sarà la misura di una delle due grandezze, tanto più l'altra risulterà imprecisa. Grandezze legate da tale indeterminazione sono definite “complementari”.

Heisenberg espresse tale principio matematicamente; indicando con Δx l'incertezza nella misurazione della posizione della particella e con ΔQ_x l'incertezza nella misurazione della quantità di moto (definita come massa per velocità) della stessa, si avrà $\Delta x \cdot \Delta Q_x \geq \hbar$ ($\hbar = h / 2\pi$)

E' importante ancora una volta sottolineare come tale incertezza sia strutturale; questo significa che in nessun caso, per quanto la scienza e la fisica possano evolversi in futuro, sarà possibile conoscere contemporaneamente entrambe le suddette caratteristiche della particella; si potrà al massimo conoscere la **probabilità** di avere determinati valori per la velocità o per la posizione.

IL SIGNIFICATO FILOSOFICO

Le implicazioni filosofiche del principio di Heisenberg ispirarono una forte tendenza al misticismo tra alcuni scienziati, i quali interpretarono il concetto dell'indeterminazione come un rovesciamento del tradizionale concetto di causa-effetto. Molti fisici (Einstein in testa) hanno sempre rifiutato che l'indeterminazione sia una caratteristica intrinseca della realtà fisica. Questo è il senso della famosa frase di Einstein, secondo la quale Dio non giocherebbe a dadi con l'Universo. Di conseguenza hanno preferito ipotizzare che la descrizione fornita dalla meccanica quantistica fosse semplicemente incompleta. Il loro ragionamento, in pratica, consiste nell'affermare che anche a livello microscopico la realtà fisica continua a essere deterministica, solo che noi non possiamo conoscere con precisione i valori delle variabili di stato e quindi siamo costretti a una descrizione indeterministica. Per spiegare questa nostra incapacità molti fautori del determinismo ipotizzarono l'idea delle cosiddette "variabili nascoste". A livello microscopico, vi sarebbe cioè qualche fattore non ancora conosciuto che ci impedirebbe una descrizione deterministica. Nel momento in cui noi conoscessimo questi fattori potremmo fornire una descrizione dell'Universo completamente deterministica.

IL DETERMINISMO DELLA FISICA CLASSICA

Secondo il determinismo della fisica classica la conoscenza delle leggi e dei dati relativi ad un certo istante consente di prevedere con assoluta certezza l'evoluzione di un sistema. La fisica classica ritiene di conoscere le leggi e ammette, almeno in linea di principio, che sia consentito conoscere i dati. Secondo tale teoria ogni fenomeno diventerebbe perfettamente prevedibile nel momento in cui si acquisisse tale conoscenza, ritenuta concettualmente possibile. Come affermava infatti il fisico e filosofo Laplace (1749 - 1827), *“un osservatore che conoscesse in un dato istante posizioni, velocità e forze agenti relative a tutti i corpi dell'universo potrebbe, per via analitica, determinare con precisione assoluta il comportamento passato e quello futuro della macchina del mondo.”* L'uso del calcolo probabilistico, già ampiamente diffuso nella trattazione fisica non conduceva dunque ancora a dubitare, in Laplace dell'esistenza di un determinismo rigido in natura. Per la maggioranza degli studiosi infatti il fatto che alcune teorie fisiche fossero teorie essenzialmente probabilistiche non implicava però la necessità di pensare il mondo delle molecole come un sistema non deterministico. Maxwell, l'artefice delle celebri equazioni del campo elettromagnetico, sosteneva che l'uso del metodo probabilistico era una rinuncia alla completezza delle spiegazioni

offerte dalla dinamica imposta dai nostri limiti, ma che nel mondo reale delle molecole, a noi inaccessibile, "ogni cosa è sicura e immutabile".

La fisica quantistica e il principio di indeterminazione di Heisenberg sferrano un colpo mortale a tale concezione della realtà; la conoscenza totale di un sistema non sarà mai possibile per la mente umana.

Tutto ciò investe l'interessante questione del libero arbitrio: in un universo totalmente deterministico la realtà risponderrebbe a precise ed immutabili leggi, e tutto l'esistente sarebbe già "predeterminato"; la realtà fisica – uomo compreso – si muoverebbe come diretta e irremovibile conseguenza di tali leggi, che verrebbero a negare ogni possibilità di libera scelta. La fisica quantistica, con i suoi risultati confermati sperimentalmente, nega una tale concezione della realtà; la mancata conoscenza esatta dei dati relativi alle condizioni iniziali (conseguenza del principio di Heisenberg) rende impossibile l'esatta previsione dei valori futuri assunti dalle diverse grandezze fisiche di un sistema. Se tutto ciò da un lato ci costringe a valutazioni di tipo statistico e quindi non definitive, dall'altro può rappresentare una significativa conferma di una dimensione della natura – e quindi dell'uomo – nella quale la libera scelta gioca un ruolo decisivo.

La fisica quantistica si reinserisce così in una questione di origini antiche, che ha interrogato l'uomo in fasi della storia anche molto lontane tra loro.

LIBERIO ARBITRIO E DETERMINISMO NELLA STORIA DELLA CULTURA

L'EPICUREISMO : LA TEORIA DEL CLINAMEN QUALE GARANTE DELLA LIBERTA' INDIVIDUALE

Un esempio significativo lo troviamo nella cultura greco – latina con la corrente filosofica dell'epicureismo. Secondo questa scuola di pensiero, iniziata dal maestro Epicuro e che Lucrezio riporta fedelmente nel suo imponente poema didascalico, il *De Rerum Natura*, la natura è regolata da precise ed immutabili leggi; il saggio è colui che indagando sulla natura delle cose ne scopre i fondamenti e le leggi; tale conoscenza metterà l'uomo di fronte alla realtà, eliminando ogni timore e ogni irrazionalità dovute all'ignoranza della vera natura del mondo. In particolare Epicuro ritiene che tutto sia composto da atomi e che di conseguenza anche l'anima sia un aggregato di queste piccole particelle indivisibili, per cui dopo la morte si disgregherà nelle sue componenti fondamentali. Secondo tale teoria, sostenuta da Lucrezio con una serie di incalzanti argomentazioni che partono dal dato sensoriale e dall'esperienza comune (libro III, versi 445-458), ogni supposizione sull'aldilà e su una vita dopo la morte è priva di senso, poiché le irrevocabili leggi della natura non ne permettono l'esistenza.

Secondo l'epicureismo perciò tutte le dinamiche dell'esistente sono da attribuire al movimento degli atomi, che in uno spazio e in un tempo infiniti, si muovono attirati verso il basso senza altra causa che non il loro peso.

Nell'analisi del movimento degli atomi, Epicuro introduce la teoria del *clinamen*: nel loro moto di caduta verso il basso gli atomi subirebbero delle deviazioni casuali e imprevedibili che sarebbero la causa degli urti fra atomi e perciò della creazione di aggregati. Con la teoria del clinamen, oltre che chiarire ulteriormente il movimento degli atomi tentando di dare una spiegazione ai loro composti, Epicuro introduce un elemento di imprevedibilità nel suo sistema filosofico deterministico; di conseguenza il clinamen diventa funzionale a salvare il libero arbitrio dell'uomo. Tramite l'analogia tra il mondo fisico e la sfera del comportamento umano , ricorrente in tutta l'opera di Epicuro e di Lucrezio, tale leggera deviazione indeterminabile nel tempo e nello spazio è associata alla libertà dell'uomo: la non totale predestinazione del movimento naturale degli atomi indica come il destino dell'uomo non sia già del tutto scritto.

IL DETERMINISMO NELLA CONCEZIONE POSITIVISTA

La visione determinista attraversa tutta la cultura, e riemerge soprattutto nella seconda metà dell'800, con la corrente positivista, che vede nella scienza una nuova religione e che perciò ha lo scopo di fornire una rappresentazione del mondo e della vita come regolati da leggi meccaniche e immutabili; ogni considerazione che vada al di là del fatto "positivo" viene spiegata come un disordine fisiologico o semplicemente non viene presa in considerazione. La filosofia determinista ha le sue influenze anche in letteratura; possiamo ritrovarne degli esempi nell'Inghilterra dell'età vittoriana, con Thomas Hardy, che nelle sue opere esprime una visione priva della consolazione di un qualsiasi ordine divino, presentando la vita umana come un tragico processo sul quale l'uomo non ha alcun potere, oppure nella letteratura italiana con Giovanni Verga, che si inserisce nella linea di pensiero secondo cui ogni uomo è "determinato" da 3 fattori: la razza, l'ambiente sociale e il periodo storico. Qualsiasi tentativo di cambiare le sue condizioni a qualsiasi livello della scala sociale è destinato perciò al fallimento, poiché non c'è alcuna possibilità di cambiare l'ordine delle cose.

CONCLUSIONI

Inevitabilmente le teorie della fisica moderna lasciano perplessi, anche a causa della loro difficoltà di comprensione; la tentazione di rifiutarla e di ritenerla un cumulo di falsità o di errori è forte, tuttavia la sua applicazione ha permesso di capire molti fenomeni precedentemente inspiegati (come ad esempio le righe degli spettri di assorbimento) e le sue teorie hanno portato nuove evoluzioni ad esempio nel campo dell'astrofisica (basti pensare al calcolo dei limiti di massa delle stelle, diretta conseguenza del principio di esclusione di Wolfgang Pauli).

Se accettiamo come vere tutte le conseguenze di queste nuove e ancora molto dibattute teorie sul comportamento a livelli microscopici della realtà, la fisica quantistica ha tutte le caratteristiche per essere una nuova rivoluzione culturale, che può cambiare i presupposti della gnoseologia ed avere una forte influenza sulla stessa concezione dell'uomo.