

## FISICA E CONOSCENZA (2)

### metodo e valore conoscitivo della fisica

di Giovanni Maria Prosperi\*

*Questo secondo contributo (il primo è pubblicato nel numero 39 di questa rivista) completa un percorso di riflessione relativo a uno degli obiettivi specificati nelle Indicazioni Nazionali per i Licei alla voce Linee generali e competenze: «[...] lo studente avrà appreso i concetti fondamentali della Fisica, acquisendo consapevolezza del valore culturale della disciplina e della sua evoluzione storica ed epistemologica». In esso l'autore approfondisce il tema del valore conoscitivo della disciplina e dei suoi limiti, in relazione all'evoluzione storica dei concetti fisici e alla crisi delle teorie che sembravano consolidate. L'autore mostra infine come, attraverso il concetto di modello, sia possibile ritrovare un corretto rapporto fra teorie fisiche e realtà.*

**S**e le teorie ricevono una loro legittimazione dalla capacità di spiegare i fenomeni conosciuti e dalla conferma dei fenomeni che prevedono, è chiaro che esse devono essere innanzitutto modificate o sostituite come emergono dei risultati nuovi che non possono essere inquadrati nelle vecchie idee. Questo non è però l'unico modo in cui le teorie evolvono. Esse progrediscono in larga parte anche per logica interna, nello sforzo di raggiungere una sempre maggiore coerenza e semplicità di presupposti e di ottenere sintesi sempre più ampie.

#### **Evoluzione e persistenza delle teorie: esempi**

Esempi della prima circostanza, a parte il caso di innumerevoli teorie particolari, si possono avere nel definitivo prevalere della teoria ondulatoria della luce su quella corpuscolare, nell'abbandono dell'idea del calore come sostanza per passare a una sua interpretazione energetica, nella creazione di una Teoria Quantistica in sostituzione di quella Classica per l'interpretazione dei fenomeni di emissione e assorbimento della radiazione e lo studio della costituzione microscopica della materia.

.....  
\*Già Ordinario di Istituzioni di  
Fisica Teorica presso l'Universi-  
tà degli Studi di Milano.  
.....

Numerosissimi sono però anche gli esempi della seconda. Possiamo ricordare innanzitutto lo stesso caso della Meccanica, in cui Newton riuscì, come abbiamo visto, a comporre in un quadro unitario e a ricondurre a un unico sistema di principi, la caduta dei gravi, i fenomeni d'urto e il moto dei pianeti.

Possiamo ricordare come altro classico esempio del risultato di un simile sforzo di sintesi l'elettromagnetismo di Maxwell, nelle cui famose equazioni quest'autore di nuovo riuscì a inglobare tutte le leggi particolari sul campo elettrico e magnetico ai suoi tempi conosciute, prevedendo tra l'altro l'esistenza delle onde elettromagnetiche, successivamente verificata da Hertz.

Nello stesso ordine di idee possiamo pensare al caso della Teoria della Relatività di Einstein, nata da una esigenza fondamentalmente «estetica», dalla convinzione che il principio di relatività valido per la Meccanica dovesse potersi estendere a tutte le leggi fisiche (e non, si badi, dal risultato dell'esperimento di Michelson di cui Einstein neppure parla esplicitamente nel suo primo lavoro). Esempi del tipo indicato potrebbero moltiplicarsi indefinitamente nel periodo più recente. Ignorando i moltissimi tentativi

che non hanno avuto successo, possiamo ricordare come particolarmente significativo il caso della teoria unificata delle interazioni elettrodeboli di Glashow, Weinberg e Salam che è riuscita a comporre in un quadro unico la teoria delle forze elettromagnetiche e delle forze deboli, arrivando a prevedere con grande precisione tutta una serie



Sheldon Lee Glashow, (1932-...), Abdus Salam (1926-1996) e Steven Weinberg (1933-...) alla cerimonia di consegna dei premi Nobel per la Fisica 1979

di fenomeni nuovi, tra cui l'esistenza delle famose particelle  $W$  e  $Z$ , le loro masse e le loro principali proprietà. Questa teoria costituisce oggi insieme alla  $QCD$  (Quantistica Cromo Dinamica), teoria delle interazioni forti, la base di quello che è chiamato oggi il «modello standard» delle particelle e la premessa dei molti sforzi per creare una teoria unificata di tutte le forze che includa anche la Gravità.

### **I modelli concettuali**

Venendo ai contenuti e alle articolazioni delle varie teorie che si sono succedute, un rapido sguardo storico permette di individuare diversi momenti, corrispondenti a capitoli e problematiche diverse, caratterizzati dall'affermarsi di determinati modelli concettuali.

Tali modelli si sono rivelati insufficienti in una fase successiva e hanno dovuto essere integrati o radicalmente trasformati; Thomas S. Kuhn (1922-1996) parla di «rivoluzioni scientifiche» e di cambiamenti di «paradigma».

### La meccanica del punto materiale

Il primo capitolo della Fisica che ha acquistato la forma di una teoria organica è stato ovviamente di nuovo la Meccanica.

L'idea centrale nella Meccanica è quella di «punto materiale». In certe classi di fenomeni noi possiamo trascurare la forma e le dimensioni di un corpo, specificarne semplicemente la massa e la posizione e scrivere un sistema di equazioni che regola il variare con il tempo delle sue coordinate. Una tale idealizzazione è sufficiente per descrivere il moto dei corpi pesanti di dimensioni sufficientemente piccole in prossimità del suolo o quello di rivoluzione dei pianeti intorno al sole. Il comportamento dei corpi estesi può essere trattato nello stesso ordine di idee, pensando a questi come aggregati di piccole parti. In questo modo è stato possibile costruire una teoria dei corpi rigidi, una teoria dell'elasticità, una teoria dei fluidi.

La perfezione formale e i risultati raggiunti dalla Meccanica sono stati tali che per quasi tre secoli molti scienziati hanno potuto avere la convinzione che tutti fenomeni fisici dovessero essere inquadrati nell'ambito di tale disciplina. Lo stesso Newton riteneva che, col progredire delle conoscenze sulla costituzione microscopica della materia, tutte le forze, incluse quelle elettriche e magnetiche, avrebbero potuto essere ricondotte alla sola forza di gravitazione.

### Il concetto di campo

Ma primi dubbi sulla possibilità di comprendere la natura esclusivamente con concetti di tipo meccanico nacquero già nella prima metà del XIX secolo, come conseguenza sia dello sviluppo della termodinamica, sia soprattutto dell'idea di «campo» introdotta da Faraday.

Ogni tentativo di interpretare l'elettromagnetismo in termini meccanici fu poi abbandonato all'inizio di questo secolo con la comparsa della Teoria della Relatività, oltre trent'anni dopo la definitiva formulazione della teoria di Maxwell.

Ci si è resi conto che il «campo» doveva essere considerato come un'entità completamente nuova; una entità priva di qualsiasi supporto «materiale», eppure estremamente concreta. Essa poteva essere direttamente percepita come luce, poteva essere misurata, era capace di trasportare energia e momento, ma non poteva essere ricondotta a deformazione o spostamento di corpi. Il cambiamento nell'ordine delle idee è stato drastico.



Thomas S. Kuhn (in primo piano) con l'amico Paul Feyerabend (al centro) e Paul Hoyningen-Huene a Zurigo nel 1986

Michael Faraday (1791-1867)

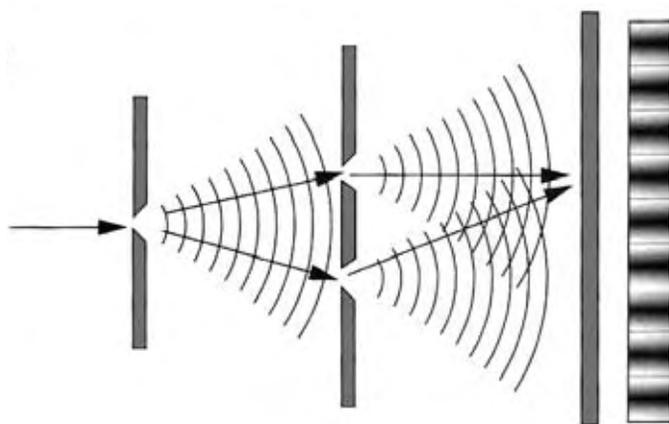


## La Meccanica Quantistica

Un cambiamento anche più importante si è avuto con la nascita della Fisica Quantistica. È apparso chiaro che i concetti della Meccanica Classica, se insufficienti per la comprensione dei fenomeni elettromagnetici, ancora di più risultavano inadeguati per lo studio di quei costituenti elementari della materia a cui pure poteva sembrare che più immediatamente dovessero applicarsi. In effetti l'idea di punto materiale, su cui come abbiamo detto l'intera Meccanica si basa, doveva essere radicalmente rivista e perdeva molto del suo significato originario.

La caratteristica essenziale della nuova teoria è che a ciascuno di quegli oggetti che chiamiamo «particelle» (elettroni, protoni, neutroni, eccetera) appare associato un campo soddisfacente un'appropriata equazione d'onda. Nella formulazione più elementare, la cosiddetta Meccanica Quantistica o «prima quantizzazione», il quadrato del modulo del campo è legato, come è noto, alla probabilità di «rivelare» la particella con uno strumento effettivo disposto in una determinata posizione nello spazio. In questo senso il campo può essere visto come un semplice strumento matematico per effettuare previsioni osservabili. Tuttavia con le onde associate alle particelle è possibile ripetere esperimenti di interferenza e diffrazione largamente analoghi a quelli effettuati con la luce.

Con un fascio di elettroni è possibile ottenere effetti di diffrazione su



cristalli del tutto simili a quelli ottenuti con i raggi X ed è anche possibile riprodurre l'esperimento di Young di interferenza da due fenditure (immagine a lato).

In questo contesto è importante sottolineare che in un dispositivo in cui le particelle possano essere registrate singolarmente la figura di interferenza è effettivamente progressivamente ricostruita come conseguenza della loro distribuzione statistica sullo schermo.

È d'altra parte chiaro che il concetto stesso di interferenza è in contraddizione

con l'idea di una particella puntiforme che segue una traiettoria continua.

Se infatti nell'esperimento di Young, noi vogliamo anche solo immaginare che la particella passi per una soltanto delle due fenditure, immediatamente siamo costretti a concludere che l'interferenza è impossibile.

Ciò che resta nella Meccanica Quantistica dell'idea di particella puntiforme è semplicemente la circostanza che essa, essendo un oggetto indivisibile, può agire solo su uno per volta degli elementi di un sistema di rivelatori, per quanto piccoli questi possano essere.

## La Teoria Quantistica dei Campi

L'allontanamento dai concetti classici diviene ancora più drastico ed evidente nella Teoria Quantistica dei Campi (seconda quantizzazione), essenziale per conciliare la teoria quantistica con la relatività. In tale teoria le particelle sono pensate come «quanti» di campi appropriati, esse divengono cioè una manifestazione del fatto che l'energia e il momento del campo possono cambiare solo per quantità discrete. Parlare di un elettrone, due elettroni, molti elettroni ha solo il senso di specificare lo stato di un determinato campo. In questa prospettiva la singola particella perde anche quell'individualità che le era rimasta nella prima quantizzazione. In un dato processo certe particelle possono sparire e altre essere create; questo fatto essendo semplicemente un modo di apparire degli scambi di energia e momento tra campi.

## Il problema del significato conoscitivo delle teorie fisiche

Il rapido sguardo sullo sviluppo delle idee in Fisica che abbiamo cercato di dare, la progressiva crisi dei concetti teorici fondamentali e la necessità di rimpiazzarli successivamente porta a porsi molto naturalmente il problema del significato e del valore delle «conoscenze» in ogni momento acquisite. Dovrebbe essere intanto evidente che la convinzione diffusa in alcuni scienziati del passato, soprattutto nel XVIII e nel XIX secolo, che la Fisica potesse fornirci una comprensione in qualche modo esaustiva e definitiva della realtà (abbandonando in sostanza il primo assunto di Galileo) appare oggi insostenibile. Come la ricerca si sviluppa tutte le teorie mostrano i loro limiti e nuove teorie devono essere create. Anche se le vecchie teorie in molti casi vengono conglobate e restano nelle successive (nel contesto di sintesi più generali o come approssimazioni valide in determinate situazioni limite), è evidente che a ogni stadio alle nostre acquisizioni può essere attribuito solo un carattere parziale e provvisorio.

## La modifica degli schemi concettuali

Insisto sul fatto che col trascorrere del tempo non si è verificato solo uno sviluppo quantitativo delle conoscenze, ma sono gli stessi schemi concettuali utilizzati che hanno dovuto essere radicalmente modificati e sono venuti ad assumere un carattere progressivamente più astratto. Nell'affrontare i problemi posti dall'estremamente piccolo noi abbiamo dovuto rinunciare in larga parte alla nostra intuizione e formulare teorie in cui la Matematica da semplice mezzo di calcolo è diventata, come abbiamo detto, sempre più un indispensabile strumento espressivo, a un livello e in una misura che Galileo mai avrebbe potuto immaginare. Emblematicamente i problemi di interpretazione posti dalla Fisica moder-

na possono essere illustrati dal dibattito che si è acceso al suo apparire attorno alla Teoria Quantistica e che, nonostante l'atteggiamento molto più pragmatico dei fisici di oggi, è ancora aperto e rivela una notevole varietà di posizioni.

### **L'atteggiamento strumentalista**

Di fronte all'astrattezza del formalismo e alle difficoltà di lettura dei risultati, tra molti scienziati e filosofi della scienza si è manifestato un atteggiamento puramente strumentalista largamente diffuso soprattutto negli anni dai venti ai quaranta del secolo scorso. Questo atteggiamento consiste nel negare alla teoria ogni contenuto, oltre a quello di una pura correlazione tra i fenomeni, e nel ridurla a semplice strumento di previsione, senza alcun riferimento a una realtà indipendente dall'osservatore. Esso è stato interpretato nella maniera più esplicita dal neopositivismo, che ha avuto a un certo momento la pretesa di assurgere al ruolo di filosofia ufficiale della nuova Fisica.

Una posizione così estrema, tuttavia, è a mio avviso insostenibile ed è addirittura in contraddizione con la stessa motivazione di fondo della ricerca scientifica. Crediamo che all'idea di una qualche realtà al di fuori di noi sia molto difficile rinunciare. Tale idea nasce infatti dalla nostra stessa fondamentale esperienza che non è possibile modificare il «mondo» a nostro piacere e che per poter agire su di esso noi dobbiamo innanzitutto «comprenderlo». Inoltre in un contesto puramente convenzionalista o strumentalista non c'è in realtà alcun posto per l'elemento teorico che pure, come abbiamo detto, è essenziale per la Fisica e strettamente legato a parole come «spiegare» e «capire». In una tale prospettiva la teoria può al massimo ridursi a un criterio di ordinamento di una molteplicità di fatti empirici. Ma un tale declassamento è decisamente contro l'atteggiamento psicologico e la stessa esperienza di lavoro di ogni scienziato. Come Whitehead diceva, la scienza nasce da «una convinzione istintiva e generalizzata che esiste un ordine delle cose e più precisamente un ordine della Natura» e che tale ordine, almeno in una certa misura può venire compreso. Anche quando motivato da ragioni applicative, l'atteggiamento dello scienziato nell'ambito del suo lavoro resta sempre un atteggiamento conoscitivo non congruo con una semplice ricerca di utilità.



Alfred North Whitehead (1861-1947)

### **Il vero senso delle teorie**

Se però rifiutiamo un realismo ingenuo, se insistiamo sul carattere provvisorio di ogni teoria e allo stesso tempo riteniamo incongruo un puro strumentalismo, quale può essere il vero senso delle nostre teorie e delle nostre progressive acquisizioni? Credo che la risposta vada cercata nel concetto di modello, nell'idea che ogni teoria fisica debba essere riguardata appunto

come un modello (in linea con l'assunto che non possiamo «tentare le essenze»), come uno strumento di tipo analogico, che è certamente una nostra creazione, ma che, pur sempre ci parla di un mondo reale.

Cerchiamo di approfondire quest'ultimo punto e di spendere qualche parola sul concetto di modello in Fisica, sulle sue analogie e principali differenze con il corrispondente concetto in Matematica.

## Il modello in Fisica e in Matematica

In Matematica l'idea di modello nasce in sostanza dalla concezione degli enti matematici come sprovvisti di significato intrinseco. Per modello di una certa teoria si intende un insieme di oggetti (eventualmente costruiti con gli elementi stessi di un'altra teoria nel contesto considerata meno astratta) che ne soddisfa i postulati, secondo un preciso codice di traduzione o regola di corrispondenza. Se noi associamo, per esempio, secondo l'usuale prassi cartesiana, una coppia ordinata di numeri reali a ogni punto del piano, un'equazione lineare a ogni linea retta e facciamo altre ben note convenzioni, otteniamo un modello della Geometria Euclidea. Se, data una stella di rette in un ordinario spazio euclideo, decidiamo di chiamare «punto» una retta e «retta» un piano passante per il centro della stella abbiamo un ben noto modello di Geometria Ellittica. Due diversi modelli della medesima struttura astratta possono essere di natura molto diversa. Una coppia di numeri è qualcosa di molto diverso da una qualsiasi realizzazione empirica dell'idea di punto. I ruoli del punto e della retta possono essere completamente scambiati nella Geometria Proiettiva portando a proposizioni «duali». Ciò che è importante nel contesto è che ogni teorema per il modello può essere immediatamente tradotto in un teorema per la struttura astratta e viceversa.

L'uso del termine modello in Fisica presenta delle analogie ma anche delle differenze rispetto all'uso che se ne fa in Matematica. Anche in Fisica è essenziale il concetto di corrispondenza; ma in Fisica è pure importante il riferimento a un contesto, a una scala di osservazione, alla precisione con cui si pretende che certe affermazioni siano soddisfatte. Ciò posto, il termine frequentemente allude a una idealizzazione e a una semplificazione di una situazione complessa con lo scopo di capire i più importanti aspetti di un fenomeno trascurandone dettagli meno rilevanti. Ma che cosa sia più o meno importante, cosa sia rilevante o non lo sia, dipende appunto dal contesto e dalla scala di osservazione. Si può parlare perciò di modello valido a una data scala, adeguato per certi scopi, non adeguato per altri. L'idealizzazione dei pianeti come semplici punti è perfettamente sufficiente per comprendere la loro progressiva disposizione rispetto al Sole e alle altre stelle o, applicata alla Terra e alla Luna, il moto apparente del Sole o del nostro satellite contro il cielo stellato. Il modello è invece insufficiente

per spiegare l'alternarsi del dì e della notte o il mutare delle fasi lunari; a questo scopo è necessario far ricorso al concetto di corpo rigido applicato alla Terra o alla Luna. Nello stesso modo, se vogliamo studiare i complessi fenomeni che si verificano nella nostra atmosfera o sulla crosta terrestre, dobbiamo considerare in dettaglio la natura chimica, le proprietà e lo stato fisico delle varie parti del pianeta, il loro modo di reagire le une sulle altre, l'effetto della radiazione solare, eccetera. Ciò che è importante sottolineare è che questi modelli, che in ultima analisi vorrebbero riferirsi al medesimo oggetto, sono disposti in un certo qual modo in gerarchia. Quando per un determinato scopo un dato livello della gerarchia risulta adeguato, noi non guadagniamo nulla a passare a un modello più raffinato. Per quello scopo i due modelli sono del tutto equivalenti, essi ci dicono sostanzialmente le stesse cose.

### **Fisica e realtà**

Mi sembra che i discorsi precedenti permettano di capire in che senso una teoria fisica può essere sempre pensata in uno stato provvisorio e incompleto e allo stesso tempo insegnarci qualche cosa di vero e anche di definitivo sul mondo della natura. Anche se non può pretendere di darci una comprensione esaustiva del suo oggetto, essa fornisce certamente un «modello intelligibile» di validità potenzialmente permanente in un dato ambito. Da questo punto di vista, il rapporto tra due successive teorie, la seconda delle quali supera e include la prima, non mi pare presenti problemi.

### **Teorie fisiche: i livelli gerarchici**

Possiamo infatti pensare alla vecchia teoria come a un modello a un livello gerarchico inferiore rispetto alla nuova, che si applica a una situazione più particolare, a una situazione limite, ma che per quella situazione può essere addirittura più conveniente per la sua maggiore semplicità. Come insegna la lezione dei modelli matematici, questo resta vero anche se le due teorie operano in contesti concettuali molto diversi, la cosa importante è comprendere l'appropriato codice di traduzione tra le due.

Consideriamo qualche esempio.

Pensiamo alla già discussa idealizzazione dell'elettrone come punto materiale. È chiaro che questa resta molto utile nel descrivere il moto di questa particella in un campo elettromagnetico macroscopico ed è comunemente impiegata nella progettazione dei nostri apparecchi. Sarebbe sciocco usare l'equazione di Dirac nello studio di una macchina acceleratrice! Nel contesto della Meccanica Quantistica, tuttavia, il punto materiale è semplicemente un'immagine utile nel considerare il moto del pacchetto d'onde quando è possibile trascurare le dimensioni di

Paul A. M. Dirac (1902-1984)



quest'ultimo e il gradiente del campo al suo interno. Qualcosa di simile si può dire del modello planetario dell'atomo, del modello di un cristallo come un insieme di nuclei disposti su un reticolo regolare con gli elettroni che si muovono nelle intercapedini o del modello di una molecola complessa realizzato materialmente con piccole sfere colorate. Ciascuno di tali modelli ci permette di capire facilmente certi fenomeni semplici, come la diffusione di un fascio di particelle attraverso una lamina sottile, la figura di diffrazione ottenuta da raggi X su un cristallo, le proprietà di sostituzione di radicali organici. Ma essi contengono anche importanti informazioni per la stessa teoria quantistica. Essi possono infatti essere considerati come insiemi di prescrizioni in codice per la costruzione delle appropriate equazioni di Schrödinger o per la scelta delle soluzioni che sono necessarie per la comprensione di una larga classe di proprietà degli oggetti a cui si riferiscono.

Se finalmente veniamo alla Teoria Quantistica dei Campi, come abbiamo già ricordato, parlare di particelle o sistemi di particelle corrisponde semplicemente a specificare lo stato di alcuni campi. Per comprendere i processi che si verificano quando una particella ad alta energia colpisce un nucleo, o quando due particelle in un collider urtano l'una contro l'altra, è certamente necessario far ricorso a tutto il «macchinario» della teoria. Per descrivere il risultato finale tuttavia e capire il senso delle tracce lasciate, diciamo in una «camera a bolle», il modello classico di particelle puntiformi che descrivono traiettorie continue è il più conveniente. Similmente, se vogliamo studiare le proprietà dell'atomo di idrogeno, possiamo farlo utilizzando il formalismo del campo elettronico, del campo protonico e del campo elettromagnetico; ma in approssimazione non relativistica il linguaggio dell'equazione di Schrödinger per gli elettroni e i protoni risulta molto più semplice e porta al medesimo risultato.

Evento nella Camera a Bolle ad idrogeno (CERN)



### **La Fisica: una conoscenza per modelli**

Questo di riguardare la Fisica come una conoscenza per modelli mi sembra l'unico atteggiamento equilibrato possibile nei riguardi del suo valore. Come dicevo, i concetti che utilizziamo, i modelli, le teorie sono certamente una nostra costruzione, non sono tuttavia una costruzione arbitraria né

vuota. Essi sono creati per cercare di gettare uno sguardo sulla Natura, per rispondere alle domande che su di essa continuamente poniamo e a ogni stadio del loro sviluppo, a ogni traguardo raggiunto dalla nostra ricerca, dicono qualcosa sul mondo che ci circonda, anche se non potranno mai pretendere di darci di esso una comprensione esaustiva.

### **Fisica e altre forme di conoscenza**

Abbiamo indicato come caratteristica essenziale della Fisica quella di procedere per semplificazioni e idealizzazioni, di restringere la propria attenzione agli aspetti quantificabili delle cose, di utilizzare il linguaggio matematico, definendo nella maniera più precisa e operativa possibile i propri concetti e le proprie ipotesi, di operare secondo criteri di verifica rigorosi e prestabiliti. Nella stessa linea essa deve solo prendere in considerazione fenomeni riproducibili (o che almeno naturalmente si ripetono), oggetti caratterizzati da determinate proprietà generali e per il resto completamente intercambiabili e sostituibili.

Sono queste le caratteristiche che fanno della Fisica una scienza, come si suol dire «pubblica», le cui conclusioni si sottraggono a una valutazione soggettiva, divenendo in qualche modo incontrovertibili, in linea di principio verificabili da chiunque. Sono queste le caratteristiche alla base dei suoi successi e del suo prestigio, che ne giustificano l'appellativo di «regina delle scienze naturali». Sono queste però anche le caratteristiche che ne indicano i limiti e aiutano a precisarne la collocazione nel contesto delle altre discipline scientifiche o umane. Esse mostrano quanto sia ingiustificata e improduttiva la pretesa di chi vorrebbe considerare la Fisica quasi esaustiva di tutte le capacità umane di conoscenza, che vorrebbe ricondurre in qualche modo a essa tutte le altre discipline e considerare addirittura prive di senso o perlomeno in uno stato molto imperfetto tutte le conoscenze che non possono essere inquadrate nell'ambito delle sue categorie concettuali.

### **La rinuncia alle «qualità secondarie»**

La rinuncia alla considerazione delle «qualità secondarie», il rivolgere la propria attenzione solo a fenomeni riproducibili e oggetti sostituibili, che sono, come abbiamo visto, alla base della sua oggettività, esclude, per esempio, inevitabilmente dalla sua prospettiva, il ruolo della soggettività, che pure costituisce uno degli aspetti fondamentali della nostra esperienza e un riferimento in ultima analisi ineliminabile.

È chiaro che, perché si possa parlare di misura, perché i protocolli di una qualsiasi scienza possano essere stabiliti, perché un linguaggio preciso e rigoroso possa essere istituito, è necessario fare appello a un insieme di

preconcezioni, è necessario presupporre quel linguaggio naturale che si fonda proprio su quelle esperienze incomunicabili che sono state per sé poste fuori dalla prospettiva della Fisica. Si noti che è qui evidentemente irrilevante che alcune caratteristiche degli oggetti sensibili come, il colore, escluse originariamente da Galileo, perché ritenute, come abbiamo detto, legate a una valutazione soggettiva, abbiano potuto successivamente essere, come è stato detto, «primarizzate», per esempio misurando la lunghezza d'onda della luce relativa. Tra la nostra soggettiva percezione del colore giallo e l'affermazione che il doppietto D del sodio corrisponde a lunghezze d'onda di 589,0 nm e 589,6 nm c'è infatti un'associazione puramente estrinseca. Lo stesso potrebbe dirsi di una comprensione dei fenomeni fisico-chimici che si verificano nel nostro occhio e nel nostro sistema nervoso e rendono possibile una discriminazione del giallo dal rosso al livello dei segnali fisici che producono. È vero piuttosto che la percezione della luce e del colore, come quella del suono o di un'immagine visiva, sono incommensurabili con qualsiasi specificazione quantitativa e fanno parte proprio di quell'insieme di esperienze appunto incomunicabili ma presupposte alla nostra stessa possibilità di parlare di una lunghezza d'onda o dei fenomeni che si verificano nella nostra retina. In questo senso pretese come quella di «spiegare» la nostra stessa coscienza, di esaurire l'analisi di concetti per esempio come quelli di spazio e di tempo nel contesto della sola Fisica, senza far riferimento a livelli e angolature differenti, al mondo della nostra esperienza immediata e del nostro vissuto, appaiono del tutto illusorie.

### **Un approccio alla realtà secondo un angolo particolare**

Dobbiamo renderci conto che la Fisica è un approccio alla realtà sotto un angolo particolare, un approccio estremamente fecondo, che però necessariamente rimanda da una parte alle altre scienze naturali che se ne differenziano per oggetto, finalità e metodo specifico (e sarebbe ingiusto voler semplicemente ricondurre ad essa), dall'altra al piano delle cosiddette scienze umane. Proprio per il suo procedere per modelli e per idealizzazioni, per il suo vertere su ciò che è riproducibile o comunque sostituibile essa non può mai pretendere di cogliere tutta la ricchezza del concreto. Resta necessariamente fuori dalla sua prospettiva il problema dell'irripetibile, quello dello stesso senso delle conoscenze che ci fornisce e della sua propria fondazione. La prospettiva sul mondo che ci dà la Fisica resta necessariamente una prospettiva aperta che, se rettamente intesa, non esclude ma anzi inevitabilmente si richiama a una sintesi superiore di tipo filosofico e anche a forme di conoscenza e di espressione più intuitive che riguardano più direttamente la nostra esperienza esistenziale, come sono quella artistica e quella religiosa.

Detto questo sul piano astratto dei rapporti conoscitivi con le altre disci-

pline, resta quello del rapporto col più generale contesto culturale, che dovrebbe ricevere particolare attenzione nella scuola. Dovrebbe apparire chiaro dalla breve prospettiva storica delineata quale sia stato nello sviluppo della scienza in genere l'influsso delle condizioni socio economiche, dello sviluppo tecnologico, del panorama filosofico generale. È sotto gli occhi di tutti l'influsso enorme che viceversa la scienza della natura ha avuto nel bene e nel male su tale contesto e sulle nostre stesse condizioni di vita. È chiara in particolare l'importanza degli strumenti che lo sviluppo tecnologico, guidato da quello scientifico, ha posto a disposizione di tutti. Ci sembra però particolarmente importante, per finire, sottolineare il contributo che la Fisica e in genere le scienze sperimentali hanno dato e possono dare allo sviluppo delle altre discipline e alla formazione generale della persona oltre che per i loro contenuti proprio per il metodo con cui procedono.

### **Un metodo che abitua a cercare le «ragioni»**

L'ideale di acquisizioni univoche sulla base di premesse o dati inconfutabili sembra sempre più confinato a settori specifici, come in qualche modo la Matematica. Si allargano invece sempre di più gli ambiti in cui si procede per ipotesi interpretative o chiavi di lettura. Queste da una parte sono spesso presentate in forma assoluta e dottrina, come accade non di rado sulla stampa o nel mondo politico, e accettate e respinte acriticamente per ragioni emotive o spirito di parte. Dall'altra sono frequentemente ritenute del tutto arbitrarie, ingenerando frequentemente un atteggiamento di generale scetticismo e di sfiducia. È tipico da questo punto di vista l'atteggiamento di tanti giovani che ritengono di poter giustificare le loro affermazioni o le loro scelte con semplici risposte del tipo «io penso così», senza sentirsi obbligati a produrre «ragioni» o a qualsiasi tipo di verifica. Crediamo, invece, che lo studio della Fisica, se affrontato anche nei suoi aspetti metodologici, possa insegnarci molto a questo riguardo, possa stimolare a saper azzardare ipotesi, ma allo stesso tempo a saperle sottoporre a precisi riscontri e a un vaglio critico rigoroso. ❖

---

#### **INDICAZIONI BIBLIOGRAFICHE**

- E. Agazzi ed., *Storia delle Scienze*, Città Nuova, Roma 1984.  
 G. Reale, D. Antiseri, *Il Pensiero Occidentale dalle origini ad oggi*, La Scuola, Brescia 1983.  
 A.N. Whitehead, *La Scienza e il mondo moderno*, Boringhieri, Torino 1979.  
 P.M.M. Duhem, *Le System du Mond; Hystoire des Doctrines Cosmologiques de Platon à Copernic*, Herman et Cie. 1954.  
 L. White, *The Historical Roots of Our Ecologic Crises*, Science, vol. 155, p. 1203, 1967.  
 L. Russo, *La rivoluzione dimenticata*, Feltrinelli, Milano 1999.  
 A. Einstein, L. Infeld, *L'evoluzione della fisica*, B. Boringhieri, Torino 1965 (prima edizione).  
 G. Galilei, *Opere*, UTET, Torino 1980.  
 I. Newton, *Principi matematici della Filosofia Naturale*, UTET, Torino 1989.  
 P.A.M. Dirac, *Quantum Mechanics*, IV ed., Oxford University press, London 1954.