



## UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI FILOSOFIA, SOCIOLOGIA, PEDAGOGIA E PSICOLOGIA APPLICATA

### CORSO DI LAUREA IN FILOSOFIA

*Cassirer interprete della rivoluzione fisica del Novecento: una reinterpretazione delle categorie di spazio, tempo e causalità.*

Relatore:

Ch.mo Prof. Andrea Altobrando

Laureando:

Andrea Zamparo

Matricola n. 1199184

ANNO ACCADEMICO 2024-2025



# INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	5
<b>Capitolo 1 - Lo sviluppo di una nuova scienza: la crisi del paradigma classico</b> .....	7
1. L'indeterminismo di Heisenberg in relazione alla nozione di causalità .....	7
2. La relatività di Einstein .....	14
<b>Capitolo 2 - Cassirer e la relatività</b> .....	21
1. Introduzione a Cassirer .....	21
2. La teoria della relatività come compimento dell'impostazione trascendentale....	24
<b>Capitolo 3 - Cassirer e la categoria della causalità</b> .....	33
1. La causalità come enunciato trascendentale.....	33
2. Il nuovo modello di scienza.....	36
<b>Conclusione</b> .....	45
<b><i>Bibliografia</i></b> .....	47



## INTRODUZIONE

Il Novecento è stato teatro di profonde trasformazioni nel campo del sapere: l'avvento della fisica quantistica ha infatti dato avvio a una radicale rivoluzione epistemologica che si è estesa oltre al semplice campo delle scienze particolari, sciogliendo consolidate certezze secolari.

Per molto tempo, la scienza ha fondato le proprie radici nelle (apparentemente) stabili e rassicuranti leggi della meccanica classica di Newton, in grado di formulare previsioni certe sulla base del principio di causalità, per cui date determinate premesse, seguono necessariamente determinate conclusioni.

Entro tale modello, spazio e tempo sono concepiti come entità oggettive e assolute<sup>1</sup>, slegate da corpi e osservatori e pensate quindi come realtà assolutamente indipendenti.

Werner Heisenberg e Albert Einstein, rispettivamente con il principio di indeterminazione e con la teoria della relatività, metteranno in crisi il modello di scienza classico e in particolar modo i tradizionali concetti di causalità, spazio e tempo che nella filosofia trascendentale di Kant avevano trovato la giustificazione più rigorosa e che ora sembrano non trovare più un fondamento saldo.

Attraverso l'analisi dell'interpretazione di Ernst Cassirer, l'obiettivo di questa tesi è quello di mostrare come la rivoluzione scientifica del XX secolo non solo non vada a sancire il tramonto della concezione di Kant, ma anzi ne costituisca il compimento: le categorie di spazio, tempo e causalità vengono rinnovate (e non negate) alla luce di quelli che sono gli sviluppi epistemologici prodotti dalle nuove teorie scientifiche.

Nel primo capitolo si analizzeranno quelli che sono, da un punto di vista epistemologico, i nodi critici e le implicazioni che scaturiscono dal principio di indeterminazione di Heisenberg

---

<sup>1</sup> Dal latino “ab-solutus”, part. pass. di “ab-solvĕre”, “sciogliere da”. “Libero da qualsiasi limitazione, restrizione o condizione”.

e dalla relatività di Einstein; verrà qui mostrato come sia necessario il dialogo tra scienza e filosofia, al fine di risolvere enigmi e dilemmi apparentemente insolubili e distruttivi.

Nel secondo capitolo, verrà tematizzato nello specifico il confronto tra Cassirer e la teoria della relatività, che non risulta essere altro che lo sviluppo e il rinnovamento dell'impostazione trascendentale di Kant riguardo spazio e tempo, entità dinamiche coordinate entro un quadro formale invariante.

Allo stesso modo nel terzo capitolo verrà analizzato il confronto tra Cassirer e il principio di indeterminazione di Heisenberg, che non sancisce la morte della nozione di causalità; attraverso la rielaborazione del pensiero trascendentale di Kant, Cassirer ritiene che le teorie quantistiche impongano il ripensamento della causalità come principio regolativo a priori che struttura l'esperienza, e non come postulato intrinseco a questa.

In sintesi dunque, lo scopo di questa tesi è quello di mostrare come il pensiero di Cassirer si ponga come un tentativo di dialogo tra la filosofia trascendentale di Kant e la rivoluzione scientifica del Novecento, evidenziando come questa non sia da leggere come una rottura totale rispetto agli strumenti epistemologici tradizionali, ma come lo sviluppo coerente di questi nel percorso di costruzione di una conoscenza oggettiva che vada a tendere verso un'unità ideale, mai statica e mai definitiva.

# Capitolo 1 - Lo sviluppo di una nuova scienza: la crisi del paradigma classico

## 1. L'indeterminismo di Heisenberg in relazione alla nozione di causalità

Lo scopo di questo paragrafo è quello di mettere in luce le profonde novità introdotte dal pensiero di Heisenberg, in particolare rispetto al principio di causalità di Kant. Quest'ultimo viene proposto nel presente tratto di esposizione solamente in relazione al fisico tedesco, assumendo come testo di riferimento la sua opera denominata "Fisica e filosofia" del 1958. Tale tematizzazione risulta essenziale per andare poi ad analizzare nei successivi capitoli quella che è la posizione di Cassirer in merito.

"La teoria della relatività ha mutato le nostre concezioni sullo spazio e sul tempo, ha rivelato in effetti aspetti del tutto nuovi dello spazio e del tempo, di cui non si ha traccia nelle forme a priori kantiane dell'intuizione pura. La legge di causalità non è più applicata nella teoria dei quanta e la legge di conservazione della materia non risulta più vera per le particelle elementari. Naturalmente Kant non poteva aver previsto le nuove scoperte, ma poiché era convinto che i suoi nuovi concetti sarebbero stati 'la base di ogni futura metafisica che si presenti in forma di scienza' è interessante constatare come i suoi argomenti siano stati erronei"<sup>2</sup>.

In questo breve ma significativo passaggio, Heisenberg pone in evidenza come lo sviluppo di nuove teorie scientifiche, su tutte la teoria della relatività e il principio di indeterminazione (di cui "rivendica" la paternità), abbiano smosso le pedine di gioco del pensiero scientifico e filosofico tradizionale e soprattutto kantiano, facendo se non "scacco matto" quantomeno "scacco al re". Entro tale contesto risulta opportuno sottolineare quelle che sono le novità introdotte nella rivoluzione scientifica del Novecento, con particolar rilievo alla teoria della relatività di Einstein e appunto al principio di indeterminazione, al fine di comprendere quelle che sono

---

<sup>2</sup> W. Heisenberg, *Physics and philosophy*, New York, 1958; trad. it. di G. Gignoli, *Fisica e filosofia*, il Saggiatore, Milano, 2023<sup>3</sup>, cit., p. 93.

le derivanti problematiche epistemologiche che mettono in luce la necessaria interdipendenza che sussiste tra fisica e filosofia.

La scienza moderna nata con Galileo trova la sua sistematizzazione nella meccanica classica di Newton, la quale è deterministica ed esatta, in quanto da certe premesse giunge necessariamente a conclusioni certe. Questa fisica trova il suo punto cardine nel concetto classico di causalità, per cui ad una certa causa segue un certo effetto secondo un rapporto necessario e univocamente determinato; ciò significa dunque che “date le condizioni iniziali di un sistema, tutti gli stati successivi possono essere determinati con certezza e precisione”<sup>3</sup>. La meccanica classica si fondava quindi su modelli matematici in grado di prevedere con totale certezza gli effetti delle proprie osservazioni sperimentali. Questo schema classico verrà messo radicalmente in crisi dalla rivoluzione della nuova fisica del Novecento: da un lato la fisica quantistica, che culmina nel pensiero di Heisenberg, si contrappone nettamente al modello classico in quanto tematizza l'impossibilità di una misurazione esaustiva e quindi esatta e predittiva (si ha a che fare solo con probabilità) e mette in crisi la nozione fondamentale di causalità, mentre dall'altro lato la relatività di Einstein critica le nozioni classiche di spazio e tempo come entità assolute.

Il modello di scienza moderno, che si è compiuto nella fisica classica di Newton, è strettamente intrecciato all'influenza esercitata dal pensiero di René Descartes, il quale cerca di individuare un fondamento saldo e incontrovertibile all'interno del proprio sistema filosofico: criterio metodologico risulta essere l'esercizio del dubbio circa la propria percezione sensoriale e ogni forma di precomprensione della realtà.

Ciò che resiste all'incessante esercizio di sospensione del giudizio risulta essere l'esistenza della propria coscienza (“Cogito ergo sum”), da cui poi deriverà l'esistenza della materia estesa e di Dio come garante epistemologico, sostanze radicalmente differenti nella loro essenza. Conseguenza della proposta teoretica di Cartesio è la scissione tra *res cogitans* e *res extensa*, dualismo che diverrà fondamento del modello oggettivante della fisica di Newton, il quale, a detta di Heisenberg, riteneva possibile una descrizione del mondo che prescindesse dal riferimento all'Io e a Dio (per tutta la scienza moderna fino alla rivoluzione del 'Novecento l'osservato è assolutamente indipendente dall'osservatore). A tal proposito, Heisenberg scrive che “naturalmente Descartes conosceva la necessità indiscutibile di questa connessione, ma la filosofia e la scienza naturale si svilupparono nel periodo seguente sulla base della polarità fra

---

<sup>3</sup> C. Cosmelli, *Fisica per filosofi*, Carocci editore, Roma, 2021, cit., p. 339.

res cogitans e res extensa”<sup>4</sup>. La posizione cartesiana viene definita dal fisico tedesco “realismo metafisico”, posizione che nel campo delle scienze si traduce in “realismo pratico” (che sostiene “che ci sono delle affermazioni che possono essere oggettivate”<sup>5</sup>, cioè formulate in modo tale assumere validità universale e risultare, di conseguenza, indipendenti rispetto al punto di vista soggettivo dell’osservatore), costante essenziale delle scienze della natura, e realismo dogmatico, per cui ogni affermazione circa l’esperienza del mondo può essere oggettivata (cioè tradotta in un linguaggio matematico universalmente condiviso, che costituisce il fondamento dei processi sperimentali di misurazione); in quest’ultimo atteggiamento consiste la cifra della fisica classica, in quanto condizione di possibilità di costruzione di una scienza esatta. O almeno, questo è ciò che si è pensato per tutta la storia della scienza: nonostante Heisenberg riconosca l’importanza che il realismo dogmatico ha rivestito nel corso della storia della scienza, l’interpretazione di Copenaghen (cioè l’impostazione teorica e concettuale delineata da Bohr e Heisenberg secondo cui le proprietà fisiche dei fenomeni quantistici possono essere definite esclusivamente in rapporto all’atto di osservazione e non indipendentemente da questo) ne smonta qualunque pretesa di assolutezza e validità universale.

È dunque necessario comprendere gli assunti base del principio di indeterminazione, che mettono in crisi il paradigma scientifico classico. Il principio di indeterminazione si costituisce come un principio fisico relativo alla realtà sub-atomica (riguarda cioè la realtà microscopica) e afferma l’impossibilità di definire contemporaneamente coppie di grandezze fisiche coniugate, come ad esempio posizione e quantità di moto (cioè la velocità), poiché tale studio è subordinato alle perturbazioni provocate dall’apparato sperimentale stesso: se misuro la velocità di una particella non avrò accesso alla sua posizione e viceversa, se ne misuro la posizione non ho accesso alla sua velocità. Famoso è l’esperimento mentale che propone Heisenberg riguardante il “microscopio a raggi gamma” attraverso cui si cerca di definire con la maggior precisione possibile la conoscenza della posizione dell’elettrone con conseguente modificazione della quantità di moto. Secondo alcuni studi, la natura di tale imprecisione, ossia dell’elemento dell’incertezza, non è relativa a una limitazione strumentale, ma intrinseca alla natura stessa<sup>6</sup>. La differenza rispetto al modello classico appare evidente, in quanto in

---

<sup>4</sup> *Ivi.*, cit., p. 84.

<sup>5</sup> *Ivi.*, cit., p. 87

<sup>6</sup> *Cfr.* L.M. Lederman e C.T. Hill, *Quantum physics for poets*, 2011. trad. it. di L.Civalleri, *Fisica quantistica per poeti*, Bollati Boringhieri editore, Torino, 2013. Più che di esperimento mentale, i due autori ritengono che bisogna

quest'ultimo il procedimento dell'osservazione confluisce immediatamente in un vocabolario matematico che consente di effettuare previsioni (e dunque calcoli in relazione al futuro) circa le specifiche determinazioni di un sistema. In altre parole, la fisica classica era in grado di effettuare misurazioni esaustive e di porsi come assolutamente predittiva, differentemente dalla nuova fisica, ineluttabilmente legata ad una misurazione limitata e strutturalmente interconnessa a elementi probabilistici<sup>7</sup>:

“Per questa ragione, il risultato dell'osservazione non può essere generalmente previsto con certezza; ciò che può essere previsto è la probabilità di un certo risultato dell'osservazione [...]. La funzione di probabilità non deve, come il procedimento normale nella meccanica newtoniana, descrivere un certo evento ma, almeno durante il processo d'osservazione, un complesso di eventi possibili. L'osservazione stessa cambia la funzione di probabilità in modo discontinuo”<sup>8</sup>.

La probabilità viene definita da Heisenberg come “un'espressione matematica che combina affermazioni circa possibilità o tendenze con affermazioni sulla nostra conoscenza dei fatti”<sup>9</sup>, combina dunque elementi oggettivi (le tendenze) e soggettivi (la nostra conoscenza, ciò che noi sappiamo) e solo durante l'atto di osservazione si verifica la traduzione del “possibile” in “reale”; ecco perché non è possibile fornire determinate affermazioni nel lasso di tempo che intercorre tra due atti di osservazione. In altri termini, nell'intervallo temporale compreso tra due misurazioni, non è possibile stabilire con assoluta certezza valori fisici determinati, in quanto i fenomeni quantistici possono essere descritti solo secondo funzioni probabilistiche: i valori delle grandezze fisiche, dunque, non possono essere definiti al di fuori dell'atto sperimentale.

Questo significa che il calcolo probabilistico in relazione alla particella non prescinde dall'atto di osservazione, cioè senza l'atto di misurazione la particella non ha uno stato di posizione definito nel senso classico, ma è descrivibile solo tramite funzioni di probabilità<sup>10</sup>;

---

parlare di *Gedankenexperiment*, cioè situazione ipotetiche immaginarie, ma che risultano essere fisicamente ammissibili.

<sup>7</sup> Heisenberg nel testo *Fisica e filosofia* a pp.52-53 descrive tale dinamica differenziale attraverso l'esempio di un astronomo che effettua misurazioni circa posizione e velocità di un pianeta per quanto riguarda il modello classico, e il moto di un elettrone per quanto riguarda il modello quantistico.

<sup>8</sup> *Ivi.*, cit., p. 61.

<sup>9</sup> *Ivi.*, cit., p. 58.

<sup>10</sup> *Cfr.* Cosmelli, *Fisica per filosofi*.

seguendo la posizione di Heisenberg, "quando nessuno lo disturba, [l'elettrone] non è in alcun luogo preciso. Non è in un luogo"<sup>11</sup>. E' l'elemento osservativo stesso che determina i valori delle proprietà fisiche dei quanti, poiché al di fuori del momento sperimentale è possibile solo fornirne una descrizione probabilistica; ciò comporta che le proprietà della particella non possono essere determinate prima dell'atto di misurazione, ma solo dopo e tramite questo.

Nella meccanica classica di Newton, in cui la misurazione è (in linea di principio) sempre esatta e deterministica, la probabilità riguarda una restrizione puramente epistemologica, è relativa cioè a una limitazione di tipo conoscitivo da parte del soggetto, diversamente dalla fisica quantistica in cui assume un valore di tipo strutturale<sup>12</sup>.

Nell'ambito della fisica quantistica, la componente dell'osservazione svuota qualunque pretesa di oggettivazione in senso classico: la descrizione delle proprietà dei fenomeni quantistici, prima dell'atto sperimentale, può essere espressa solo secondo equazioni probabilistiche; si possono effettuare solo previsioni non univoche circa i risultati di un determinato esperimento. Nell'atto stesso di misurazione invece, si assiste a un'alterazione del sistema che "produce" un valore preciso per la grandezza osservata<sup>13</sup>, e che al tempo stesso si traduce nella contemporanea impossibilità di misurazione di altre proprietà correlate. Le conseguenze della teoria di Heisenberg sono devastanti: nella meccanica quantistica, l'atto di misurazione relativo a un esperimento, genera inevitabilmente alterazioni che impediscono una conoscenza assoluta e simultanea circa determinate specifiche dell'oggetto nel momento immediato del presente, conducendo all'impossibilità di derivare risultati inequivocabili e incontrovertibili. La realtà non si costituisce più come un dato indipendente rispetto all'osservatore (tesi fondamentale della scienza moderna e della fisica classica), il che ha creato molti malumori in molte figure di spicco degli ambienti intellettuali dell'epoca, su tutti Albert Einstein faceva molta fatica ad accettare tali esiti<sup>14</sup>.

---

<sup>11</sup> C. Rovelli, *Sette brevi lezioni di fisica*, Adelphi, Milano, 2014; egli interpreta e sintetizza così la posizione di Heisenberg: "Heisenberg immagina che gli elettroni *non* esistano sempre. Esistono solo quando qualcuno li guarda, o meglio, quando interagiscono con qualcosa d'altro. Si materializzano in un luogo, con una probabilità calcolabile, quando sbattono contro qualcosa d'altro." Cit., *ibid.*

<sup>12</sup> Cfr. Lederman, Hill, *Fisica quantistica per poeti*.

<sup>13</sup> In termini più tecnici, la funzione d'onda, che esprime la descrizione probabilistica circa gli stati di un sistema, durante l'atto di misurazione "collapsa" in un valore specifico.

<sup>14</sup> Celebre in tal senso è l'affermazione che a lui viene ricondotta, "Dio non gioca a dadi". Riteneva necessaria una teoria in grado di giustificare il mutamento che intercorre tra un'osservazione e l'altra, poiché il suo pensiero si fonda sulla postulazione della realtà come indipendente rispetto al soggetto.

Ecco che allora si può comprendere appieno l'enorme voragine che la nuova teoria quantistica ha creato nel panorama epistemologico in generale: la messa in discussione del principio di causalità in senso classico (principio cardine della fisica "tradizionale" e della scienza moderna *tout court*) che per secoli ha accompagnato e confortato il lavoro dello scienziato, principio privato del proprio valore operativo<sup>15</sup>.

Dopo questa breve panoramica, ci si può addentrare nella riflessione di Heisenberg in merito al principio di causalità in Kant. Con la sua filosofia trascendentale Kant propone una fondazione a priori della scienza a lui contemporanea, in *primis* la fisica di Newton. Nella *Critica della ragion pura* Kant scrive che "esistono due forme pure d'intuizione sensibile, quali principi della conoscenza a priori, ossia lo spazio e il tempo"<sup>16</sup>; [...] "il tempo è la condizione formale a priori di tutti i fenomeni in generale", mentre "lo spazio, in quanto forma pura di ogni intuizione esterna, è circoscritto, come condizione a priori, ai soli fenomeni esterni"<sup>17</sup>. Heisenberg rilegge Kant in relazione alla propria proposta concettuale. Innanzitutto, evidenzia come nel filosofo tedesco vi sia una distinzione tra quella che è la conoscenza empirica, cioè derivante dall'esperienza concreta e immediata, e la conoscenza "a priori" (cioè precedente all'esperienza), che assume le forme di necessità e universalità: emergono con prepotenza i concetti a priori di spazio, tempo e causalità, condizioni di possibilità dell'esperienza.

Prendendo in esame la legge di causalità, questa risulta essere il modello mediante il quale è possibile il lavoro scientifico e tuttavia la fisica quantistica ha mostrato come "gli argomenti di Kant a favore del carattere a priori della legge di causalità non posson più ritenersi validi"<sup>18</sup>. Scrive Heisenberg:

"Kant afferma che ogni qualvolta osserviamo un evento presumiamo che esista un evento precedente da cui il primo deve seguire secondo una certa regola. E' questa, come dice Kant, la base d'ogni lavoro scientifico. In questo caso non ha importanza se noi possiamo o meno sempre trovare l'evento precedente da cui l'altro seguiva. In realtà molte volte possiamo trovarlo. Ma anche se non possiamo, nulla può impedirci di chiederci quale avrebbe potuto essere quell'evento precedente e di cercarlo. Quindi la legge di causalità si

---

<sup>15</sup> Cfr. V. Capelletti, *Dall'ordine alle cose. Saggio su Werner Heisenberg*, Editoriale Jaca Book, Milano, 2001. Qui l'autrice mostra come il fisico moderno e sperimentale facesse del principio di causalità il proprio abito operativo e scientifico.

<sup>16</sup> I. Kant, *Kritik der reinen Vernunft*; a cura di P. Chiodi, *Critica della ragion pura*, UTET, Torino, 1967, cit., p. 81.

<sup>17</sup> Ivi, cit., p. 88.

<sup>18</sup> Heisenberg, *Fisica e filosofia*, p. 95.

risolve nel metodo stesso della ricerca scientifica: è la condizione che rende possibile la scienza. Giacché noi in effetti applichiamo questo metodo, la legge di causalità è a priori e non derivata dall'esperienza"<sup>19</sup>.

La natura probabilistica intrinseca al mondo microscopico conduce il fisico tedesco a ritenere il carattere a priori della legge di causalità (ma anche di spazio e tempo) non più valida. O meglio, l'ambito di validità è limitato all'armamentario della fisica classica, i cui strumenti vengono utilizzati nell'area di indagine della teoria dei quanta per definire quelle che sono le condizioni descrittive dell'apparato sperimentale di cui ci serve "e più in generale quella parte del mondo che non appartiene all'oggetto dell'esperimento"; in tal senso

"l'uso di questi concetti, includenti spazio, tempo e causalità, è in effetti la condizione per la scienza e avere, nello stesso tempo, soltanto un'area limitata di applicabilità. Quando facciamo un esperimento dobbiamo assumere una catena causale di eventi che conduce dall'evento atomico attraverso l'apparecchiatura sperimentale fino all'occhio dell'osservatore; se non si ammette questa catena causale nulla si potrebbe conoscere circa l'evento atomico. Dobbiamo tuttavia ricordare che la fisica classica e la causalità hanno solo un'area limitata di applicabilità. Questo è stato il paradosso fondamentale della teoria dei quanta che non poteva essere previsto da Kant. La fisica moderna ha trasformato l'affermazione di Kant circa la possibilità di giudizi sintetici a priori da metafisica in pratica. I giudizi sintetici a priori hanno di conseguenza il carattere di una validità relativa"<sup>20</sup>.

Quindi, sebbene il principio di causalità kantiano non venga negato *in toto*, emerge come debba essere reinterpretato secondo una valenza relativa e che quindi non è universale: nella fisica quantistica la distinzione tra soggetto e oggetto è sfumata e non definita in maniera netta, e ciò impediva forme di oggettivazione della sfera percettiva, depotenziando l'epistemologia kantiana che assume "potere" solamente in relazione alla sfera della fisica classica<sup>21</sup>.

Entro tale visione, per Kant i concetti di spazio, tempo e causalità costituivano le condizioni di possibilità dell'esperienza e dunque non elementi determinati a posteriori rispetto a questa; allo stesso modo la fisica classica si configura come premessa preliminare circa analisi di tipo

---

<sup>19</sup> *Ivi*, cit., p. 94.

<sup>20</sup> *Ivi*., cit., p. 95.

<sup>21</sup> *Cfr.* D.C. Cassidy, *Uncertainty. The Life and Science of Werner Heisenberg*, New York, 1992; *Un'estrema solitudine. La vita e l'opera di Werner Heisenberg*, trad. it. di L. Sosio, Bollati Boringhieri editore, Torino, 1996.

quantistico. Ne consegue che l'a priori kantiano non possa avere una valenza universale nell'ambito della fisica<sup>22</sup>.

Per concludere questa prima incursione, si è visto come Heisenberg ritenga il principio di causalità classico (e quindi kantiano) non applicabile nel mondo quantistico e di come dunque regni l'indeterminismo. Si sono inoltre poste le premesse per lo sviluppo del successivo paragrafo, riguardanti le nozioni di spazio e tempo in riferimento all'altra grande teoria del Novecento, cioè la relatività di Albert Einstein.

## 2. La relatività di Einstein

Agli inizi del Novecento irrompe nel palcoscenico delle scienze una delle personalità più rilevanti della storia del pensiero, in grado di scardinare irreversibilmente certezze secolari: si tratta di Albert Einstein, il cui genio trova il culmine nell'elaborazione della teoria della relatività ("la più bella delle teorie"<sup>23</sup>), attraverso cui viene demolita la concezione di spazio e tempo di Newton in favore di una concezione unitaria di spazio-tempo irrinunciabilmente legata al soggetto osservatore.

La concezione delle dimensioni di spazio e tempo da parte del padre fondatore della scienza classica esprime fundamentalmente quello che è il punto di vista della coscienza comune, invischiata nella quotidianità: sono concetti evidenti a chiunque ed in quanto tale non necessitano di alcuna definizione, ma in realtà è opportuno distinguerli da un punto di vista matematico e da un punto di vista relativo (in relazione cioè agli oggetti a cui si "connettono" i sensi)<sup>24</sup>. Scrive Newton:

"Non definisco invece tempo, spazio, luogo e moto, in quanto notissimi a tutti. Va notato tuttavia, come comunemente non si concepiscano queste quantità che in relazione a cose sensibili. Di qui nascono i vari pregiudizi, per eliminare i quali conviene distinguere le medesime cose in assolute e relative, vere e apparenti, matematiche e volgari."

---

<sup>22</sup> Cfr. W. Heisenberg, *La scoperta di Planck e i problemi filosofici della fisica atomica*, ne la *Discussioni sulla fisica moderna*, W. Heisenberg, E. Schrodinger, M. Born, P. Auger; trad. it. di A. Verson, Bollati Boringhieri, Torino, 1959, pp. 3-21.

<sup>23</sup> Così Rovelli omaggia il lavoro di Einstein, espressione titolo del primo capitolo del suo testo *Sette brevi lezioni di fisica*.

<sup>24</sup> I. Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*; a cura di A. Pala, *Principi matematici della Filosofia naturale*, Classici U.T.E.T., Torino, 1965, cit., p. 101.

Nella quotidianità il tempo viene concepito come un elemento che scorre in maniera uniforme e nello stesso modo per chiunque e dunque viene concepito come assoluto, così come lo spazio. Lo spazio assoluto si configura come una realtà immobile e indipendente rispetto alla materia, un “contenitore vuoto” nel quale avvengono gli eventi fisici e che si pone dunque come un sistema unico rispetto a cui si definiscono tutte le qualità specifiche del movimento; è il “modello” rispetto a cui vengono riferiti e misurati gli spazi relativi, cioè attinenti alla percezione sensoriale in relazione a determinati corpi:

“Lo spazio assoluto, per sua natura senza relazione ad alcunché di esterno, rimane sempre uguale ed immobile; lo spazio relativo è una dimensione mobile o misura dello spazio assoluto che i nostri sensi definiscono in relazione alla sua posizione rispetto ai corpi, ed è comunemente preso come lo spazio immobile”<sup>25</sup>.

Coerentemente con ciò, anche il tempo si costituisce in termini matematici come sfondo assoluto e dunque come realtà indipendente rispetto agli eventi fenomenici osservabili:

“Il tempo assoluto, vero, matematico, in sé e per sua natura senza relazione ad alcunché di esterno, scorre uniformemente, e con altro nome è chiamato durata; quello relativo, apparente e volgare, è una misura (esatta o inesatta) sensibile ed esterna della durata per mezzo del moto, che comunemente viene impiegata al posto del vero tempo: tali sono l’ora, il giorno e l’anno”<sup>26</sup>.

Il tempo assoluto ha dunque una realtà sostanziale svincolata rispetto alla realtà fenomenica.

La descrizione di queste dimensioni in tali termini è cruciale nell’elaborazione dei pilastri fondamentali della fisica classica, in quanto fornisce una cornice concettuale soggiacente alle leggi matematiche e deterministiche della meccanica classica, le quali regolano i rapporti causali dei fenomeni.

Questa premessa risulta fondamentale per comprendere quelle che sono le implicazioni concettuali derivanti dalla teoria della relatività di Einstein che si andranno a trattare senza entrare in merito a particolari tecnicismi, con l’obiettivo di evidenziarne le novità rispetto a quanto detto: si ha a che fare con un radicale ripensamento delle nozioni di spazio e di tempo.

La riformulazione di tali entità si rende necessaria alla luce di quelli che sono gli sviluppi delle teorie elettromagnetiche che, basate sulle equazioni di Maxwell, mostrano come la luce sia nella sua essenza un’onda elettromagnetica la cui velocità di propagazione risulta essere

---

<sup>25</sup> *Ivi.*, cit., pp. 102-103

<sup>26</sup> *Ivi.*, cit., pp. 101-102.

costante con un valore di circa 300.000 km/s. Il valore costante e assoluto della velocità della luce entrava in contraddizione con la meccanica classica, la quale era fondata sul “teorema di addizione per le velocità”. È questa la più importante conseguenza del principio di relatività galileiana<sup>27</sup>, che Galileo spiega mediante il seguente e celebre esperimento mentale:

“Riservatevi con qualche amico nella maggiore stanza che sia sotto coverta di alcun gran navilio, e quivi fate d’aver mosche, farfalle e simili animaletti volanti; siavi anco un gran vaso d’acqua, e dentrovi de’ pescetti; sospendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vadia versando dell’acqua in un altro vaso di angusta bocca, che sia posto a basso: e stando ferma la nave, osservate diligentemente come quelli animaletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti della stanza; i pesci si vedranno andar notando indifferentemente per tutti i versi; le stille cadenti entreranno tutte nel vaso sottoposto; e voi, gettando all’amico alcuna cosa, non più gagliardamente la dovrete gettare verso quella parte che verso questa, quando le lontananze sieno eguali; e saltando voi, come si dice, a piè giunti, eguali spazii passerete verso tutte le parti. Osservate che avrete diligentemente tutte queste cose, benché niun dubbio ci sia che mentre il vassello sta fermo non debbano succeder così, fate muover la nave con quanta si voglia velocità; ché (pur che il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e in là) voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti, né da alcuno di quelli potrete comprender se la nave cammina o pure sta ferma”<sup>28</sup>.

Dunque, con questo esempio Galileo dimostra che il moto non è assoluto ma sempre relativo all’osservatore solidale al sistema di riferimento preso in esame. Nel caso della nave che si muove con moto rettilineo uniforme, standoci dentro e non potendo guardare fuori non sarà in alcun modo possibile capire che è in movimento e apparirà ferma seppur in movimento.

Spiegando il teorema di addizione per le velocità con un esempio dello stesso Einstein, dati un vagone ferroviario che viaggia a velocità costante  $v$ , e una persona che cammina con velocità  $w$  su tale vagone rispetto alla sua direzione di marcia, per la meccanica classica la velocità  $W$  con cui la persona procede rispetto alla banchina ferroviaria, sarà equivalente alla somma delle

---

<sup>27</sup> A. Einstein definisce così tale teorema e propone la seguente esemplificazione: dati un vagone ferroviario che viaggia a velocità costante  $v$ , e una persona che cammina con velocità  $w$  su tale vagone rispetto alla sua direzione di marcia, per la meccanica classica la velocità  $W$  con cui la persona procede rispetto alla banchina ferroviaria, sarà equivalente alla somma delle velocità  $v$  e  $w$ . Cfr. A. Einstein, *Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie (gemeinverständlich)*, Hebrew University of Jerusalem, 1959; trad.it. di V. Geymonat, *Relatività. Esposizione divulgativa*, Bollati Boringhieri editore, Torino, 2015<sup>2</sup>, pp. 33-34.

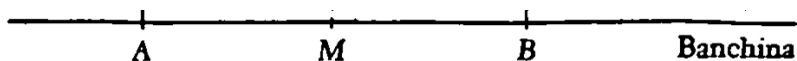
<sup>28</sup> G. Galileo, *Dialogo sopra i due massimi sistemi*; a cura di L. Sosio, Einaudi, Torino, 1970.

velocità  $v$  e  $w$ . Sebbene apparentemente contraddittori, “risultò evidente che *nella realtà non esiste la minima incompatibilità fra il principio di relatività [delle velocità] e la legge di propagazione della luce [il suo valore costante]*”<sup>29</sup>.

La tesi di Einstein si fonda quindi essenzialmente su due postulati da conciliare: il principio di relatività galileiana e un secondo postulato che evidenzia come la velocità della luce nel vuoto sia costante e identica per qualunque osservatore, nonché indipendente rispetto al moto della sorgente di emissione<sup>30</sup>.

La riflessione di Einstein prende le mosse dall’analisi preliminare del concetto di simultaneità (implicato strutturalmente nella definizione del tempo nell’ambito della fisica<sup>31</sup>), il cui significato assoluto della fisica classica viene scardinato in favore di una sua relativizzazione, in quanto dipendente dal sistema di riferimento (cioè dall’osservatore) e dunque non universale<sup>32</sup>.

Per definire il concetto di simultaneità tra degli eventi, è opportuno riprendere alcune esemplificazioni proposte da Einstein: data una distanza tra due punti A e B (in riferimento ad esempio ad una banchina ferroviaria, che in questo caso si costituisce come il sistema di riferimento) e un osservatore (dotato di un dispositivo che gli consenta di vedere contemporaneamente i due punti sopracitati) nel punto intermedio M, si ha a che fare con la simultaneità di due eventi (ad esempio i lampi di due fulmini che colpiscono A e B) quando questi sono percepiti dall’osservatore nello stesso istante<sup>33</sup>.



Tuttavia, una concettualizzazione di questo tipo non risulta essere sufficiente, in quanto se gli stessi eventi vengono riferiti ad altri specifici sistemi viene a modificarsi lo statuto

---

<sup>29</sup> A. Einstein, *Relatività. Esposizione divulgativa*, cit., p. 37.

<sup>30</sup> Cfr. E. Bellone, *Albert Einstein. Relativamente a spazio e tempo*, Gruppo Editoriale L'Espresso, Roma, 2012.

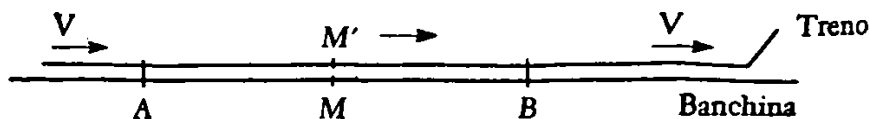
<sup>31</sup> “Dati due orologi identici tra loro collocati in un sistema di coordinate corrispondente ai punti A, B e C della linea ferroviaria, “noi intendiamo per “tempo” di un evento la lettura (posizione delle lancette) di quello fra tali orologi che si trova nell’immediata vicinanza (spaziale) dell’evento in esame.” “*Relatività. Esposizione divulgativa*”. Einstein, *Relatività. Esposizione divulgativa*, pp. 40-41.

<sup>32</sup> Nel testo *Fisica per filosofi*, Cosmelli pone in evidenza come siano nate varie dispute ontologiche/epistemologiche circa la realtà del tempo.

<sup>33</sup> Cfr. Einstein, *Relatività. Esposizione divulgativa*, pp 38-39. Einstein scriverà poi a pag. 43: “Allorché diciamo che i colpi di fulmine A e B sono simultanei rispetto alla banchina, intendiamo: i raggi di luce provenienti dai punti A e B dove cade il fulmine si incontrano l’uno con l’altro nel punto medio M dell’intervallo  $A \rightarrow B$  della banchina.”

epistemologico della simultaneità: “Due eventi (ad esempio i due colpi di fulmine A e B) che sono simultanei rispetto alla banchina ferroviaria, saranno tali anche rispetto al treno?”. L’esito è tuttavia già scritto: “Mostreremo subito che la risposta deve essere negativa”<sup>34</sup>.

Alla luce di ciò, viene ripreso l’esempio precedente per tematizzare un altro esperimento mentale, che ci permetterà di comprendere la radicale novità introdotta: gli eventi A e B precedenti equivalgono a due punti A e B di un treno che viaggia a velocità costante  $v$ , in cui  $M'$  corrisponde al punto medio della distanza  $A \rightarrow B$ : il treno stesso corrisponderà al sistema di riferimento utilizzato dai viaggiatori per riferirsi ai vari eventi.



Nel momento in cui avviene l’emissione di bagliore da parte dei fulmini che colpiscono  $M'$ , nonostante questo coincida effettivamente con M (che si ricorda essere il punto medio della banchina), in realtà in riferimento alla banchina si muove nella direzione del treno con la sua stessa velocità: questo implica che l’osservatore nel punto  $M'$  viaggerà verso il bagliore proveniente da B, che verrà dunque percepito prima rispetto al bagliore proveniente da A.

Ciò che emerge è che nel sopraggiungere dei fasci luminosi l’elemento della simultaneità viene a mancare, a differenza di ciò che accadeva con l’osservatore nell’esempio 1: la simultaneità è un concetto relativo, “ogni corpo di riferimento [...] ha il suo proprio tempo particolare [...]. Orbene, prima dell’avvento della teoria della relatività, nella fisica si era sempre tacitamente ammesso che le attribuzioni di tempo avessero un significato assoluto, cioè fossero indipendenti dallo stato di moto del corpo di riferimento”<sup>35</sup>.

Ciò che ne deriva dunque è che nel passaggio da un sistema di riferimento all’altro il tempo non è più lo stesso: ne consegue un radicale mutamento dal punto di vista non solo scientifico, ma anche filosofico, con conseguenti ripercussioni sul concetto di spazio, che diventa anch’esso un concetto relativo<sup>36</sup>. Infatti, Einstein prosegue con l’esperimento sopracitato, e immagina di dover misurare un intervallo spaziale specifico di due punti  $A'$  e  $B'$  del treno che viaggia a velocità  $v$  lungo la banchina. L’osservatore sul treno utilizzerà quest’ultimo come sistema di riferimento, e si servirà di un regolo per effettuare la misurazione riportandolo sul pavimento

<sup>34</sup> *Ibid.*

<sup>35</sup> *Ivi*, cit., p. 44.

<sup>36</sup> *Cfr.* E. Bellone, *Albert Einstein. Relativamente a spazio e tempo.*

del vagone a partire dal punto A', fino a raggiungere il punto B'. Le cose cambiano passando ad un osservatore posto sulla banchina ferroviaria, chiamato a effettuare la medesima misurazione: egli dovrà preliminarmente stabilire i punti A e B della banchina corrispondenti ai punti A' e B' del treno che si muove a velocità  $v$  rispetto alla banchina. Tale "corrispondenza" deve essere stabilita in un determinato istante di tempo  $t$ , che richiama però quanto detto prima circa la relatività della simultaneità, dipendente dal moto dell'osservatore. La distanza tra A e B verrà misurata con il metodo illustrato precedentemente, e tuttavia "non è affatto certo a priori che quest'ultima misurazione debba fornirci il medesimo risultato della prima. La lunghezza del treno misurata dalla banchina può dunque essere differente da quella ottenuta compiendo la misurazione sul treno stesso"<sup>37</sup>. Infatti, lo spazio si definisce in relazione allo stato di moto di chi osserva. La lunghezza si definisce in relazione alla sua velocità rispetto all'osservatore<sup>38</sup>, e le lunghezze si accorciano proporzionalmente all'aumentare della velocità: se questa dovesse corrispondere alla velocità della luce, la lunghezza sarebbe zero<sup>39</sup>.

Questa rivoluzione radicale riguardante i concetti spazio e tempo culminerà nell'unione di questi due nella nozione unica di spazio-tempo, nozione elaborata dal matematico Hermann Minkowski e concepita come entità quadrimensionale, rendendo così ragione della correlazione intrinseca che lega questi due concetti, non più pensati come assolutamente distinti e indipendenti. Lo spazio-tempo si va a configurare dunque come una realtà geometrica oggettiva<sup>40</sup>.

Giungiamo così alla fine di questa preliminare esposizione, che ci consente di tornare alla citazione iniziale di questo capitolo: i concetti di spazio e tempo kantiani, secondo Heisenberg, vengono ridimensionati dalle implicazioni delle teorie di Einstein. Infatti, a suo modo di vedere, l'a priori kantiano, così come le concezioni di tempo e spazio assoluti di Newton (che sono assoluti anche in Kant ma trasferiti dal piano empirico a quello trascendentale), in qualità di strumenti descrittivi della natura, vengono messi in discussione dalla teoria della relatività:

---

<sup>37</sup> A. Einstein, *Relatività. Esposizione divulgativa*, cit., p. 45.

<sup>38</sup> La contrazione delle lunghezze si basa sulle trasformazioni di Lorentz: "egli dovette avanzare l'ipotesi che i corpi in movimento si contraggono nella direzione del moto secondo un fattore dipendente dalla velocità del corpo." Heisenberg, *Fisica e filosofia*, p. 117.

<sup>39</sup> Cfr. E. Bellone, *Albert Einstein. Relativamente a spazio e tempo*.

<sup>40</sup> Le teorie di Minkowski getteranno le fondamenta della relatività generale (che non andrò qui a trattare nello specifico), dove la geometria non si limita più a descrivere lo spazio tridimensionale, ma si riferisce al concetto quadridimensionale dello "spazio-tempo".

“[...] si pensava che non potessero essere alterati da nuove esperienze [i concetti a priori di Kant]. [...] Persino la precisa e consistente formulazione di questi concetti nel linguaggio matematico della meccanica di Newton o l’accurata analisi che se ne fa nella filosofia kantiana non avevano offerto protezione sufficiente contro l’analisi critica resa possibile da misurazioni estremamente esatte”<sup>41</sup>.

Lo sviluppo della teoria della relatività, dunque, oltre a scardinare l’impianto classico di stampo Newtoniano, mostra come le intuizioni a priori kantiane non sono adeguate rispetto a “osservazioni su fatti dove si presentano velocità vicine a quelle della luce, osservazioni che si possono ottenere solo con gli equipaggiamenti tecnici più raffinati”<sup>42</sup>.

L’a priori kantiano viene svuotato da qualsivoglia pretesa di assolutismo: l’impianto epistemologico del filosofo tedesco si ritrova sotto scacco dallo sviluppo della fisica quantistica e della relatività.

La battaglia che il kantismo si trova ad affrontare necessita di una ridefinizione dei capisaldi epistemologici ad opera dei filosofi, con il supporto degli scienziati il cui operato si limita nel procurare materiale su cui la filosofia può lavorare<sup>43</sup>. Ecco che a questo punto può entrare in scena il protagonista di questa esposizione, il cui obiettivo è quello di rilanciare i concetti di causalità, spazio e tempo kantiani in relazione alle teorie di Einstein e al principio di indeterminazione di Heisenberg, per mostrare come il kantismo si sposi alla perfezione con gli sviluppi della fisica moderna: stiamo parlando di Ernst Cassirer, a cui dedicherò i prossimi due capitoli.

---

<sup>41</sup> Heisenberg, *Fisica e filosofia*, cit., p. 130.

<sup>42</sup> Heisenberg, *La scoperta di Planck e i problemi della fisica atomica*, cit., p. 13. Heisenberg scrive a p.8: “i noti paradossi che si riferiscono alla relatività si basano proprio sul fatto che i fenomeni in cui intervengono velocità vicine a quelle della luce non possono essere interpretati giustamente coi nostri concetti di spazio e di tempo. Ricordo a mo’ di esempio il noto paradosso degli orologi, ossia il fatto che, per un osservatore che si sposti velocemente, il tempo scorre in apparenza più lentamente che per un osservatore in quiete”.

<sup>43</sup> Cfr. D. Cassidy, *Un’estrema solitudine. La vita e le opere di Werner Heisenberg*.

## Capitolo 2 - Cassirer e la relatività

### 1. Introduzione a Cassirer

All'interno dello sconvolgimento e "disordine" epistemologico affrontato nel primo capitolo, nel quale insorgono nuove temibili sfide da affrontare da parte della scienza, quest'ultima si trova costretta a deporre le fidate armi con cui ha combattuto fino ad allora, per costruire un nuovo arsenale attraverso cui sarà possibile erigere nuove fondamenta del sapere: sarà necessaria la funzione direttiva e di leadership della filosofia, chiamata a "illuminare la vista" della scienza, fondando, giustificando e normando quelli che sono i principi epistemologici "subentranti"<sup>44</sup>.

Al tempo stesso, come evidenzia Einstein, "in un'epoca come la presente, in cui l'esperienza ci obbliga a cercare un nuovo e più solido fondamento, il fisico non può lasciare al filosofo la considerazione critica dei fondamenti teorici"<sup>45</sup>. Emerge dunque la necessità di un'incontrovertibile collaborazione tra fisica e filosofia, che non possono prescindere l'una dall'altra in quanto "due facce della stessa medaglia."

Entro tale contesto, in questo capitolo si analizzerà quella che è la posizione di Cassirer nei confronti della teoria della relatività, ritenendo non solo che non contraddica la teoria di Kant riguardo spazio-tempo, ma che anzi ne costituisca il completamento.

Tuttavia, prima di addentrarsi in tale territorio, è necessario fare un passo indietro per comprendere alcuni assunti fondamentali (senza tuttavia entrare in particolari tecnicismi) della posizione di Ernst Cassirer: infatti il suo pensiero si intreccia indissolubilmente a quelle che sono le posizioni della scuola di Marburgo di matrice neokantiana.

All'interno di tale orizzonte filosofico si possono individuare una molteplicità di pensieri differenti, accomunati tuttavia dal tentativo di reinterpretare le teorie di Kant e il suo metodo critico, conferendo nuova linfa vitale all'elemento del trascendentale. Esponente di spicco, nonché punto di riferimento per Cassirer, risulta essere Hermann Cohen, il quale fornisce una rilettura del pensiero di Kant con lo scopo di elaborare e delineare una "filosofia scientifica".

---

<sup>44</sup> Lo stesso Heisenberg in *Fisica e filosofia* evidenziava l'esigenza di una "collaborazione" tra scienza e filosofia

<sup>45</sup> A.Einstein, *Physics and Reality*, contenuto in *Out of My Later Years*, Philosophical Library, New York, 1950; trad. it. di L. Bianchi, *Fisica e realtà*, Bollati Boringhieri editore, Torino, 2025.

Nell'interpretazione di Cohen, spazio e tempo, cioè le strutture conoscitive del soggetto trascendentale, costituiscono le condizioni formali a priori che rendono possibile la scienza e la stessa esperienza: non vi è dunque una prospettiva dualistica fondata sulla separazione tra oggetti da una parte e facoltà conoscitive del soggetto dall'altra, ma vi è invece un intreccio indissolubile nel quale l'oggetto viene plasmato nel suo rapporto con le funzioni logiche spazio-temporali che ne costituiscono la condizione di possibilità stessa. Spazio e tempo, dunque, non costituiscono entità assolute da intendere come palcoscenico nel quale avvengono e si verificano i fenomeni del mondo, bensì i "presupposti" e le strutture formali che vanno a "modellare" l'oggettività di questi stessi fenomeni.

Dunque, l'a priori kantiano è condizione di possibilità dell'oggettività dell'esperienza del reale, strettamente intrecciata con la ragione e non dato a sé stante<sup>46</sup>.

Cassirer riprende le tesi del maestro circa il metodo trascendentale proprio della filosofia come "sapere attivo", volto alla giustificazione e fondazione delle condizioni di possibilità della scienza e del conoscere scientifico, e tuttavia ne amplia l'orizzonte di riferimento.

Infatti, pone l'accento sulla ricchezza costitutiva dell'esperienza conoscitiva dell'essere umano, non riducibile a mera razionalità scientifica: il metodo trascendentale delineato da Cassirer amplia infatti la sfera di esercizio conoscitivo dell'uomo espandendo così il campo trascendentale. Tale metodo a priori, non viene più legato al solo fondamento delle condizioni della scienza, ma si articola in una complessa rete di forme simboliche, cioè in una pluralità di sistemi categoriali (come linguaggio, mito, arte, religione), mediante cui viene strutturata la realtà e le condizioni di possibilità del sapere. Ogni ambito della realtà è frutto di una forma simbolica specifica<sup>47</sup>, ed è quindi interpretato e determinato secondo sfaccettati orizzonti di significato.

Tale logica simbolica, sul quale si fonda il pensiero di Cassirer, mostra (sulla scia di Cohen) come la realtà non si costituisca come mera datità auto-sussistente e scissa dal soggetto. Infatti per il filosofo tedesco, la conoscenza si "realizza" mediante un processo di costruzione attiva e relazionale da parte del soggetto (definito da Cassirer come "animale simbolico") attraverso le sue funzioni simboliche, le quali vanno a strutturare la realtà: non si tratta dunque di condizioni

---

<sup>46</sup> Cfr. F. Avogadro, *Ernst Cassirer, l'ultimo illuminista. 1874-1945*, Carocci editore, Roma, 2024.

<sup>47</sup> "Il mondo dei simboli è indefinitamente stratificato in livelli simbolici di progressivo formalismo", G.Preti, Presentazione, in E. Cassirer, *Substanzbegriff und Funktionsbegriff*, Berlino, 1910; *Zur Einstein'schen Relativitätstheorie*, Berlino, 1920; trad. it. di E. Arnaud e G.A. De Toni, *Sostanza e funzione. Sulla teoria della realtà di Einstein*, La Nuova Italia, Firenze, 1973, cit., p. X.

con mera funzione di rappresentazione asettica, bensì elementi di determinazione e riorganizzazione costitutiva dell'esperienza, che risulta essere dunque un insieme di relazioni (logico/conoscitive) e non dati a sé stanti svincolati dalle condizioni che li rendono pensabili e possibili (cioè appunto, come relazioni)<sup>48</sup>. La scienza dunque si costituisce come un “tessuto di concetti-funzione”<sup>49</sup>.

Dunque alla prospettiva dualista propria di una visione sostanzialistica della realtà<sup>50</sup>, concepita come ente isolato e oggetto radicalmente indipendente/opposto rispetto al soggetto, Cassirer contrappone una visione funzionalista nel quale il soggetto, mediante le funzioni conoscitive di spazio e tempo (concepiti non più come oggetti da conoscere) si rapporta in maniera inscindibile all'oggetto (cioè all'esperienza), che non è più concepito come “cosa”, ma come “un sistema relazionale”: “in quest'ottica, il tradizionale dualismo tra soggetto e oggetto [...] deve potersi quindi risolvere integralmente nei diversi sistemi di condizioni di possibilità della stessa esperienza”<sup>51</sup>. Quindi le categorie per Cassirer, rappresentano gli “invarianti ultimi”, cioè quelle condizioni che costituiscono le fondamenta della conoscenza nella sua evoluzione storica che tende all'unità ideale: il progresso scientifico dunque si pone come processo dinamico di interazione tra elementi non assolutamente variabili e non assolutamente costanti<sup>52</sup>.

Vi è un passaggio dal cosiddetto “concetto-genere”, proprio di una visione aristotelica, al “concetto-funzione”, con cui opera la scienza moderna e basato su un linguaggio concettuale che si fonda su una capacità d'astrazione maggiore e su una sintesi della molteplicità costitutiva degli oggetti (il concetto è “regola universale per il collegamento del particolare”<sup>53</sup>): la matematica pura non si basa su mera riproduzione della realtà, “il mondo delle cose sensibili e delle rappresentazioni non è tanto rispecchiato quanto piuttosto trasformato e sostituito da un

---

<sup>48</sup> “Il simbolo [...] è sempre in qualche misura, formale, implica un distacco dall'intuizione, una sospensione dall'esperienza, una astrazione-idealizzazione che conferisce al pensiero ampi gradi di libertà rispetto all'esperienza stessa.” *Ivi*, cit., pp. IX-X.

<sup>49</sup> Tale espressione viene utilizzata da G. Preti, *ivi*, p. XIII.

<sup>50</sup> Questa logica del concetto-genere trova come esponente maggiore la dottrina metafisica di Aristotele, nel quale la realtà viene organizzata attraverso l'individuazione di qualità comuni agli oggetti per fornirne una generalizzazione (procedimento definito come astrazione logico-formale). La logica del concetto funzione invece si fonda su un procedimento di astrazione simbolica dell'oggetto. *Cfr.* G. Raio, *Introduzione a Cassirer*, Editori Laterza, 1991, Roma-Bari.

<sup>51</sup> Avogadro, *Ernst Cassirer, l'ultimo illuminista. 1874-1945*, cit., p. 76.

<sup>52</sup> *Ivi*, cit., p. 79.

<sup>53</sup> E. Cassirer, *Sostanza e funzione. Sulla teoria della relatività di Einstein*, p. 30.

ordine d'altra natura. Se si indaga il modo e la via di questa trasformazione, si rivelano determinate forme di relazione, si rivela un sistema articolato, e rigorosamente distinto di funzioni del pensiero”<sup>54</sup>.

## 2. La teoria della relatività come compimento dell'impostazione trascendentale

All'interno di tali presupposti teoretici, fino ad ora solo accennati e abbozzati, in che modo la teoria della relatività può sposarsi con le categorie di spazio-tempo di Kant? A prima vista, potrebbe sembrare infatti essere finito il tempo di Kant, come aveva osservato Heisenberg. Lo stesso Cassirer pone la questione in termini radicali: “Se Kant [...] non voleva essere null'altro che il filosofo in grado di sistematizzare la scienza di Newton, allora anche la sua dottrina non rischia forse di condividere la stessa sorte della fisica newtoniana?”<sup>55</sup>; Cassirer nega subito questa possibilità: “La critica della ragione pura, infatti, non voleva certo vincolare una volta per tutte la conoscenza filosofica a un determinato sistema dogmatico di concetti, ma aprirla al “sentiero sicuro di una scienza”, dove le soste siano sempre relative e mai assolute”<sup>56</sup>.

Lo scopo di Cassirer è quello di mostrare come la relatività costituisca il compimento del programma filosofico da Kant, in quanto viene posto l'accento non sugli oggetti in sé (mutevoli), bensì sulle strutture immutabili che si esprimono nei linguaggi simbolici (invarianti), in questo caso di matematica e fisica<sup>57</sup>.

Risulta dunque necessario osservare preliminarmente quella che è l'interpretazione che Cassirer fornisce circa i risultati della teoria della relatività, partendo dalla constatazione di come la scienza debba giustificare l'unità sistematica della molteplicità intrinseca nel mondo dell'esperienza:

“La teoria della relatività ha abbandonato la credenza che i valori di misura delle grandezze spaziali e temporali rimangano uniformi nei diversi sistemi. Essa rinuncia al presupposto che l'intervallo temporale tra i due eventi sia una grandezza immutabile, fissa una volta per tutte, indipendentemente dallo stato di movimento del corpo di riferimento, e che l'intervallo spaziale o la distanza tra due punti di un corpo rigido sia indipendente dagli stati di movimento del corpo di riferimento. [...] essa scopre la *relatività della simultaneità*

---

<sup>54</sup> *Ivi*, cit., p. 23.

<sup>55</sup> E. Cassirer, *Zur Einsteinschen Relativitätstheorie. Erkenntnistheoretische Betrachtungen*, Berlino, 1921; trad. it. di N. Zippel, *La teoria della relatività di Einstein*, Castelveccchi editore, Roma, 2015, p. 18.

<sup>56</sup> *Ivi*, p.19.

<sup>57</sup> *Cfr.* G.Gioriello, Prefazione, in *La teoria della relatività di Einstein..*

di due processi e mostra che [...] anche il valore-grandezza della lunghezza di un corpo [...] e così via va determinato in modo sempre diverso a seconda del sistema di riferimento in cui si sceglie di compiere la misurazione”<sup>58</sup>.

Con ciò Cassirer “risolverà” alcuni dei concetti emersi nel primo capitolo, in particolare il fatto che non vi sia una sistema di riferimento assoluto e la conseguente relativizzazione della nozione di simultaneità (relativa al sistema di riferimento); spazio e tempo non sono concetti assoluti, ma relativi.

Ciò che l’autore intende mostrare è che l’unità sistematica tra le varie connessioni dell’esperienza sul quale si fonda la scienza esige (paradossalmente) la relativizzazione di spazio e tempo in quanto elementi fondanti tale unità.

Infatti, è bene ricordare come le tesi di Einstein nascessero dall’esigenza di conciliazione del principio di relatività galileiana (per cui le leggi fisiche sono le stesse in tutti i sistemi inerziali) e il fatto che la velocità della luce nel vuoto sia costante e identica per qualunque osservatore, nonché indipendente rispetto al moto della sorgente di emissione: in tale contesto la relativizzazione di spazio e tempo risulta essere funzionale a tale urgenza, al quale i fisici non riuscivano a trovare soluzione<sup>59</sup>. Infatti tale operazione è “la condizione necessaria per trovare e fondare i nuovi invarianti della teoria. Tali invarianti sono la grandezza della velocità della luce, che resta la stessa per tutti i sistemi, e poi una serie di altre grandezze”<sup>60</sup>. Scrive ancora Cassirer:

“L’unica strada che ci conduce a una descrizione dei fenomeni univoca e oggettivamente valida, indipendentemente dal sistema di riferimento scelto di volta in volta, passa necessariamente, come mostra la teoria, per la relativizzazione delle grandezze spaziali e temporali vigenti entro i singoli sistemi. Definire queste grandezze come mutevoli e trasformabili significa arrivare alla vera invarianza delle autentiche costanti universali e delle leggi universali della natura”<sup>61</sup>.

Analizzati dunque quelli che sono i risultati, Cassirer evidenzia come la teoria della relatività (così come le teorie fisiche in generale) non consista in una mera registrazione passiva di fatti,

---

<sup>58</sup> *Ivi*, cit., p.35.

<sup>59</sup> *Cfr.* per eventuali approfondimenti C. Cosmelli, *Fisica per filosofi*. Concependo spazio e tempo come assoluti, la velocità della luce non sarebbe costante ma soggetta a variazione nei diversi sistemi di riferimento. Per ammetterne la costanza risulta necessario la relativizzazione delle grandezze spazio-temporali.

<sup>60</sup> E. Cassirer, *La teoria della relatività di Einstein*, cit., p. 36

<sup>61</sup> *Ibid.*

né tantomeno possa intellettualisticamente svincolarsi dal mondo dell'esperienza<sup>62</sup>: la scienza si fonda su un intreccio indissolubile tra esperienza e pensiero, cioè quell'elemento critico che riorganizza i dati empirici in una cornice concettuale specifica.

Scrivendo Cassirer: “[...] non è tanto il semplice materiale d'osservazione come tale a costituire l'autentico valore della teoria della relatività [...], quanto piuttosto la forma ideale a cui il materiale viene elevato e l'interpretazione concettuale che esso riceve”<sup>63</sup>.

Alla tendenza comune nel proiettare nei confronti della relatività un carattere “distruttivo” della realtà, il filosofo contrappone una visione opposta: infatti mostra come non siano le cose ad essere assolute, ma ad essere invariabili sono le relazioni funzionali determinate dal linguaggio simbolico della matematica attraverso il quale si produce l'oggettività della conoscenza, che è a sua volta, dunque, unificazione della molteplicità di osservazioni empiriche.

“La relatività mostra questo compito in tutta la sua complessità”<sup>64</sup>, differentemente dalla meccanica classica<sup>65</sup>, in quanto evidenzia come l'universalità intrinseca della conoscenza scientifica non si fondi sulla mera datità empirica, relativa e non assoluta, bensì sulla relazione di questi determinata dall'aspetto formale delle leggi e delle regole concettuali, che ne costituiscono la cornice immutabile: la relatività di spazio e tempo, dipendente dal sistema di riferimento cui si fa riferimento, acquista “validità assoluta” proprio in virtù dei principi invariabili sottesi non dipendente dall'assolutizzazione di qualche misurazione empirica, per cui non esiste alcun corpo privilegiato rispetto ad altri (“La teoria della relatività ci mostra come da ciascuno di questi dati singoli si possa giungere sempre a un tutto determinato, a un insieme di determinazioni invarianti”<sup>66</sup>). Entro tale concezione, è possibile fare riferimento alla realtà svuotandola dai presupposti ontologici propri della visione sostanzialista<sup>67</sup>.

---

<sup>62</sup> “Nessun “empirismo” [...] potrà mai provare a negare la parte svolta dal pensiero nell'enunciare e giustificare le teorie fisiche; come dall'altro lato, nessun idealismo logico potrebbe tentare di sciogliere il <<puro pensiero>> dalla relazione e dal legame con il mondo del <<fattuale>>.” *Ivi*, cit., p. 29

<sup>63</sup> *Ivi*, cit., p. 36.

<sup>64</sup> *Ivi*, cit., p. 41

<sup>65</sup> “La meccanica classica pensò troppo presto di aver raggiunto la meta: si affidava a determinati corpi di riferimento, considerandoli misure in qualche modo definitive e universali, e dunque senz'altro “oggettive”, *Ibid.*

<sup>66</sup> *Ivi*, cit., p. 42.

<sup>67</sup> Per approfondimenti, *cfr.* E. Agazzi, *Scientific Objectivity and its Contexts*, Svizzera, 2014; trad. it. di G. Carozzini, E. Scolozzi, G. Santi, *L'oggettività scientifica e i suoi contesti*, Bompiani, Milano, 2018.

Cassirer si avvale dell'aiuto di Kant, di cui riporta le parole: "D'altronde, tutto ciò che noi conosciamo nella materia si riduce a mere relazioni [...]; tra queste relazioni, tuttavia, ve ne sono alcune autonome e permanenti, mediante le quali un determinato oggetto ci è dato"<sup>68</sup>.

Tale struttura concettuale, da un punto di vista puramente matematico, è rappresentata dalle trasformazioni di Lorentz, le quali consentono la descrizione dei mutamenti delle coordinate spazio-temporali nei vari sistemi di riferimento a cui fa cenno la teoria di Einstein. Questo "paradigma" interpretativo non comporta dunque la dissoluzione di ogni forma di oggettività scientifica<sup>69</sup>.

Sebbene la teoria della relatività resti una dottrina dello spazio e del tempo empirici e non dello spazio e tempo puri (dunque come fenomeni sottoponibili all'osservazione sperimentale e non come forme a priori della sensibilità), Cassirer evidenzia come vi sia una connessione con il fondamento trascendentale proprio della filosofia critica di Kant che impedisce qualsiasi concezione che tenta di ridurre le teorie di Einstein a semplice "descrizione passiva" della realtà. La filosofia di Kant si muove su un piano trascendentale e non ha riferimento diretto alla realtà<sup>70</sup>.

Secondo l'interpretazione che l'autore fa dell'idealismo kantiano, spazio e tempo non sono oggetti fisici cogliibili mediante intuizione<sup>71</sup>, ma in quanto "regole dell'intelletto" costituiscono le condizioni di possibilità dell'esperienza mediante cui questa viene ordinata in un'unità sintetica spazio-temporale. Questo consente la costruzione di una conoscenza che presenti i caratteri di oggettività e universalità, svincolata da qualsiasi riferimento oggettuale<sup>72</sup>.

In particolare, Cassirer evidenzia come fare dello spazio assoluto "una cosa reale, significa scambiare *l'universalità logica* di un qualsiasi spazio a cui posso paragonare ogni spazio empirico come in esso incluso, con *un'universalità fisica* dell'estensione reale, e fraintendere

---

<sup>68</sup> Cassirer, *La teoria della relatività di Einstein*, p.46. La citazione di Kant, nell'edizione da me consultata, si trova così formulata: "D'altra parte, tutto ciò che ci è dato conoscere nella materia si risolve in semplici relazioni [...]; senonché, fra queste relazioni ne esistono talune per sé stanti e permanenti, in virtù delle quali ci viene dato un particolare oggetto". Kant, *Critica della ragion pura*, cit., p. 246.

<sup>69</sup> "Questo radicale risolversi delle <<cose>> in pure e semplici relazioni resta un fatto che [...] desta sorpresa e preoccupazione: infatti si crede comunemente che la perdita del concetto di cosa implichi necessariamente anche la perdita dell'unico sostegno sicuro di ogni oggettività, di ogni verità scientifica in generale." *Ivi.*, cit., p. 40.

<sup>70</sup> Cfr. F. Avogadro *Ernst Cassirer, l'ultimo illuminista. 1874-1945* cap. 6, pp. 121-146.

<sup>71</sup> "Chi ancora pretende che questi due concetti abbiano un correlato materiale insegue delle ombre." E. Cassirer, *La teoria della relatività di Einstein*, cit., p. 71.

<sup>72</sup> Cfr. E. Agazzi, *L'oggettività scientifica e i suoi contesti*.

la ragione nella sua idea”<sup>73</sup>. Dunque l’oggettività di spazio e tempo puri non è da intendersi in senso fisico (o metafisico), ma “risiede nel fatto che sono condizioni della possibilità di determinati giudizi ai quali dobbiamo accordare valore di necessità e universalità”<sup>74</sup>; risulta essere dunque solo un principio regolativo attraverso cui si può riferire la relatività dei movimenti.

Tale unità dinamica frutto di una costruzione ideale nella teoria della relatività [ristretta] viene conservata come principio fondante: la “regola dell’intelletto” è costituita dal postulato della costanza della velocità della luce, principio interpretativo “relativamente a priori” (non si tratta appunto di forme pure come in Kant, e al tempo stesso sono principi non desumibili da un punto di vista empirico) attraverso cui si manifesta la necessaria unità della natura che impedisce qualsivoglia assolutizzazione di particolari sistemi di riferimento<sup>75</sup>.

Ciò che emerge dalle teorie di Einstein, è che non vi è più dunque una corrispondenza dei valori di misura spazio-temporali dei vari sistemi di riferimento (relativi all’osservatore) come accadeva nella meccanica classica, e tuttavia tale differenziazione può essere tradotta matematicamente nel passaggio ad un altro sistema (mediante appunto le trasformazioni di Lorentz), è cioè possibile comprendere la relazione matematica che sussiste tra i diversi sistemi di riferimento<sup>76</sup>.

Dunque ciò che emerge è che nonostante vi sia una misurazione empirica di spazio e tempo, vi è una condizione immutabile (la costanza della velocità della luce mantiene infatti sempre lo stesso valore) e formale sottesa ai vari sistemi di misura che costituiscono il quadro di variabilità dei dati che emerge dalle teorie di Einstein. Si mostra così come non vi sia mera registrazione passiva della realtà, ma una costruzione formale di questa nella quale viene individuata e regolata la relazione strutturale che sussiste tra le varie misurazioni particolari e relative. Alla base di ogni determinazione sperimentale, vi sono dunque degli elementi di invariabilità che mostrano come nella teoria della relatività sia “il pensiero funzionale [...] a concorrere come motivo necessario in ogni determinazione spazio-temporale”<sup>77</sup>.

---

<sup>73</sup> E. Cassirer, *La teoria della relatività di Einstein*, cit., p. 75.

<sup>74</sup> Avogadro, *Ernst Cassirer, l’ultimo illuminista. 1874-1945*, cit., p. 124.

<sup>75</sup> Cfr. *ivi*

<sup>76</sup> Avogadro, in merito a ciò sottolinea come “nella fisica relativista, ciò che rimane dell’unità del tempo è solo l’univocità della corrispondenza tra “inquadramenti” diversi, non più l’identità dei valori metrici dei diversi sistemi.” *Ivi*, cit., p. 124.

<sup>77</sup> Cassirer, *La teoria della relatività di Einstein*, cit., p. 79.

Il pensiero funzionale, inteso come la ragione che si manifesta tramite determinazione formale di strutture concettuali, è quell'elemento determinante che rende la teoria della relatività attiva nel processo di costruzione della conoscenza e non semplice rappresentazione di dati empirici: la scienza dunque si fonda sulla struttura razionale del soggetto come criterio di universalità e oggettività.

Se da una parte la nuova teoria fisica conserva l'impostazione della filosofia critica di Kant, preservando la funzione essenziale della struttura spazio-temporale in quanto elementi essenziali e costitutivi, al tempo stesso ne supera la concezione rigida basata sulla loro fissità<sup>78</sup>: infatti Cassirer ritiene che vi sia una certa flessibilità degli invarianti ultimi, "forme vive e mobili" che si evolvono a seconda delle esigenze della scienza, secondo quello che è il principio di *relatività categoriale*, privando in tal modo le categorie dell'ultimo residuo di oggettività assoluta. Tale principio diviene fondamento del pensiero simbolico di Cassirer, per cui vi sono diverse forme simboliche attraverso cui si strutturano le varie dimensioni della realtà, per cui le categorie assumono significato differente a seconda dell'oggetto a cui si riferiscono<sup>79</sup>.

Spazio e tempo sono relativi al sistema di riferimento, ma coordinati e determinati da un "substrato" metodologico invariante dal carattere funzionale (stabilisce cioè le relazioni di interdipendenza tra le varie misurazioni): la conoscenza, dunque, non si fonda sulle "cose", come rispecchiamento di queste, ma su leggi regolative attraverso cui vengono strutturate e ordinate le relazioni oggettuali, cioè viene ordinata la loro funzione<sup>80</sup>.

Tuttavia, come anticipato, i concetti di spazio e tempo, in quanto non concepiti come intuizioni pure, hanno un carattere dinamico e non fisso, per cui è ammessa una trasformazione di quelli che sono gli invarianti ultimi: tale principio di relatività categoriale, dunque, mostra il ripensamento di questi concetti funzionali<sup>81</sup>. La stessa relatività ha rielaborato criticamente gli strumenti concettuali propri della meccanica classica, mostrandone un ricollocamento (relativo

---

<sup>78</sup> "E' qui il punto dove le strade del fisico e del filosofo si separano, senza che per questo debbano essere necessariamente in contrasto. Per il fisico, infatti, quello che chiama <<spazio>> e <<tempo>> è una molteplicità concreta, misurabile, che egli ottiene quale *risultato* del coordinamento secondo leggi dei singoli punti: per il filosofo, invece, spazio e tempo non significano altro che le forme e i modi, e con ciò i presupposti stessi, di questo coordinare." *Ivi*, cit., pp. 76-77.

<sup>79</sup> Cfr. Avogadro, *Ernst Cassirer, l'ultimo illuminista. 1874-1945*, p.128.

<sup>80</sup> Muovendosi sul piano della meccanica classica, non vi sarebbe modo di giustificare questa differenziazione in quanto fondati sulla concezione di spazio e tempo assoluti.

<sup>81</sup> *Ivi*.

al suo specifico ambito di riferimento e non valido per ogni sfera della realtà) ed evidenziando il ruolo attivo del pensiero nella costruzione del processo di conoscenza<sup>82</sup>. Cassirer scrive:

“la storia della fisica non è così la storia della scoperta di una semplice serie di “fatti”, ma la storia della scoperta di *strumenti concettuali* specifici e sempre nuovi. Ma, tuttavia, in ogni cambiamento di questi strumenti concettuali [...] si conferma altresì l’unità di quei principi metodologici sui quali si fonda la sua stessa problematica. Nell’insieme di questi principi, spazio e tempo hanno una *posizione* stabile, sebbene non vadano intesi come contenuti fissi, riferiti alle cose o alle rappresentazioni”<sup>83</sup>.

Dunque la storia della fisica si costituisce come un costante processo di evoluzione “formale” nel quale viene ricompreso il dato della percezione: entro tale sviluppo la “forma” che determina le relazioni delle misurazioni empiriche non può essere concepita come statica, ma in quanto momento creativo presenta un carattere intrinsecamente dinamico. Il pensiero, rimanendo svincolato dalla dimensione puramente materiale del reale, affina e migliora i propri concetti con i quali tende alla determinazione legale dell’esperienza<sup>84</sup>.

La relatività, differentemente dalla meccanica classica, ha mostrato come l’unità spazio-temporale non sia intrinseca alla realtà e dunque non determinabile a partire dall’esperienza stessa: infatti, tale unità può essere determinata mediante la struttura razionale del pensiero funzionale, che si costituisce come criterio concettuale attraverso cui viene costruito l’ordine spazio-temporale della realtà. Infatti, vi è un principio razionale e formale che determina l’uniformità delle leggi fisiche nonostante la relatività spazio-temporale che emerge nella differenziazione dei vari sistemi di riferimento, i cui dati possono essere tradotti matematicamente in un linguaggio unitario consentendo il passaggio da un sistema all’altro: infatti le teorie di Einstein giungono ad affermare che le leggi fisiche sono invarianti in tutti i sistemi di riferimento.

La stessa concezione di spazio, come mostrato dalla relatività generale, non implica necessariamente una concettualizzazione di tipo euclideo: la geometria dello spazio non

---

<sup>82</sup> “Proprio quando la teoria della relatività viene intesa come una produzione e un risultato del solo pensiero empirico, esso appare, nel contempo, una dimostrazione e una conferma della forza costruttiva che è insita in tale pensiero e per cui il sistema della conoscenza si distingue da una semplice “rapsodia di percezioni”. E. Cassirer, *La teoria della relatività di Einstein*, cit., p. 87.

<sup>83</sup> *Ivi.* pag. 80

<sup>84</sup> *Cfr.* S. Matherne, *Cassirer*, Routledge, New York, 2021.

acquisisce valore assoluto, ma la determinazione dipende dai principi metodologici adottati dalla scienza.<sup>85</sup>

Dunque da una parte la relatività ha mostrato come vi sia un'evoluzione dinamica dei concetti, ma dall'altro lato ha mostrato come vi sono principi formali che costituiscono il quadro metodologico attraverso cui queste trasformazioni acquistano "unità" e coerenza nella rielaborazione teorica: "in ogni cambiamento di questi strumenti concettuali [...] si conferma altresì l'unità di quei principi metodologici sui quali si fonda la sua stessa problematica"<sup>86</sup>, vale a dire che la relatività assunta dai concetti di spazio e tempo, non più fissi e assoluti, privati ormai di ogni "residuo di oggettività fisica", implicano un piano "regolativo" proprio dell'approccio critico della filosofia trascendentale di Kant, che viene hegelianamente *aufgehoben*, conservata e superata all'interno della rivoluzione operata da Einstein: i cosiddetti invarianti, da una parte costituiscono quei principi formali attraverso il quale viene strutturata la realtà e che tuttavia trascendono questa in quanto funzioni razionali, dall'altra non sono rigidi e definiti una volta per tutte, articolandosi inoltre secondo un pluralismo di strutture simboliche con cui viene organizzata la realtà, ognuna secondo il suo specifico ambito, e non prettamente scientifico, comprendendo sfere come etica, estetica e religione<sup>87</sup>. Viene dunque mantenuta l'impostazione trascendentale riorientandola secondo appunto il principio di relatività categoriale, per cui l'oggetto della conoscenza non è mai dato definitivamente ma si configura come ideale regolativo.

Ciò non implica che la teoria della relatività si traduca in un relativismo della conoscenza<sup>88</sup>, poiché questa sancisce definitivamente il passaggio ad una conoscenza oggettiva che non sia più determinata sulla sostanza, ma sulle leggi: la realtà è intesa come funzione categoriale, per cui la conoscenza diviene espressione di una pura funzione, cioè come complesso di relazioni che vanno a costituire l'unità e che non può essere fondata su un sistema privilegiato, come

---

<sup>85</sup> "Il fatto della geometria ha perso il suo tratto di assoluta determinatezza: non abbiamo più di fronte a noi una geometria euclidea, ma una pluralità di sistemi geometrici ugualmente legittimi, che si richiamano tutti alla stessa necessità logica." Cassirer, *La teoria della relatività di Einstein*, cit., p. 17.

<sup>86</sup> *Ivi*, cit., p. 80.

<sup>87</sup> Cfr. M. Friedman, *A Parting of the Ways. Carnap, Cassirer, and Heidegger*, Open Court, Chicago and La Salle, Illinois, 2000, cap.6, pp. 87-110.

<sup>88</sup> "La teoria fisica della relatività, infatti non vuole affatto sostenere che per ognuno è vero quello che gli appare, ma al contrario, avverte di non prendere già per verità nel senso della scienza, cioè per un'espressione della legalità complessiva e definitiva dell'esperienza, fenomeni che valgono solo a partire da un singolo sistema determinato di riferimento." E. Cassirer, *La teoria della relatività di Einstein*, cit., p. 52.

accadeva nella meccanica classica, ma sulla relazione tra le misurazioni della molteplicità dei sistemi di riferimento, unificati “in un *concetto universale di esperienza*”<sup>89</sup>. Infatti Cassirer evidenzia che “l’infinita varietà di sistemi possibili non equivale a un’infinita ambiguità dei valori di misura da rinvenire in essi, in quanto tutti questi sistemi sono riletti e collegati l’uno agli altri da una regola comune”<sup>90</sup>.

La teoria della relatività, in conclusione, rappresenta la piena espressione consapevole di uno slittamento epistemologico nel quale la conoscenza è oggettiva in quanto funzione, e non come riproduzione della realtà, e dunque il passaggio dal concetto-genere al concetto-funzione<sup>91</sup>, di cui Kant si fa portavoce.

Ecco dunque che si può comprendere ora il ruolo della relatività a livello gnoseologico nel pensiero di Cassirer, il quale evidenzia come appunto la teoria di Einstein non contraddica l’impostazione trascendentale di Kant, ma che anzi si ponga in continuità con essa, sviluppandone il nucleo fondamentale; dunque viene “smontata” la tesi di incompatibilità proposta da Heisenberg.

Resta ora da comprendere in che modo Cassirer affronta il principio di indeterminazione di Heisenberg, tema del prossimo capitolo.

---

<sup>89</sup> *Ivi. cit.*, p. 53.

<sup>90</sup> *Ivi. cit.*, p.52.

<sup>91</sup> Raio, *Introduzione a Cassirer*.

## Capitolo 3 - Cassirer e la categoria della causalità

### 1. La causalità come enunciato trascendentale

In questo capitolo verrà analizzata quella che è la posizione di Ernst Cassirer nei confronti della fisica quantistica, in particolare nei confronti del principio di indeterminazione di Heisenberg. Cassirer interpreta tale teoria all'interno del quadro trascendentale di Kant (per come interpretato dall'autore), con lo scopo di dimostrare che gli sviluppi della fisica quantistica non abbiano come esito la "morte" della nozione di causalità e dunque la "morte" della concezione determinista (per cui date specifiche cause, seguono necessariamente determinati eventi) che storicamente si è posta come fondamento di ogni teoria scientifica<sup>92</sup>: è necessario piuttosto pensarne un ricollocamento. Tale operazione dunque si pone in continuità con gli obiettivi epistemologici già delineati nel confronto con la relatività, attraverso la "riesumazione" del pensiero critico di Kant, che sembrava non trovare più posto nella rivoluzione scientifica del Novecento.

Il principio di indeterminazione di Heisenberg infatti evidenzia come all'interno del processo di misurazione nel mondo microscopico sia impossibile stabilire contemporaneamente velocità e posizione di una particella atomica: il grado di imprecisione nella misurazione del valore di una delle due grandezze è direttamente proporzionale al grado di precisione nella determinazione del valore dell'altra grandezza<sup>93</sup>: "grazie alla sua profonda analisi critica

---

<sup>92</sup> "Nel caso della fisica, una teoria deterministica è una teoria che descrive lo stato di un sistema fisico mediante l'assegnazione, a un dato istante  $t$  considerato "iniziale", di valori determinati a certe grandezze fissate, dette *variabili di stato* e che, sulla base delle equazioni dinamiche che governano tali variabili, è in grado di specificare l'evoluzione del sistema in ogni possibile istante. Nel caso tipico della meccanica newtoniana, dato uno stato iniziale del sistema all'istante  $t$ , specificato da valori determinati di posizione e velocità, la soluzione dell'adeguata equazione del moto esiste ed è per unica per ogni istante  $t'$  diverso da  $t$ ". Laudisa, *La realtà al tempo dei quanti. Einstein, Bohr e la nuova immagine del mondo*, cit., p. 33.

<sup>93</sup> "Non stupirà che le conclusioni di Heisenberg abbiano gettato ulteriore scompiglio nella comunità scientifica e abbiano immediatamente destato l'interesse più vivo di tutti i brillanti pensatori che erano attivamente impegnati a chiarire il senso dei formalismi che erano stati elaborati da poco ma che, per la loro carica rivoluzionaria, non erano stati ancora pienamente compresi." G.C. Ghilardi, *Un'occhiata alle carte di Dio. Gli interrogativi che la scienza moderna pone all'uomo*, il Saggiatore, Milano, 2015, cit. p. 64.

Heisenberg ha potuto concludere che esiste un limite invalicabile alla precisione con cui possono misurarsi coppie di variabili quali la posizione e la velocità che costituiscono i prototipi delle cosiddette variabili incompatibili<sup>94</sup>. Dunque i principi della meccanica classica all'interno del mondo quantistico vengono svuotati del proprio valore epistemologico, in quanto il loro statuto determinista che consente la formulazione di previsioni certe a partire da specifiche premesse, non ha alcuna validità nella realtà sub-atomica; nella meccanica classica, posizione e velocità, considerate come grandezze indipendenti, possono essere misurate simultaneamente con un certo grado di accuratezza<sup>95</sup>.

Sembra dunque essere la fine per la nozione di causalità all'interno della fisica moderna: “il limite di precisione menzionato sopra, che è imposto dalla natura, ha l'importante conseguenza che in un certo senso cessa di essere valida la legge di causalità”<sup>96</sup>. Cassirer ritiene invece che un'idea di questo tipo sia erronea: egli sottopone tale concetto a una serrata analisi, nella quale arriva a definire la causalità come un enunciato trascendentale.

L'autore prende innanzitutto le distanze rispetto al determinismo metafisico elaborato da Laplace, il quale “ha dipinto l'immagine di uno spirito onnisciente che avesse una conoscenza perfetta di un determinato stato del mondo in un dato momento e per il quale il mondo nella sua interezza fosse al contempo determinato completamente in ogni singolo tratto della sua esistenza e del suo svolgimento”<sup>97</sup>. Tale spirito coincide con un modello di intelletto archetipico dotato di una conoscenza onnisciente e priva di incertezze, per cui “futuro e passato sarebbero ugualmente chiari di fronte al suo sguardo”<sup>98</sup>. Entro tale concezione, l'universo è concepito come meccanicistico e risulta dunque rigidamente determinato; muovendosi da una prospettiva di questo tipo, l'elemento della libera scelta si configura come illusoria.

L'uomo, in virtù della propria imperfezione dovuta alla propria natura finita, non può accedere integralmente a una simile conoscenza assoluta (propria solo dello spirito onnisciente); questa si istituisce dunque come modello regolativo al quale l'individuo deve

---

<sup>94</sup> *Ibid.*

<sup>95</sup> Cfr. Cosmelli, *Fisica per filosofi*.

<sup>96</sup> Così David Cassidy in *Un'estrema solitudine. La vita di Werner Heisenberg* riporta le parole di Heisenberg nel cap. 12 a p. 250. La citazione, così egli riporta nelle note, è tratta dal testo di Werner Heisenberg “*Über die Grundprinzipien der “Quantenmechanik”* in “*Forschungen und Fortschritte*”, III (1927), p. 83 (HCW, C1, p. 21).

<sup>97</sup> Cassirer, E. *Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik. Historische und systematische Studien zum Kausalproblem*, Gotebörg, 1937; a cura di G. Borbone, *Determinismo e indeterminismo nella fisica moderna. Studi storici e sistematici sul problema della causalità*, Mimesis Edizioni, Milano-Udine, 2020, cit., p. 86.

<sup>98</sup> *Ibid.*

tendere tramite un sapere di carattere probabilistico. Tale teoria, secondo Cassirer, viene sistematizzata ed estremizzata da Emil du Bois-Reymond, il quale osserva che “non appena dal mondo degli atomi entriamo nel mondo dello “spirituale” della coscienza, il nostro sapere si dissolve nel nulla”<sup>99</sup>. All’interno della concezione meccanicistica di Laplace non vi è il riconoscimento di un limite intrinseco alla conoscenza, quanto piuttosto il riconoscimento dei limiti dell’uomo derivanti dalla sua natura finita (limiti che non appartengono a un intelletto onnisciente); d’altro canto Emil du Bois-Reymond, pur muovendosi all’interno della visione deterministica del predecessore, compie un passo ulteriore: se da una parte egli ritiene possibile (almeno in linea di principio) giungere alla risoluzione delle “incognite” relative al mondo materiale attraverso l’indagine scientifica, dall’altra ritiene sia strutturalmente impossibile accedere alla conoscenza della realtà “spirituale”.

Vi è in tal senso per Cassirer una radicalizzazione delle tesi di Laplace: la conoscenza di ciò che trascende la dimensione dell’esperienza materiale resta originariamente ed essenzialmente inconoscibile; “l’*ignorabimus* è l’unica risposta che la scienza naturale è in grado di dare alla questione dell’essenza e dell’origine della coscienza”<sup>100</sup>. Le posizioni di Laplace e di Emil du Bois-Reymond, dunque, si estendono arbitrariamente oltre i confini dell’esperienza sensibile, rappresentando “un esempio di ipostasi metafisica derivante da un cattivo uso della ragione”<sup>101</sup>. Cassirer dunque si richiama nuovamente a Kant, recuperando e rielaborando la concezione del concetto di causalità proposta dal “padre” della filosofia trascendentale. Scrive l’autore:

“[...] il punto di partenza e la prima esigenza di Kant consistettero per l’appunto nel non riferire la questione critica direttamente alle cose, ma piuttosto alla *conoscenza*. E’ questa la svolta e la conversione metodica che egli vuole esprimere e fissare nel suo fondamentale concetto di “trascendentale”. Il principio di causalità [...] non è altro che una determinata indicazione, la quale serve a “sillabare i fenomeni per poterli leggere come esperienze”<sup>102</sup>.

Secondo l’interpretazione che Cassirer offre di Kant, il principio di causalità non è dunque parte del contenuto dell’esperienza stessa, ma risulta essere sua condizione di possibilità; la realtà si costruisce secondo schemi causali per cui è possibile “riferire i fenomeni ad un

---

<sup>99</sup> *Ivi*, cit., p. 87.

<sup>100</sup> *Ibid.*

<sup>101</sup> Così sintetizza la tesi di Cassirer G. Borbone nell’introduzione a *Determinismo e indeterminismo nella fisica moderna. Studi storici e sistematici sul problema della causalità*.

<sup>102</sup> *Ivi*, cit., p. 102.

“oggetto” solo nella misura in cui è possibile inserirli in un ordinamento legale”<sup>103</sup>. Ciò significa che la conoscenza non si fonda sull'immediatezza dei dati empirici, ma sull'oggettivazione di questi secondo criteri concettuali.

## 2. Il nuovo modello di scienza

Secondo Cassirer, il merito di Kant è quello dunque di slacciarsi da concezioni metafisiche o naturalistiche, che svuoterebbero il carattere aprioristico della causalità. Tale recupero della filosofia critica di Kant si interseca indissolubilmente con quella che è la concezione della scienza (funzionalista) di Cassirer: seguendo “il processo di formazione dei concetti fisici stessi, forse potremo attenderci e sperare di scoprire in esso certe determinazioni fondamentali invarianti rispetto al mutamento dei vari sistemi gnoseologici di riferimento”<sup>104</sup>. Risulta dunque necessario profilare la distinzione tra i vari enunciati fisici.

Le prime forme di enunciati presi in esame dall'autore sono quelli di misura, i quali consentono di svincolarsi rispetto alla mera rappresentazione asettica della realtà legata a una semplice esaltazione dell'apparato sensoriale dell'uomo. Gli organi percettivi rappresentano la prima forma di relazione nei confronti della realtà; si tratta tuttavia di una conoscenza estremamente limitata, in quanto concerne solo il dato esperienziale per come esso si presenta all'individuo, secondo una modalità puramente riproduttiva. Gli enunciati di misura costituiscono la prima forma di sistematizzazione scientifica della realtà, una sorta di filtro in grado di consentire quel “passaggio decisivo che dal mondo del “dato” ci porta nel mondo della conoscenza scientifica della natura, dal “mondo sensibile” al “mondo fisico”<sup>105</sup>. Si istituiscono dunque come la prima e consapevole forma di interpretazione fisica della realtà; questa assume valenza e carica scientifica secondo una modalità cognitiva fortemente valutativa<sup>106</sup>.

Ciò si può comprendere in riferimento al quadro funzionalista di Cassirer, che svuota di significato la visione sostanzialista della realtà a favore di quelle costruzioni ideali rappresentate dai cosiddetti “concetti”, che in quanto funzioni non sono una semplice copia del reale, ma al

---

<sup>103</sup> *Ivi*, cit., p. 103.

<sup>104</sup> *Ivi*, cit., p. 114.

<sup>105</sup> *Ivi*, cit., p. 115.

<sup>106</sup> Nell'introduzione a *ivi*, Borbone si esprime nei suddetti termini: “il ponte che viene gettato tra dati osservativi e misurazioni non si traduce solamente in un potenziamento dei nostri sensi per il tramite delle nostre apparecchiature fisiche [...]; piuttosto, tale rapporto consiste in una deliberata *deformazione* della realtà fisica ad opera di *idealizzazioni* sistematiche.” Cit., p. 43.

contrario consentono un'organizzazione e rielaborazione critica del mondo nel tentativo di produrre l'unità dei fenomeni: entro tale concezione, la scienza non si fonda sulla sfrenata esaltazione del dato empirico in sé.

Da ciò risulta l'impossibilità di assolutizzare i singoli enunciati di misura nella loro autonomia, ossia svincolati dalla correlazione intrinseca che li lega: "tutti gli enunciati della fisica si determinano a vicenda: si condizionano e si sorreggono reciprocamente e la loro 'verità' specifica sta appunto in questa connessione correlativa"<sup>107</sup>. Infatti, scrive ancora Cassirer, "in *nessun* campo la conoscenza si risolve in una pura e semplice raccolta di verifiche individuali, di enunciati sul qui ed ora, tanto meno nel campo della fisica"<sup>108</sup>.

Gli enunciati che costituiscono la condizione di possibilità per la costruzione di questa correlazione tra gli enunciati di misura<sup>109</sup> (nel tentativo di andare a produrre l'unità della conoscenza scientifica) sono gli enunciati di legge, cioè "l'unica e sola via ammissibile per connettere l'individuale al tutto e fondere il tutto con l'individuale e quindi creare fra loro quella "armonia" che costituisce il fine ultimo di tutta la conoscenza della natura"<sup>110</sup>. Tuttavia la conoscenza scientifica non si esaurisce all'interno di questa tipologia di enunciati: infatti, se da una parte gli enunciati di legge consentono un certo grado di generalizzazione, dall'altra possiedono "una loro articolazione interna – un ordinamento in gradi superiori ed inferiori che si tratta di scoprire e dimostrare"<sup>111</sup>.

Scrivendo ancora Cassirer: "la ricerca fisica non si accontenta mai di sintetizzare fatti osservati in leggi e di collocare le une *accanto* alle altre in un certo ordine. Si chiede come le leggi scaturiscano le une *dalle* altre; ricerca una regola dalla cui variazione il pensiero sia condotto da una legge all'altra"<sup>112</sup>.

---

<sup>107</sup> *Ivi*, cit., pp. 120-121. Cassirer inoltre aggiunge che "vi è solo un coordinamento funzionale in cui tutti gli elementi, tutti i fattori della verità fisica hanno parimenti la loro parte. Pertanto, i gradi 'superiori' sono già impliciti e, per certi aspetti presupposti nei gradi 'inferiori'", cit., p.120.

<sup>108</sup> *Ivi*, cit., p. 121.

<sup>109</sup> "Il semplice "qui-così" contenuto nei singoli enunciati di misura, negli enunciati di legge conosce invece una trasformazione caratteristica: si converte in "se-allora". E questo "se-allora", questo giudizio ipotetico *se x allora y*, non si associa più a semplici grandezze singole da noi pensate come appartenenti a determinati punti spaziotemporali e in essi localizzate, piuttosto concerne intere *classi* di grandezze che in genere constano di infiniti elementi". *Ivi*, cit., p. 127.

<sup>110</sup> *Ivi*, cit., p. 124.

<sup>111</sup> *Ivi*, cit., pp. 130-131.

<sup>112</sup> *Ivi*, cit., p. 133.

Gli enunciati di principi rispondono esattamente a questa necessità, in quanto quadro epistemologico tramite cui vengono individuate e formulate le leggi: a differenza di quest'ultime, “non riguardano direttamente i fenomeni, ma piuttosto la forma delle leggi secondo cui ordiniamo questi fenomeni. Pertanto, un autentico principio [...] è per così dire, una matrice dalla quale possono nascere sempre nuove leggi di natura”<sup>113</sup>.

Entro tale contesto, la causalità è intesa come un principio<sup>114</sup> e dunque si può comprendere pienamente perché non possa essere intesa come un enunciato metafisico, né tantomeno come enunciato sulla natura: resta da definirne lo statuto epistemologico. Scrive Cassirer:

“Ma cosa resta della causalità se non possiamo intenderla né immediatamente come enunciato sulla natura, né come enunciato metafisico, ovvero come un enunciato sul mondo delle “cose assolute”? La si può intendere soltanto come un enunciato “trascendentale” che riguarda non tanto gli oggetti, quanto piuttosto la nostra conoscenza degli oggetti in generale. Anziché come un enunciato diretto sulle cose, essa va concepita come un enunciato sulla conoscenza empirica delle cose, sull’esperienza. [...] L’esperienza si mostra come *momento* definiente dell’oggettività – e le sue condizioni si presentano dunque *eo ipso* come condizioni di possibilità degli oggetti dell’esperienza<sup>115</sup>”.

Si può comprendere a questo punto l’operazione di recupero delle tesi di Kant da parte di Cassirer, per cui il principio di causalità si costituisce come principio regolativo in grado di ordinare le connessioni dell’esperienza secondo il suo ordinamento legale e unitario: risulta dunque un principio metodologico che si costituisce come presupposto a priori<sup>116</sup>. La realtà viene dunque riorganizzata mediante tale principio che Cassirer definisce come “postulato del pensiero empirico”: la legalità nei fenomeni “costituisce il primo prodotto della comprensione della natura per il tramite del pensiero. Ciò che chiamiamo “causa” si può intendere e giustificare solo in questo senso. [...]. Il *cercare* leggi sempre più generali è un tratto fondamentale, un principio regolativo del nostro pensiero. E’ appunto questo principio

---

<sup>113</sup> *Ivi*, cit., p. 141. Per sintetizzare quella che è la sua “classificazione”, si possono riprendere le parole di Cassirer a p. 142: “Si può dire che gli enunciati di misura sono individuali, gli enunciati di legge sono generali ed i principi sono universali”.

<sup>114</sup> “La differenza tra enunciati di principi – pur così universali – ed il principio di causalità resta indelebile”. *Ivi*, cit., p. 145. Cassirer scrive ancora: “bisogna riconoscere che il principio causale non è una “legge di natura” nel senso usuale dell’espressione”. *Ibid.*

<sup>115</sup> *Ivi*, cit., pp. 147-148.

<sup>116</sup> *Cfr.* T. Ryckman, *Cassirer and Dirac on the Symbolic Method in Quantum Mechanics: A Confluence of Opposites*, *Journal for the History of Analytical Philosophy*, vol. 6, n.3, 2018, pp. 231-232.

regolativo [...] ciò che noi chiamiamo legge di causalità. In questo senso essa è una legge data a priori, trascendentale: d'altra parte non è possibile fornirne una prova a partire dall'esperienza<sup>117</sup>”.

Il principio di causalità dunque va a costituirsi come una diversa forma di enunciato fisico rispetto a quelli precedentemente delineati, in quanto consente una riorganizzazione sistematica di questi negandone una possibile assolutizzazione in termini sostanzialistici<sup>118</sup>: il sapere scientifico è strutturato secondo una stratificazione di enunciati la cui correlazione viene giustificata dal principio di causalità, centro di questa costruzione concepita come sfera concentricamente stratificata. Tale immagine sferica rappresenta le relazioni funzionali tra le varie formulazioni fisiche<sup>119</sup>.

Entro tale contesto, si assiste nuovamente a una relativizzazione dell'a priori kantiano: da una parte viene mantenuta l'impostazione critica di Kant in quanto il principio di causalità risulta essere un enunciato trascendentale (e dunque relativo alla conoscenza e non riferito direttamente alle cose), dall'altra tale assetto viene reinterpretato in termini dinamici sulla base di quelli che sono gli sviluppi della scienza moderna, “che mettevano in luce la struttura plastica e mobile della fisica, piuttosto che la sua fissità<sup>120</sup>”. Dunque nella lettura di Cassirer non viene negato l'aspetto trascendentale di Kant, ma ne viene rielaborata l'immutabilità a favore di una struttura concettuale più flessibile che si declina in termini regolativi; in tal modo procede di pari passo con quelli che sono gli sviluppi della conoscenza scientifica e si può comprendere pienamente il significato epistemologico della definizione della causalità come “principio regolativo”.

In quanto enunciato trascendentale concepito nei termini suddetti, il principio di causalità non viene negato dagli sviluppi della meccanica quantistica, che non va dunque a confluire in un indeterminismo sfrenato. Se da una parte secondo Cassirer “Heisenberg afferma chiaramente

---

<sup>117</sup> Cassirer, *Determinismo e indeterminismo nella fisica moderna*, cit., p. 152.

<sup>118</sup> “Il principio causale appartiene per noi ad un nuovo tipo di enunciati fisici, giacché è un enunciato ‘su’ determinazioni di misura, ‘su’ leggi e principi: esso stabilisce che tutti questi momenti si possono riferire e collegare gli uni sugli altri, in modo tale che da questo collegamento risulti un *sistema della conoscenza fisica* e non un semplice aggregato di conoscenze isolate”. Cassirer, cit., p. 149.

<sup>119</sup> Cfr. Ryckman, *Cassirer and Dirac on the Symbolic Method in Quantum Mechanics: A confluence of Opposites*. A p. 231 scrive: “The structure is “not a pyramid” but a Parmenidean “well-rounded sphere of onion-like concentric layers in which distinct types of physical statement emanate outward. The spherical image, while spatial, is to be interpreted as standing for the functional relations between the different kinds of statements”.

<sup>120</sup> Cfr. Borbone, introduzione a Cassirer, *Determinismo e indeterminismo nella fisica moderna*, p. 49.

che con esse [le relazioni di indeterminazione] si dimostra la non validità della legge causale<sup>121</sup>”, dall’altra ritiene che “se esprimiamo il postulato della causalità soltanto mediante il postulato generale della legalità, allora le relazioni di indeterminazione di Heisenberg non costituiscono affatto un’istanza ad esso contraria”<sup>122</sup>, ma che anzi se “intese correttamente portano ad un raffinamento del concetto piuttosto che alla sua eliminazione”<sup>123</sup>.

Infatti bisogna tenere in considerazione il processo di sviluppo della fisica, il cui oggetto non si pone mai come definitivo, ma è sottoposto a un continuo rinnovamento concettuale<sup>124</sup>; dunque con il principio di indeterminazione si assiste a un profondo mutamento epistemologico che tuttavia non determina l’abbandono dei principi della fisica classica. Una simile visione è frutto di un’errata concezione sostanzialista della realtà, secondo cui “vi era un essere rigidamente determinato, che possedeva certe qualità costanti e che entrava con un altro essere in determinate relazioni espresse dalle leggi di natura”<sup>125</sup>; ciò significa che era l’oggetto (cioè la realtà), concepito nella sua assolutezza come dimensione a sé stante, a determinare le leggi.

Con la svolta funzionalista proposta da Cassirer, viene superato questo “residuo ontologico del reale”<sup>126</sup> secondo cui pensiamo la natura “come soggetta a leggi rigorose ed inesorabili a cui non può sfuggire”<sup>127</sup>; infatti la scienza si fonda sulle relazioni funzionali dei fenomeni, e dunque su una dinamica di concettualizzazione dell’oggetto<sup>128</sup>. A sostegno delle proprie tesi, Cassirer scrive:

---

<sup>121</sup> *Ivi*, cit., p. 212.

<sup>122</sup> *Ivi*, cit., p. 221.

<sup>123</sup> *Ivi*, cit., p. 228.

<sup>124</sup> “Nella sua totalità, l’oggetto della conoscenza si costituisce nel suo progressivo sviluppo, non è mai dato in via definitiva e la sua realtà risiede nell’infinità del progresso possibile. Si tratta cioè di un’unità processuale ideale, un’idea regolativa”. Avogadro, *Ernst Cassirer, l’ultimo illuminista. 1874-1945*, cit., p. 39.

<sup>125</sup> Cassirer, *La teoria della relatività di Einstein*, cit., p. 231.

<sup>126</sup> La tesi di Cassirer “è che – sul piano della logica come in quello della matematica e della scienza della natura – nel corso degli ultimi secoli sia già affermata un’altra tipologia di prospettiva fondamentale che tende, in ultima analisi, alla completa risoluzione della categoria di sostanza in quella di funzione e propone di attuare senza residui questa svolta anche sul piano strettamente ontologico, cancellando così l’ontologia nella sua accezione più tradizionale”. Avogadro, *Ernst Cassirer, l’ultimo illuminista. 1874-1945*, cit., p. 68.

<sup>127</sup> Cassirer, *Determinismo e indeterminismo nella fisica moderna*, p. 216.

<sup>128</sup> La radicale differenza che sussiste tra la categoria di sostanza e le relazioni funzionali, è che queste garantiscono maggiore precisione in quanto “non sono indipendenti dal pensare essendo il prodotto del pensiero stesso”. *Storia del pensiero filosofico e scientifico. Volume settimo: il Novecento (I)*, Garzanti, Milano, 1981, cit., p.135.

“Il concetto di legge *precede* adesso quello di oggetto [...]. Nella prospettiva funzionale, questo essere [l’essere rigidamente determinato della visione sostanzialista] non costituisce più il punto di partenza di per sé ovvio, quanto invece il punto finale e d’arrivo dell’osservazione: da *terminus a quo* esso è diventato il *terminus ad quem*. Noi non *possediamo* più un essere a sé stante, assolutamente determinato, dal quale poter cogliere le leggi direttamente a cui possiamo “fissarle” come suoi attributi. Ciò che veramente costituisce il contenuto della nostra conoscenza empirica è piuttosto l’insieme delle osservazioni che raccogliamo in ordini definiti e che, secondo questo ordine, può essere rappresentato dai concetti teorici di legge”<sup>129</sup>.

Dunque, se il modello classico della fisica si limitava all’elaborazione di leggi in grado di riprodurre il reale, nella meccanica quantistica le relazioni tra i dati vengono rielaborate criticamente in enunciati formali “e al di fuori di questi non esiste per noi alcuna realtà oggettiva da cercare per poi indagarla”<sup>130</sup>.

La fisica quantistica esemplifica in maniera lampante tale svolta funzionalista operata dalla scienza. L’indeterminatezza che si annida negli enunciati di misura nelle relazioni di indeterminazione di Heisenberg non si traduce in un’ipotetica “inesattezza” di questa: rispetto al modello della fisica classica, la precisione dell’atto di misurazione è relativo al calcolo probabilistico circa la possibilità che avvengano determinati accadimenti, non nella loro individualità, ma all’interno di un sistema funzionale e non isolato; tuttavia ciò non implica una possibile “dissoluzione del reale” nella quale non esisterebbero fatti oggettivi, ma anzi ne costituisce il “compimento”<sup>131</sup>, in quanto “c’è “oggettività” o “realtà effettuale” nella misura in cui si dà legalità – non viceversa”<sup>132</sup>. Dunque, la determinazione dei valori di misurazione secondo equazioni fondate su campi di probabilità non implica che vi sia un’assoluta indeterminazione degli enunciati quantistici: vi sono infatti rigorosi principi formali all’interno del quale vengono elaborate specifiche leggi funzionali in grado di garantire massima validità e oggettività dei giudizi particolari che vengono elaborati<sup>133</sup>.

---

<sup>129</sup> Cassirer, *Determinismo e indeterminismo nella fisica moderna*, cit., pp. 231-232.

<sup>130</sup> *Ivi*, cit., p. 232.

<sup>131</sup> “La certezza [...] non verrebbe abolita laddove si dovesse dimostrare che ciò che accade nella fisica atomica non può più essere rappresentato da leggi dinamiche di tipo “classico” ma soltanto da leggi statistiche”. *Ivi*, cit., p. 217.

<sup>132</sup> *Ivi*, cit., p. 232.

<sup>133</sup> Cfr. P.A. Schlipp, *The philosophy of Ernst Cassirer*, The Library of Living Philosophers, Inc., Evanston, Illinois, 1949.

Lo stesso principio di indeterminazione sottende quindi costanti universali dal carattere causale, nella sua accezione semantica più rigida e deterministica<sup>134</sup>: all'interno di tale quadro metodologico, sono stati elaborati strumenti concettuali in grado di rispondere alle nuove esigenze della scienza andando a ridefinire i fondamenti della categoria della causalità. In tal senso, "l'equazione di Schrödinger, lo schema quadratico di Heisenberg, la meccanica delle matrici di Born e Jordan, i numeri di Dirac sono i mezzi concettuali con i quali diventa possibile una rigorosa correlazione delle grandezze osservabili"<sup>135</sup>. Per Cassirer non hanno senso di esistere quelle correnti che vanno a negare il principio di causalità; bisogna piuttosto considerarne e analizzarne il rinnovato statuto epistemologico. Dunque la meccanica classica e la meccanica quantistica non costituiscono l'uno la negazione dell'altro: sono infatti entrambe valide in relazione al loro differente oggetto di riferimento; nel caso delle teorie di Heisenberg l'oggettività si realizza all'interno del campo di osservabilità e non al di fuori di questo:

"la risposta che la natura ci fornisce non viene esclusivamente da essa; essa è determinata, al contempo, dal tipo di domanda che le rivolgiamo e dai mezzi di osservazione scelti [...]. Che cosa sia la "cosa" in senso assoluto - al di fuori delle circostanze di osservazione realizzabili nelle varie serie di esperimenti - è una domanda per la quale non riceviamo alcuna risposta<sup>136</sup>".

Dunque, in conclusione, ciò che emerge è che il principio di indeterminazione non comporta in realtà una svalutazione del concetto di causa, in quanto la crisi che scaturisce da tale rivoluzione riguarda la difficoltà nel definire le nuove funzioni e non una messa in discussione delle categorie kantiane<sup>137</sup>: pertanto, la causalità rappresenta un principio formale regolativo che pone in evidenza l'intreccio che sussiste tra i vari giudizi fisici. Questi non vengono assolutizzati nella loro autonomia ma nella loro correlazione funzionale, andando a produrre quell'unità della conoscenza scientifica che si presenta come concetto-limite mai integralmente raggiungibile; infatti si modella dinamicamente in rapporto al progresso della scienza, che richiede un costante adeguamento concettuale in risposta alle esigenze che vanno a svilupparsi

---

<sup>134</sup> Cassirer in *Determinismo e indeterminismo nella fisica moderna* propone alcuni esempi: "la velocità della luce, la carica o la massa di un elettrone, la massa di un protone, e così via, vengono considerate grandezze determinate in senso assoluto che hanno sempre lo stesso valore fisso". Cit., p. 219.

<sup>135</sup> *Ivi*, cit., p. 227.

<sup>136</sup> *Ivi*, cit., p. 301.

<sup>137</sup> Ryckman, in *Cassirer and Dirac on the Symbolic Method in Quantum Mechanics: A Confluence of Opposites*, ritiene che non vi sia una crisi del concetto di causalità, ma "di visualizzazione" ("the so-called "crisis of the causal concept" has far more to do with a "crisis of visualization"). Cit., p. 232.

nel corso del tempo. Entro il quadro quantistico, le relazioni di indeterminazione richiedono una trasformazione del principio di causalità: in questo campo, le condizioni iniziali (da cui seguono necessariamente determinati effetti) sono vincolate a un insieme di valori conoscitivamente determinabili, in rapporto a quelle che sono le limitazioni imposte dal mondo subatomico. La causalità assume una valenza regolativa e metodologica nella formazione dei concetti attraverso il quale viene strutturata l'esperienza: non viene abolita, né negata, ma riadattata a quelle che sono le implicazioni derivanti dallo sviluppo della scienza<sup>138</sup>.

Dunque per Cassirer la fisica quantistica, contrariamente a quanto riteneva Heisenberg, non va a negare l'impostazione trascendentale di Kant, che anzi grazie alla rivoluzione scientifica del Novecento ha modo di "risorgere" sotto nuove vesti, acquisendo nuova linfa vitale.

---

<sup>138</sup> "Le relazioni di indeterminazione non spezzano [...] il ponte tra teoria dei quanti e il principio di causalità [...]. Esse rappresentano solo una 'rettifica' [...] della forma logico-proposizionale 'se  $x$  allora  $y$ ', introducono una condizione restrittiva nel primo elemento della relazione proposizionale: i valori dell'argomento  $x$  devono essere valori ammissibili". Raio, *Introduzione a Cassirer*, cit., p. 148. L'autore evidenzia come Cassirer introduca in tal senso l'espressione "determinismo quantistico".



## Conclusione

Questo lavoro di tesi ha messo in evidenza come la rivoluzione scientifica del XX secolo (in particolare il principio di indeterminazione di Heisenberg e la relatività di Einstein) abbia radicalmente trasformato le categorie di spazio, tempo e causalità, che fino ad allora costituivano i capisaldi fondamentali della riflessione filosofica e scientifica.

Si è mostrato tuttavia come tale mutamento epistemologico non abbia sancito il declino e l'abbandono definitivo della filosofia trascendentale di Kant, abbandono che sembrava essere inevitabile. A salvare Kant da un infausto destino ci pensa Cassirer, il quale mostra il rapporto strutturale e inscindibile che sussiste tra fisica e filosofia, fondato sul rinnovamento continuo degli strumenti concettuali attraverso cui queste discipline esercitano le proprie funzioni. All'interno di questo caos gnoseologico ed epistemologico, tramite la reinterpretazione del pensiero di Kant, Cassirer individua un punto archimedeo che permette di evidenziare come entro tale presunta indeterminazione e relatività scientifica vi sia la possibilità di una conoscenza oggettiva. In particolare, per quanto riguarda la teoria della relatività, si è mostrato come Cassirer abbia interpretato le strutture formali invarianti della teoria di Einstein secondo la loro funzione trascendentale; esse costituiscono il quadro entro il quale è possibile fornire una descrizione oggettiva dei fenomeni. In tal modo la relatività di spazio e tempo viene ricondotta a un principio ordinatore trascendentale, seppur dal carattere dinamico e non rigido come invece era per Kant. Per quanto riguarda invece il principio di indeterminazione, Cassirer ha mostrato come esso non comporti l'abbandono della nozione di causalità, bensì una sua ridefinizione; la causalità non viene più intesa come principio costitutivo della natura in senso deterministico, ma come principio regolativo della conoscenza. Tale categoria viene dunque ricondotta entro un quadro formale dal carattere probabilistico: ciò non determina l'impossibilità della formazione di una conoscenza oggettiva, ma anzi ne assicura l'attuabilità all'interno del mondo microscopico, pur riconoscendo tutti i limiti conoscitivi che questo tipo di realtà impone.

In conclusione, Cassirer ha mostrato la contemporaneità e la fecondità del pensiero di Kant, che non viene demolito dalla rivoluzione scientifica del Novecento, ma rielaborato in continuità con le teorie di Heisenberg ed Einstein, secondo un fruttuoso dialogo che consente un suo rinnovamento entro l'incessante cammino della conoscenza verso un'unità ideale. Cassirer mostra dunque come scienza e filosofia debbano sottoporre a continua interrogazione i propri

strumenti concettuali, i quali devono essere sempre rinnovati in risposta alle esigenze che emergono ineluttabilmente nel tortuoso percorso di costruzione della conoscenza.

## ***Bibliografia***

### LETTERATURA PRIMARIA

- Cassirer, E. *Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik. Historische und systematische Studien zum Kausalproblem*, Gotebörg, 1937; a cura di G.Borbone, *Determinismo e indeterminismo nella fisica moderna. Studi storici e sistematici sul problema della causalità*, Mimesis Edizioni, Milano-Udine, 2020.
- Cassirer, E., *Substanzbegriff und Funktionsbegriff*, Berlino, 1910; *Zur Einstein'schen Relativitätstheorie*, Berlino, 1920; trad. it. di E. Arnaud e G.A. De Toni, *Sostanza e funzione. Sulla teoria della relatività di Einstein*, La Nuova Italia, Firenze, 1973.
- Cassirer, E., *Zur Einsteischen Relativitätstheorie. Erkenntnistheoretische Betrachtungen*, Berlino, 1921; trad. it. di N.Zippel, *La teoria della relatività di Einstein*, Castelvecchi editore, Roma, 2015.
- Einstein, A., *Physics and Reality*, contenuto in *Out of My Later Years*, Philosophical Library, New York, 1950; trad. it. di L. Bianchi, *Fisica e realtà*, Bollati Boringhieri editore, Torino, 2025.
- Einstein, A., *Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie (gemeinverständlich)*, Hebrew University of Jerusalem, 1959; trad.it. di V. Geymonat, *Relatività. Esposizione divulgativa*, Bollati Boringhieri editore, Torino, 2015<sup>2</sup>.
- Galileo, G., *Dialogo sopra i due massimi sistemi*; a cura di L. Sosio, Einaudi, Torino, 1970.
- Heisenberg, W., *Physics and philosophy*, 1958; trad. it. di G. Gignoli, *Fisica e filosofia*, il Saggiatore, Milano, 2023<sup>3</sup>.
- Heisenberg, W., Schrödinger, E., Born, M., Auger, P., *Discussione sulla fisica moderna*, trad. dal tedesco e dal francese di Verson, A., Bollati Boringhieri editore, Torino, 1959.
- Kant, I., *Kritik der reinen Vernunft*; a cura di P. Chiodi, *Critica della ragion pura* UTET, Torino, 1967.
- Newton, I., *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*; a cura di A.Pala, *Principi matematici della Filosofia naturale*, Classici U.T.E.T., Torino, 1965.

### LETTERATURA SECONDARIA

- Agazzi, E., *Scientific Objectivity and its Contexts*, Svizzera, 2014; trad. it. di G. Carozzini, E. Scolozzi, G. Santi, *L'oggettività scientifica e i suoi contesti*, Bompiani, Milano, 2018.

- Avogadro, F., *Ernst Cassirer, l'ultimo illuminista. 1874-1945*, Carocci editore S.p.A., Roma, 2024.
- Baroni, S., *Capire il tempo e lo spazio. Un viaggio nella relatività di Einstein*, independently published, 2021.
- Bellone, E., *Albert Einstein. Relativamente a spazio e tempo*, Gruppo Editoriale L'Espresso, Roma, 2012.
- Cappelletti, V., *Dall'ordine alle cose. Saggio su Werner Heisenberg*, Editoriale Jaca Book, Milano, 2001.
- Cassidy, D. C., *Uncertainty. The Life and Science of Werner Heisenberg*, New York, 1992;  
*Un'estrema solitudine. La vita e l'opera di Werner Heisenberg*, trad. it. di L. Sosio, Bollati Boringhieri editore, Torino, 1996.
- Cosmelli, C., *Fisica per filosofi*, Carocci editore, Roma, 2021.
- Friedman, M., *A Parting of the Ways. Carnap, Cassirer, and Heidegger*, Oper Court, Chicago and La Salle, Illinois, 2000, cap.6, pp. 87-110.
- Geymonat, L., *Storia del pensiero filosofico e scientifico. Volume settimo: il Novecento (I)*, Garzanti, Milano, 1981, cap. sesto, pp. 131-142.
- Ghilardi, G.C., *Un'occhiata alle carte di Dio. Gli interrogativi che la scienza moderna pone all'uomo*, il Saggiatore S.r.l., Milano, 2015.
- Laudisa, F., *La realtà al tempo dei quanti. Einstein, Bohr e la nuova immagine del mondo*, Bollati Boringhieri editore, Torino, 2019.
- Lederman, L. M., Hill, C. T., *Quantum Physics for Poets*, 2011; trad. it. di Civalleri L., *Fisica quantistica per poeti*, Bollati Boringhieri editore, Torino, 2013.
- Matherne, S., *Cassirer*, Routledge, New York, 2021.
- Raio, G., *Introduzione a Cassirer*, Editori Laterza, 1991, Roma-Bari.
- Rovelli, C., *Sette brevi lezioni di fisica*, Adelphi Edizioni, Milano, 2014.
- Rovelli, C., *Helgoland*, Adelphi Edizioni, Milano, 2020.
- Ryckman, T., *Cassirer and Dirac on the Symbolic Method in Quantum Mechanics: A Confluence of Opposites*, Journal for the History of Analytical Philosophy, vol. 6, n.3, 2018.
- Schlipp, P.A., *The philosophy of Ernst Cassirer*, The Library of Living Philosophers, Inc., Evanston, Illinois, 1949.
- Taroni, P., *Filosofie del tempo. Il concetto di tempo nella storia del pensiero occidentale*, Mimesis edizioni, Milano-Udine, 2012.