

Verità e scienze fisiche

Elena Castellani

1. Introduzione: verità e realismo

Le teorie fisiche devono essere vere per essere riconosciute come valide? La questione della verità di quanto ci dice la fisica entra nel dibattito filosofico innanzitutto in relazione alla valutazione di questa disciplina come *scienza* mirata alla comprensione del mondo esterno. Se infatti ci chiediamo a che scopo vengano formulate le teorie fisiche, la risposta più comune, soprattutto tra gli scienziati, è che sia per fornire una descrizione *vera* della realtà, dove ‘verità’ è intesa nel senso di *corrispondenza ai fatti* (la descrizione fornita dalle teorie fisiche è vera in quanto corrispondente ai ‘fatti’ del mondo fisico). Dal punto di vista epistemologico, questa risposta è caratteristica della posizione chiamata **realismo scientifico**: cioè la posizione in base alla quale, secondo una definizione generalmente accettata e ‘minimale’ data da Bas van Fraassen, “la scienza mira a fornirci, con le sue teorie, una storia letteralmente vera di ciò che è il mondo, e l’accettazione di una teoria scientifica implica la credenza che essa sia vera”.¹ Il realismo scientifico può essere formulato in modo più o meno sofisticato, ma in qualsiasi sua versione risponde alla seguente convinzione: il significato della scienza non è solo quello di fornirci gli strumenti più affidabili ed efficaci per predire i fenomeni fisici. Secondo il realista, la scienza rappresenta qualcosa di più: ci dice qualcosa sulla realtà fisica, su come il mondo è davvero fatto, e questo è intimamente legato a quanto c’è di vero in quello che dice. Per chi accetta questa posizione, la questione della verità delle teorie scientifiche assume dunque un ruolo centrale riguardo alla valutazione della scienza come impresa conoscitiva: lo scopo e la credibilità che vengono assegnati alle teorie scientifiche dipendono strettamente dalla verità di quest’ultime. E la loro verità fornisce anche una spiegazione dell’indiscutibile successo della scienza: le teorie funzionano perché sono vere, il successo della scienza non appare come un ‘miracolo’.²

Il realismo scientifico, per quanto risulti una posizione del tutto naturale e sicuramente vicina all’intuizione comune, è stato variamente attaccato. Uno dei punti chiave intorno a cui si sono concentrate le critiche riguarda proprio il ruolo che attribuisce alla nozione di verità. La critica più immediata nasce in relazione al fatto, messo in evidenza dalla storia della scienza, che le teorie possono essere fallibili, avere validità solo parziale o approssimata. Se dunque le teorie dicono qualcosa sulla realtà in quanto sono vere, la loro verità sarà per lo più solo parziale o approssimata. Riguardo a questo punto il realista scientifico si difende normalmente interpretando il succedersi delle teorie come un progressivo avvicinamento alla teoria ‘esattamente vera’. Ma questa soluzione è a sua volta criticata da molti in quanto apparentemente messa in difficoltà dalle cosiddette ‘rivoluzioni scientifiche’: cioè da quei casi in cui il passaggio da una teoria a quella successiva avviene in modo rivoluzionario e comporta un cambiamento

¹B. C. van Fraassen, *The Scientific Image*, Oxford University Press, Oxford, 1980. Trad. it: *L’immagine scientifica*, Clueb, Bologna, 1985, p. 33.

²Noto, nella letteratura, come “no-miracle argument” in favore del realismo scientifico.

ontologico radicale. Questo tipo di cambiamento genera ciò che è chiamato, nella letteratura, “meta-induzione pessimista”: il fatto che le teorie, insieme ai corrispondenti quadri ontologici, possano cambiare in modo radicale, induce a essere pessimisti riguardo alla possibilità di raggiungere la teoria vera; o, in altre parole, riguardo alla possibilità che la scienza fornisca, con le sue teorie, “una storia letteralmente vera di ciò che è il mondo”.

Il cambiamento teorico è generalmente visto come un genuino problema del realismo scientifico, e in gran parte proprio per il ruolo che questa posizione attribuisce alla nozione di verità. Chi pensa che il realismo scientifico non sia in grado di risolvere la questione posta dal cambiamento teorico, e allo stesso tempo non vuole optare per una concezione puramente strumentalista della scienza, ha la scelta tra le seguenti alternative: mettere in questione il ruolo conferito alla nozione di verità nella valutazione delle teorie o ripensare la natura del riferimento, cioè la natura di ciò a cui si riferiscono le teorie e in base a cui viene loro attribuito valore di verità.

Nel primo caso, ad essere sotto accusa è lo stretto legame che il realismo scientifico stabilisce tra la questione della verità delle teorie scientifiche e quella della loro accettabilità in quanto tali. Vale a dire, riprendendo le parole di van Fraassen, la commistione tra l’aspetto ‘semantico’ (la questione della verità) e quello ‘epistemico’ (la questione della validità scientifica) nella valutazione delle teorie scientifiche. La posizione che si contrappone al realismo scientifico (e in tal senso rappresenta una forma di ‘antirealismo’) nel tenere ben distinti questi due aspetti, semantico ed epistemico, è l’**empirismo costruttivo** di van Fraassen. Per l’empirista costruttivo non è più la nozione di verità a rivestire il ruolo ‘epistemico’ centrale ma la nozione di *adeguatezza empirica*. Alla domanda “a che cosa mira la scienza?” viene data la seguente risposta: “la scienza mira a fornirci teorie che sono empiricamente adeguate, e l’accettazione di una teoria scientifica implica solo la credenza che essa sia empiricamente adeguata”.³ Ma che cosa significa “adeguatezza empirica”? Secondo van Fraassen, una teoria fisica è empiricamente adeguata se ha almeno un modello che “salva i fenomeni”, cioè un modello nel quale “trovano posto tutti i fenomeni attuali”. Questo equivale a dire, per un empirista costruttivo, che “ciò che dice la teoria sulle cose osservabili è vero”. La nozione di verità rifà così capolino, ma *limitatamente ai fenomeni osservabili* e in un quadro ben preciso: quello della cosiddetta ‘concezione semantica delle teorie’ (vd. più avanti, § 2.1), dove la nozione di *verità* è strettamente collegata a quella di *modello*, ed entrambe sono intese, come vedremo, nel senso della semantica tarskiana.

A questa forma di antirealismo alla van Fraassen si contrappongono le posizioni che imputano i problemi del realismo scientifico al modo in cui viene identificato il riferimento delle teorie. Su questa linea si è venuta sempre più affermando negli ultimi tempi la posizione nota come **realismo strutturale** che, pur distinguendosi dal realismo scientifico tradizionale, ne mantiene l’istanza realista. Secondo il realismo strutturale le teorie fisiche ci dicono infatti qualcosa sulla ‘realtà’ oltre a salvare i fenomeni, ma questo ‘qualcosa’ ha carattere *strutturale*: nel passaggio da una teoria alla successiva, le entità possono cambiare, ma le strutture (quelle ‘rilevanti’) si conservano. Il problema posto dal cambiamento teorico è così risolto, per chi adotta questa posizione, individuando negli aspetti strutturali del mondo fisico ciò che si conserva nel passaggio da una

³ B. van Fraassen, *op. cit.*, p. 37.

teoria a un'altra, e a cui si può dunque attribuire 'realtà'. Ad esempio, nel passaggio dalla teoria della luce di Fresnel (la luce come un'onda che si propaga nell'etere) alla teoria della luce di Maxwell (la luce come un campo elettromagnetico), l'ontologia a cui si riferiscono le due teorie è diversa, ma c'è continuità strutturale nelle equazioni: le equazioni di Fresnel possono essere ricavate nell'ambito della teoria di Maxwell (pur se con un'interpretazione diversa). Quest'esempio, utilizzato da John Worrall nell'articolo "Structural realism: the best of both worlds" che segna l'origine del presente dibattito su questa forma di realismo,⁴ è uno dei numerosi casi di continuità strutturale che si possono trovare nella storia della scienza e che motivano il realismo strutturale come posizione realista alternativa al realismo scientifico tradizionale. Il nesso tra verità e riferimento rimane, ma cambia la natura del riferimento. Per il realismo strutturale, che si presenta nelle due versioni *epistemologica* e *ontologica*, le teorie sono vere in quanto si riferiscono a strutture della realtà fisica: strutture che sono tutto ciò che possiamo conoscere della realtà, secondo la versione epistemologica del realismo strutturale; o strutture che sono tutto ciò che c'è, secondo la versione ontologica.⁵

Come emerge chiaramente dal dibattito sopra accennato, la questione della verità delle teorie fisiche rappresenta un punto centrale nella valutazione della natura e finalità del sapere scientifico. Domande come "Che cosa significa dire che una teoria fisica è vera?" e "Che cosa significa dire che una teoria fisica è *quella* vera?" mettono in gioco buona parte dei temi di fondo della filosofia della scienza: le teorie della verità e le concezioni di teoria scientifica, il problema dei rapporti tra teorie, la relazione tra teorie e realtà, il ruolo dei modelli e di come questi 'rappresentino' il mondo fisico, la validità e oggettività delle scienze della natura, e via dicendo.

In quanto segue riprendiamo in considerazione la questione della verità delle teorie fisiche alla luce di alcuni aspetti della fisica contemporanea che presentano implicazioni particolarmente interessanti per le tematiche menzionate. In particolare, prendiamo in esame:

- (1) che cosa comporta l'esistenza di diverse interpretazioni per uno stesso formalismo matematico, come nel caso della meccanica quantistica, per la questione "che cosa significa dire che una teoria fisica è vera";
- (2) che cosa comporta la rilevanza delle considerazioni di scala e l'attuale concezione delle correnti teorie quantistiche di campo (nei termini delle quali sono descritte le particelle elementari e le loro interazioni) come 'teorie effettive' -- cioè teorie che catturano in modo efficace ('effettivo') ciò che è fisicamente rilevante in un determinato dominio -- per la questione "che cosa significa dire che una teoria fisica è *quella* vera";

⁴ J. Worrall, "Structural realism: the best of both worlds" , *Dialectica*, **43**: 99-124, 1989.

⁵ La versione epistemologica è solitamente attribuita a Worrall, mentre paladini della versione ontologica sono S. French and J. Ladyman. Sulle diverse forme di realismo strutturale cfr., per esempio, il numero speciale **136** (2003) della rivista *Synthese* dedicato al tema.

- (3) che cosa comporta il ruolo assunto dai principi di simmetria nella descrizione fisica del mondo, e il legame che ne deriva tra simmetria e oggettività, per la questione se “le teorie fisiche devono essere vere per essere riconosciute come valide”.

La prospettiva che adottiamo riguardo alle teorie fisiche è quella *semantica*, in quanto più adeguata rispetto a quella *sintattica* a rappresentare le teorie come sono di fatto usate nella scienza. All'interno di questa prospettiva, che illustriamo nel paragrafo seguente, mettiamo in evidenza come la nozione di verità di una teoria (intesa nel senso della teoria della verità come corrispondenza) diventi:

- alla luce del punto (1), *relativa* a una determinata ‘interpretazione’ della teoria (senza che tuttavia questo implichi una posizione antirealista);
- alla luce del punto (2), *relativa* anche al determinato dominio o ‘livello di realtà’ a cui si riferisce la teoria (senza che tuttavia questo implichi una posizione antiriduzionista).

Si arriva così a una nozione ‘doppiamente indebolita’ di verità che non sembra più tanto interessante come parametro di riferimento per la validità di una teoria. Una promettente alternativa a questa nozione di verità, per quanto riguarda la valutazione e accettazione di una teoria fisica, è offerta dalla nozione di *oggettività*. Grazie al ruolo assunto nella fisica contemporanea dai principi di simmetria, è infatti possibile ottenere un criterio di oggettività delle teorie scientifiche che, a differenza di quanto succede quando si vincoli la validità delle teorie alla loro verità, è indipendente dalla natura del riferimento e, più in generale, dalla scelta di tipo realista o antirealista che si adotta. A questo punto sarà dedicata l’ultima parte del lavoro.

2. *Verità e interpretazione*

2.1. *L’approccio semantico alle teorie fisiche*

Nel corrente dibattito epistemologico ha preso sempre più importanza la cosiddetta ‘concezione semantica’ delle teorie scientifiche, introdotta tra gli anni cinquanta e sessanta del secolo scorso come approccio alla assiomatizzazione delle teorie fisiche alternativo a quello della ‘concezione sintattica’.

- La *concezione sintattica*, nata nell’ambito del positivismo logico e rimasta predominante per alcuni decenni (tanto da essere denominata “Received View”), è quella per cui le teorie sono viste come calcoli assiomatici (insiemi di assiomi e teoremi) parzialmente interpretati per mezzo di opportune regole di corrispondenza. Schematicamente, la concezione sintattica si basa sulle seguenti tesi:

- 1) una teoria fisica è una *teoria deduttiva*, cioè un insieme di enunciati (assiomi e teoremi) formulati in uno specifico *linguaggio*, il cui vocabolario è diviso in due sottovocabolari, quello dei termini teorici V_t e quello dei termini osservativi V_o ;

- 2) la *portata empirica* di una teoria è l'insieme delle conseguenze osservabili, descritto per mezzo dell'insieme T/V_0 dei teoremi espressi nel sottovocabolario V_0 . Due teorie T e T' sono *empiricamente equivalenti* quando i loro rispettivi insiemi di conseguenze osservabili coincidono, cioè $T/V_0 = T'/V_0$.

Secondo la concezione sintattica *presentare una teoria* significa quindi specificare, in un linguaggio esatto, un insieme di assiomi e teoremi e un dizionario parziale che collega il gergo teorico ai resoconti dei fenomeni osservati. Si tratta di un' "istantanea logica", più che di un'immagine fedele delle teorie utilizzate dagli scienziati, con diversi punti controversi tra i quali, innanzitutto, la distinzione tra termini teorici e termini osservativi (sulla quale riposa la definizione del contenuto empirico di una teoria).

- La *concezione semantica* nasce dalla constatazione che la formalizzazione di una teoria non è un procedimento puramente linguistico e sintattico. La convinzione che guida la formulazione di questo approccio, proposto prima da E. Beth e P. Suppes, e poi ulteriormente sviluppato da F. Suppe, van Fraassen e altri, è che le teorie non siano solo insiemi di enunciati (teoremi), ma *strutture* extralinguistiche che possono essere espresse nei termini di più formulazioni linguistiche. Secondo l'approccio semantico, molto più duttile di quello sintattico e senz'altro più adatto a descrivere le teorie della fisica moderna, una teoria consiste nella collezione dei suoi *modelli*, cioè delle specifiche strutture in cui tutti i suoi parametri rilevanti hanno valori tali che siano soddisfatti gli assiomi della teoria. In senso intuitivo, un modello è una delle strutture che la teoria ha a disposizione per 'rappresentare' il suo dominio; o usando le parole di van Fraassen, "si può pensare che i modelli rappresentino i *mondi possibili* permessi dalle teorie; uno di questi mondi possibili intende rappresentare il mondo reale".⁶ In sostanza, l'approccio semantico si basa sulle seguenti tesi (seguiamo qui la formulazione dell'approccio semantico di van Fraassen):

- 1') una teoria fisica consiste nella *classe dei suoi modelli*, cioè la classe delle strutture in cui tutti i parametri rilevanti della teoria hanno valori tali che ne siano soddisfatti gli assiomi;
- 2') la *forza empirica* della teoria è determinata dalla classe delle sue "sottostrutture empiriche", cioè quelle parti dei modelli che fungono da candidati per la rappresentazione diretta dei fenomeni osservabili. La teoria T è empiricamente almeno tanto forte quanto la teoria T' ($T \succ_e T'$) se, per ogni modello M di T , c'è un modello M' di T' tale che tutte le sottostrutture empiriche di M sono isomorfe alle sottostrutture empiriche di M' .⁷ Le teorie T e T' sono *empiricamente equivalenti* se $T \succ_e T'$ e $T' \succ_e T$.

Secondo la concezione semantica *presentare una teoria* significa quindi specificare una famiglia di strutture -- i suoi *modelli* --, e specificare certe parti di questi modelli -- le *sottostrutture empiriche* -- per la rappresentazione diretta dei fenomeni osservabili.

⁶ B. van Fraassen, *op. cit.*, p. 77.

⁷ L'isomorfismo è l'identità di struttura: una struttura può venire incorporata in un'altra, se la prima è isomorfa a una parte (sottostruttura) della seconda.

A questo punto ci possiamo chiedere che cosa significhi parlare di “verità di una teoria” secondo questa concezione (alla quale d’ora in poi faremo riferimento nel discutere di teorie fisiche). La questione deve essere affrontata nel contesto della *teoria semantica* su cui si basa quest’approccio alle teorie fisiche, che è la semantica sviluppata da Alfred Tarski negli anni Trenta del Novecento.

2.2. ‘Interpretazione’, ‘verità’ e ‘modello’ nella semantica tarskiana

La teoria formale dei significati e dei modelli elaborata da Tarski risponde a questioni come: “Che cosa vuol dire *interpretare* una teoria (cioè associare *significati* alle proposizioni o agli enunciati di una teoria)?”⁸, “Che cosa vuol dire che un proposizione è *vera* rispetto a una data interpretazione e che un’interpretazione *verifica* gli assiomi di una teoria?” Riassumiamo schematicamente i punti della teoria tarskiana che ci interessano relativamente alle nozioni di ‘interpretazione’, ‘verità’ e ‘modello’.⁹

• Interpretazione

Che cosa significa interpretare una teoria, e innanzitutto interpretare un linguaggio? L’interpretazione di un linguaggio L (consideriamo per semplicità un ‘linguaggio elementare’ senza variabili)¹⁰ è determinata specificando:

- 1) l’universo del discorso U (l’universo delle cose di cui si intende parlare) o *dominio* dell’interpretazione;
- 2) i *significati* che assumono in U le diverse costanti descrittive del linguaggio (consideriamo qui solo nomi individuali a_i e predicati a n argomenti P_j^n).

L’interpretazione si può dunque descrivere attraverso la *struttura* $\langle U, \nu \rangle$ associata al linguaggio L , dove U rappresenta l’universo del discorso, e ν è l’operazione che assegna i significati in U alle costanti descrittive del linguaggio. Seguendo la concezione *estensionale* dei significati,¹¹ l’operazione ν può essere esplicitata come segue:

- a) $\nu : a_i \rightarrow \nu(a_i) \in U$ ($\nu(a_i)$ appartiene a U), cioè il significato che ν associa a una costante individuale è un individuo di U ;
- b) $\nu : P_j^n \rightarrow \nu(P_j^n) \subseteq U^n$ ($\nu(P_j^n)$ è sottoinsieme di U^n), cioè il significato che ν associa a un predicato a n argomenti è un insieme di n -ple ordinate di individui di U . Per esempio, se il dominio è l’insieme degli esseri umani, la relazione “padre di” (predicato a due argomenti) può essere identificata con l’insieme delle coppie ordinate (a_i, a_j) tali che a_i è il padre di a_j .

• Verità

⁸ Scegliamo di non distinguere, qui, tra ‘enunciato’ e ‘proposizione’.

⁹ Seguiamo qui la presentazione della semantica tarskiana contenuta in M.L. Dalla Chiara, *Logica*, Mondadori, Milano, 1979, pp. 65 sgg.

¹⁰ Per una definizione precisa di ‘linguaggio elementare’ rimandiamo a E. Casari, *Logica*, UTET, Torino, 1995, § 4.2.

¹¹ La concezione di Frege dei significati come ‘estensioni’, che rappresentano il riferimento concreto delle configurazioni linguistiche.

La verità di una proposizione è definita rispetto a una interpretazione $\langle U, v \rangle$ del linguaggio. Per esempio, per la verità di una proposizione del tipo $P_i^I(a_i)$, che rappresenta l'affermazione “ a_i gode della proprietà P_j^I ”, vale la seguente definizione:

$P_j^I(a_i)$ è vera nell'interpretazione $\langle U, v \rangle$ di L se e solo se $v(a_i) \in v(P_j^I)$ ($v(a_i)$ appartiene a $v(P_j^I)$).

La proposizione $P_j^I(a_i)$ è cioè vera sotto l'interpretazione fissata quando l'individuo che è il significato del nome a_i gode effettivamente della proprietà espressa dal predicato P_j^I . In altre parole, “ a_i gode della proprietà P_j^I ” (per esempio, “la neve è bianca”) è vero quando effettivamente a_i gode della proprietà P_j^I (quando effettivamente la neve è bianca) sotto l'interpretazione fissata. La semantica tarskiana offre così una versione formale e raffinata della definizione aristotelica di verità (“vero è dire di ciò che è che è, o di ciò che non è che non è”).

La verità di una proposizione è quindi una nozione *relativa* all'interpretazione del linguaggio. Solo una *verità logica* è indipendente dall'interpretazione, nel senso che è vera in ogni possibile interpretazione.

- *Modello*

La nozione di ‘modello’ che interessa è quella definita in relazione a un *sistema formale*. Un sistema formale SF è determinato da una terna $\langle L, A, R \rangle$, dove L è un linguaggio formale, A un insieme di enunciati di L che corrispondono agli assiomi del sistema, e R un insieme di regole di inferenza (che costituiscono, insieme agli assiomi logici, la *logica* del sistema formale). Un *modello* di SF è allora definito come una interpretazione del linguaggio del sistema formale (una *struttura astratta associata* al linguaggio) in cui sono veri tutti gli assiomi della teoria:

la struttura M associata al linguaggio di SF è un modello del sistema se rende veri tutti gli assiomi della teoria.

Come si applica tutto questo alle teorie fisiche? Secondo la teoria standard dei modelli, una *teoria formalizzata* T è costituita da un sistema formale SF e dalla classe \mathfrak{M} di tutti i modelli di SF . In sintesi, una teoria formalizzata è rappresentabile per mezzo del seguente schema:

$T = \langle SF, \mathfrak{M} \rangle$

con

$SF = \langle L, A, R \rangle$

(L = linguaggio formale, A = insieme di assiomi, R = insieme di regole di inferenza),

\mathfrak{M} = la classe di tutti i *modelli* M_i di SF .

Una *teoria fisica formalizzata*, nella concezione semantica, è un caso particolare di teoria formalizzata nel senso appena descritto. Vediamo, nel paragrafo successivo, la definizione di teoria fisica formalizzata nell'ambito di un ampliamento in senso ‘empirico’ della teoria dei modelli.¹²

¹² Seguiamo qui, grosso modo, la caratterizzazione di teoria fisica formalizzata

2.3. Modelli fisici e verità rispetto a un modello fisico

In analogia alla caratterizzazione di 'teoria formalizzata' nella teoria standard dei modelli, una *teoria fisica formalizzata* \mathbf{T}_F è costituita da un sistema formale fisico \mathbf{SF}_F e dalla classe \mathfrak{M}_F di tutti i *modelli fisici* di \mathbf{SF}_F . In sintesi, una teoria fisica formalizzata è rappresentabile per mezzo del seguente schema:

$$\mathbf{T}_F = \langle \mathbf{SF}_F, \mathfrak{M}_F \rangle$$

con

$$\mathbf{SF}_F \text{ (sistema formale fisico)} = \langle \mathbf{L}_F, \mathbf{A}, \mathbf{R} \rangle$$

(\mathbf{L}_F = linguaggio formale che ammette un'interpretazione fisica, \mathbf{A} = insieme di assiomi, \mathbf{R} = insieme di regole di inferenza),

\mathfrak{M}_F = la classe di tutti i *modelli fisici* di \mathbf{SF}_F .

Un *modello fisico* M_F è definito come una interpretazione del linguaggio \mathbf{L}_F in cui sono veri tutti gli assiomi di \mathbf{SF}_F . Nella letteratura esistono diverse proposte per caratterizzare in modo esplicito la struttura che corrisponde a un modello fisico. Ci limitiamo a ricordare i tratti essenziali della proposta di Dalla Chiara e Toraldo di Francia. Secondo la loro formulazione, un modello fisico è rappresentabile nei termini di una terna costituita da una parte matematica MAT , una parte 'empirica' EMP , e una funzione di traduzione ρ tra la parte empirica e quella matematica: Schematicamente M_F viene rappresentato come

$$M_F = \langle MAT, EMP, \rho \rangle$$

dove

- MAT è la parte matematica di M_F (che può essere il modello standard del sottosistema matematico di \mathbf{SF}_F);
- EMP è parte 'empirica' di M_F , costituita da un insieme di 'situazioni fisiche' (sistemi fisici in stati determinati) e 'grandezze fisiche' definite relativamente a queste situazioni;
- ρ è una funzione che associa un'interpretazione matematica in MAT ai termini di EMP .

La *verità* di una proposizione è definita nei seguenti due passi. Considerando il caso tipico in cui le proposizioni fisiche asseriscono che sussistono determinate relazioni matematiche tra certe grandezze fisiche, cioè il caso in cui sono esprimibili nella forma $A(g_1, g_2, \dots, g_n)$ (dove A esprime la relazione matematica che sussiste tra le grandezze g_1, g_2, \dots, g_n), Dalla Chiara e Toraldo di Francia definiscono in successione (1) la nozione di *verità rispetto a un sistema fisico* e (2) la nozione di *verità rispetto a un modello fisico* nel seguente modo:

(1) *Verità rispetto a un sistema fisico*

Una proposizione $A(g_1, g_2, \dots, g_n)$ è *vera rispetto a un sistema fisico* S ,

presentata in M. L. Dalla Chiara e G. Toraldo di Francia, *Le teorie fisiche*, Boringhieri, Torino, 1981 (testo a cui rimandiamo per maggiori dettagli).

appartenente al dominio empirico di un modello M_F , se e solo se i risultati di una misurazione in S delle grandezze rappresentate da g_1, g_2, \dots, g_n ammettono n valori che soddisfano, nel modello matematico MAT (parte matematica del modello fisico M_F), la relazione matematica espressa da A .

Per esempio, la seconda legge della dinamica $f = ma$ risulterà *vera* rispetto a un sistema fisico S quando i tre intervalli reali che rappresentano i tre risultati di una misura in S delle grandezze *forza*, *massa* e *accelerazione* contengono rispettivamente tre numeri reali a, b, c tali che $a = bc$.

(2) *Verità rispetto a un modello fisico*

Una proposizione $A(g_1, g_2, \dots, g_n)$ è *vera rispetto al modello fisico M_F* quando risulta vera (secondo la definizione precedente) rispetto a tutti i sistemi fisici di M_F per i quali le grandezze g_1, g_2, \dots, g_n hanno valori definiti.

La nozione di verità rispetto a un modello fisico è di carattere parziale, come quella di ‘adeguatezza empirica’ usata da van Fraassen. L’uso di nozioni ‘parziali’ di questo tipo, che sono in qualche modo alternative a quella generale di ‘verità di una teoria’, risponde a un’impostazione che ritiene più opportuno concentrarsi su aspetti pragmatici e empirici che non su domande come “La teoria è vera?” o “Sotto quali condizioni la teoria è vera?”. Ma che cosa si può dire in base all’approccio semantico alle teorie fisiche relativamente alla questione generale della verità di una teoria?

2.4. Rappresentazione e interpretazione

Nell’approccio semantico, per rispondere a domande relative alla verità di una intera teoria è necessario avere a disposizione una *teoria della rappresentazione*: cioè una teoria su come i modelli rappresentino effettivamente la realtà che si intende descrivere. La questione della verità delle teorie (la ‘verità in toto’) diventa dunque la questione di come i modelli ‘rappresentino’. Intuitivamente, l’idea è che la teoria sia vera se il mondo reale è uguale (o isomorfo, cioè con la stessa struttura) a uno dei suoi modelli: se cioè uno dei mondi possibili che la teoria ammette è il mondo reale, o, detto altrimenti, se le cose nel mondo reale stanno come la teoria dice che esse devono stare. Da questo punto di vista, una teoria fisica è caratterizzata da tre componenti: la sua ‘struttura formale’, la sua ‘portata empirica’ (l’insieme delle conseguenze empiriche) e la sua ‘interpretazione’, cioè com’è il mondo reale in accordo ad essa. Il termine ‘interpretazione’ riferito all’intera teoria viene quindi ad assumere il significato di ‘mondo reale in accordo alla teoria’, o il mondo possibile che effettivamente corrisponde a quello reale.

Il problema di ottenere una teoria soddisfacente della rappresentazione è del tutto aperto e ultimamente molto discusso specialmente tra i filosofi della scienza interessati agli aspetti strutturali delle teorie fisiche. Ci limitiamo qui a mettere in evidenza un solo aspetto di questa complessa tematica, che è quello del problema posto dall’esistenza di più ‘interpretazioni’ per una stessa teoria fisica. Se la verità di un’intera teoria è determinata dal fatto che il mondo reale sia effettivamente come la teoria dice che deve essere, che cosa succede nel caso che una teoria ammetta più di un’interpretazione, cioè nel caso che, secondo la teoria, il mondo reale possa essere fatto in due o più modi diversi? La fisica, sia classica sia quantistica, ammette simili situazioni. A titolo d’illustrazione, consideriamo i due

casi seguenti: 1) l'elettromagnetismo classico, e 2) la meccanica quantistica.

(1) *Il caso dell'elettromagnetismo classico*

La struttura della teoria classica dei fenomeni elettromagnetici consiste essenzialmente nelle *equazioni di Maxwell* (ottenute da J. C. Maxwell nella seconda metà dell'Ottocento):¹³

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \cdot \vec{E} &= \rho_e, \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0, \\ \vec{\nabla} \wedge \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \\ \vec{\nabla} \wedge \vec{B} &= \vec{j}_e + \frac{\partial \vec{E}}{\partial t},\end{aligned}$$

e nell'espressione matematica che definisce la *forza di Lorentz* (dovuta a A. Lorentz):

$$\vec{F} = e(\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B}).$$

Le grandezze fisiche in gioco sono il campo elettrico \vec{E} , il campo magnetico \vec{B} , la carica e e le sue relative densità di carica ρ_e e di corrente \vec{j}_e . Se ci si chiede come deve essere fatto allora 'il mondo' in accordo a questa teoria, cioè quale sia l'interpretazione di una teoria che mette in gioco queste grandezze fisiche e che è caratterizzata dalla struttura sopra descritta, due possibili risposte sono le seguenti:

- *interpretazione₁* : il mondo è fatto in modo che ad essere reali sono i campi che si propagano in modo continuo (le cariche sono entità derivate);
- *interpretazione₂* : il mondo è fatto in modo che ad essere reali sono le particelle cariche interagenti a distanza (i campi sono entità derivate, creati dalle cariche e dal loro movimento).¹⁴

Quali dei due mondi è quello reale? Abbiamo una teoria con due diverse interpretazioni; o altrimenti detto, se includiamo nella definizione di una teoria anche la sua interpretazione, due diverse teorie che descrivono gli stessi fenomeni fisici (cioè con la stessa 'portata empirica').

(2) *Il caso della meccanica quantistica*

¹³ Le equazioni sono formulate nel caso in cui il campo si propaga nel vuoto e usando la notazione in cui la velocità della luce è posta uguale all'unità ($c=1$).

¹⁴ L' *interpretazione₁* è storicamente legata a Maxwell. L' *interpretazione₂*, che riprende la concezione dell'elettrodinamica continentale precedente alla teoria di Maxwell, si appoggia a una formulazione matematica che può essere ricondotta a quella di Maxwell (in questo senso, quindi, si può parlare della stessa struttura nei due casi).

Allo stato attuale, la meccanica quantistica è una teoria fisica con una definita struttura formale e una determinata portata empirica, ma con un problema interpretativo ancora aperto. Le interpretazioni di questa teoria sono infatti molteplici: da quella ‘standard’ detta di Copenhagen alla ‘meccanica bohmiiana’, dalla ‘teoria dei molti mondi’ (nelle sue varie versioni) alla ‘teoria della riduzione dinamica’ e alla ‘teoria della decoerenza’.¹⁵ Ognuna di queste interpretazioni ci dice qualcosa di diverso su come è fatto il mondo descritto dal formalismo quantistico. Se per esempio ci chiediamo se una particella microscopica come l’elettrone abbia una traiettoria ben definita, secondo alcune interpretazioni (come quella di Copenhagen) la domanda avrà una risposta negativa, secondo altre interpretazioni (come quella di Bohm) la domanda avrà una risposta positiva. La verità di una proposizione come “l’elettrone ha una traiettoria ben definita” dipende dunque dall’interpretazione scelta: se la teoria è interpretata alla Copenhagen la proposizione è falsa (nel senso che il mondo quantistico, secondo tale interpretazione, è fatto in modo che le particelle microscopiche non abbiano una traiettoria ben definita), se la teoria è interpretata alla Bohm la proposizione è vera (il mondo quantistico, secondo l’interpretazione bohmiiana, è fatto in modo che le particelle microscopiche abbiano una traiettoria ben definita). Ma il vero problema è che cosa succede della verità dell’intera teoria. Come prima per il caso dell’elettromagnetismo, ci troviamo di fronte a una teoria che, a seconda dell’interpretazione scelta, ci dice che il mondo è fatto in un certo modo oppure in un altro. Come possiamo giudicare, in tal caso, della verità della teoria, se la verità è intesa nel senso visto sopra (la teoria è vera se il mondo reale è effettivamente come essa dice che sia)? Ma i problemi per la nozione di verità non finiscono qui.

3. *Verità e rapporti interteorici*

3.1. *Teorie fisiche e livelli di realtà*

Una teoria fisica è di solito definita relativamente a un dato ‘dominio’, o settore del mondo fisico (quello che, nell’illustrare la concezione semantica, abbiamo chiamato l’universo del discorso). Riguardo alla verità delle teorie fisiche, si pone allora l’ulteriore questione: se la teoria considerata, chiamiamola T , può essere ottenuta da un’altra teoria T' (nel senso che le leggi di T sono derivabili dalle leggi di T') con un qualche procedimento (come, per esempio mandare a un valore limite un parametro della teoria di partenza), quale sarà la teoria ‘vera’, T o T' ? Se per esempio T è la teoria newtoniana (dello spazio, del tempo e del moto) e T' la teoria della relatività speciale di Einstein (che si riduce alla meccanica newtoniana per velocità molto minori della velocità della luce), viene da dire che la teoria vera è la relatività speciale. Questa è di fatto l’opinione comune: la teoria di Newton è falsa, ed è stata sostituita dalla relatività speciale che è la teoria vera. Ma la teoria newtoniana funziona molto bene in un certo dominio: relativamente ad esso ‘salva i fenomeni’ esattamente come la teoria della relatività, e la sua descrizione dello spazio e del tempo (e in generale del mondo) può essere ‘vera’ per la scala fisica o ‘livello di realtà’ a cui si applica.

¹⁵ Una illustrazione dettagliata delle diverse interpretazioni della meccanica quantistica si trova, per esempio, in G. Ghirardi, *Un’occhiata alle carte di Dio*, Il Saggiatore, Milano, 1997.

La verità di una teoria fisica può quindi dipendere non solo dalla sua interpretazione, ma anche dal dominio di applicazione che si considera. La teoria T può andare benissimo per un dato ambito di realtà ed eventualmente risultare relativamente ad esso ‘vera’, ma essere invece inadeguata e ‘falsa’ se estesa a un altro dominio, dove varrà una diversa teoria T' . La realtà fisica, in altre parole, richiede diversi tipi di descrizione a seconda del ‘livello’ che si considera (la fisica che serve per descrivere il moto di un fluido, per esempio, non è la stessa di quella che serve per descrivere il moto delle particelle che compongono il fluido).

La questione della verità delle teorie si intreccia così con quella dei rapporti tra le descrizioni fisiche dei diversi ambiti della realtà. Se una teoria è riconducibile a un'altra teoria più fondamentale, è naturale pensare che quest'ultima sia la teoria vera. In generale, si tende ad associare a una posizione riduzionista, per cui tutte le teorie sono riconducibili ad un'unica teoria ‘fondamentale’, l'idea che la teoria fondamentale sia anche *quella* vera. Mentre a una posizione antiriduzionista viene di solito associato una sorta di relativismo per quanto riguarda la verità: per un antiriduzionista non c'è *la* teoria vera, ma ci sono diverse teorie ognuna con un proprio valore di verità (limitato al proprio dominio di applicazione).

Se ci sia una scienza (una teoria) a cui tutte le altre possano essere ‘ridotte’ e che cosa voglia dire ‘ridurre’ una scienza (teoria) a un'altra sono questioni controverse e molto discusse nella letteratura filosofica. Il quadro generale in cui s'inserisce questa discussione è quello della riflessione sulla natura dei rapporti tra livelli: data una sorta di struttura gerarchica di livelli di un qualche tipo di ‘unità’ (livelli di fenomeni, entità, teorie, proprietà, ...), quali relazioni si possono stabilire tra questi livelli? Se il quadro di riferimento è il mondo fisico e i livelli di cui si parla sono livelli di organizzazione della materia (o i corrispondenti livelli di descrizione fisica), un modo di stabilire un loro ordinamento è quello fondato sulla scelta di una *scala* -- una scala di energie, o una scala di lunghezze, o una scala temporale. Un livello viene così definito in corrispondenza a un determinato ambito di valori della scala: per esempio, nei termini di una scala di energie, un livello L_i è considerato più ‘fine’ (a grana più fine) di un livello L_j se corrispondente a valori dell'energia più alti; e viceversa, un livello L_j è considerato ‘a grana più grossa’ di un livello L_i se corrispondente a valori dell'energia più bassi (per esempio, la teoria che descrive il moto di un fluido riguarda un livello a grana più grossa rispetto alla teoria che descrive il moto delle particelle componenti il fluido). Data una struttura gerarchica di più livelli L_n , dove il livello L_i è più fine del livello L_{i+1} , la questione è quindi: in che relazione stanno tra loro le unità in due livelli successivi L_i e L_{i+1} ? Nella letteratura, le relazioni prese in considerazione sono quelle di *riduzione* (le unità del livello L_{i+1} si riducono a quelle del livello L_i), di *sopravvenienza* (le unità di L_{i+1} sopravvivono su quelle di L_i), e di *emergenza* (le unità di L_{i+1} emergono da quelle di L_i).¹⁶

Senza entrare nel merito di questo dibattito, ci limitiamo qui a ricordare un approccio -- noto come *approccio delle teorie di campo effettive* -- che si è recentemente affermato nella fisica teorica e che risulta particolarmente significativo dal punto di vista della rilevanza delle *considerazioni di scala* nel discutere di teorie scientifiche (e, in particolare, della verità delle teorie). Una

¹⁶ Rimandiamo, per dettagli e riferimenti su questo dibattito, a G. Peruzzi (a cura di), *Scienza e realtà. Riduzionismo e antiriduzionismo nelle scienze del Novecento*, Bruno Mondadori, Milano, 2000.

‘teoria effettiva’ è una teoria che cattura in modo efficace (‘effettivo’) ciò che è fisicamente rilevante in un determinato dominio. L’idea che è alla base di questa nozione e della sua applicazione nelle teorie quantistiche e relativistiche dei campi (nei termini delle quali sono correntemente descritte le cosiddette ‘particelle elementari’) è appunto quella che la fisica cambia al variare della scala: cioè l’idea che a valori molto diversi della scala fisica considerata, per esempio a valori molto diversi dell’energia, ciò che è fisicamente rilevante può cambiare notevolmente. Il che equivale anche a dire, nel caso di un sistema fisico, che il sistema può apparire molto diverso se considerato da un punto di vista ‘a grana grossa’ o da un punto di vista ‘a grana fine’. Nel contesto delle teorie dei campi, per proprietà intrinseche della descrizione quantistica *locale* che le caratterizza, quest’idea ha assunto connotati molto precisi e si è rivelata particolarmente conveniente, portando, come vedremo, a un cambiamento di prospettiva su ciò che è ‘fondamentale’ nella descrizione fisica, e aprendo così una nuova prospettiva anche per la discussione filosofica sui rapporti interteorici.

3.2. Rapporti tra livelli e ‘teorie effettive’

Secondo una concezione largamente diffusa, la ‘scienza fondamentale’ – alla quale è attribuito il carattere di ‘teoria ultima’ e dunque ‘vera’ -- è quella parte della ricerca di base che si occupa degli ultimi costituenti del mondo fisico e delle leggi che ne governano il comportamento e le interazioni. ‘Più fondamentale’, in quest’ottica, è quindi la scienza di ciò che succede a distanze sempre più piccole (e corrispondentemente, a tempi sempre più piccoli e a energie sempre più alte). Nella storia della fisica del Novecento, il successo del cosiddetto Modello Standard delle particelle elementari affermatosi a partire dagli anni Settanta ha rappresentato una conferma importante di questa concezione. Per il carattere apparentemente unificato ed elementare della descrizione fornita -- pochi costituenti basilari (i quark e i leptoni) e un trattamento unificato delle loro interazioni (debole, elettromagnetica e forte), interpretate come fondate sullo stesso principio (il principio di gauge) e descritte tutte nei termini di una teoria dei campi rinormalizzabile -- il Modello Standard è stato visto da molti come il paradigma di una teoria fondamentale. Per quanto fosse chiaro che esso non poteva essere la teoria finale -- non includendo la gravitazione e contenendo un certo numero di parametri arbitrari --, il notevole successo (anche dal punto di vista delle conferme sperimentali) del Modello Standard ha reso piuttosto naturale pensare che le teorie fisiche fondamentali dovessero avere la forma di teorie quantistiche dei campi rinormalizzabili.

In tempi recenti, tuttavia, in seguito a ulteriori sviluppi nella teoria dei campi e in particolare nell’applicazione della *teoria del gruppo di rinormalizzazione* alla fisica delle particelle, si è verificato un cambiamento in questo modo di concepire le teorie fisiche fondamentali. Un cambiamento di attitudine ha infatti portato i fisici a vedere le teorie dei campi che costituiscono il Modello Standard come ‘teorie effettive’, che rappresentano il limite a basse energie di una teoria più fondamentale che potrebbe anche non avere la forma di una teoria di campo. Questa nuova prospettiva, per cui le attuali teorie dei campi sono considerate come approssimazioni di altre teorie ‘più fini’, ha reso possibili diverse attitudini riguardo a ciò che è fisicamente fondamentale: da un *riduzionismo radicale*, secondo cui esiste una teoria fondamentale (la teoria delle stringhe, la teoria M,) alla base sia delle attuali teorie quantistiche dei campi sia della relatività generale, tutte intese come teorie effettive, a un *antiriduzionismo radicale*,

secondo cui ciò che la fisica può ottenere è al massimo una ‘torre’ senza fine di teorie effettive, con la corrispondente immagine del mondo fisico come stratificato in una serie di livelli quasi autonomi, ognuno dei quali è caratterizzato da una propria ontologia e da proprie leggi fondamentali.¹⁷

Ciò che ci interessa, relativamente alle questioni della verità delle teorie e dei rapporti interteorici, è il suggestivo scenario a cui la concezione delle teorie dei campi come teorie effettive può portare: una struttura a livelli di teorie effettive, dove ogni livello è definito in corrispondenza a un determinato valore della scala delle energie. Abbiamo così una situazione esemplare di ‘realtà fisica stratificata’ da usare come ‘laboratorio’ per studiare i rapporti tra le teorie. Il fatto particolarmente significativo per la presente discussione è che nel formalismo della teoria dei campi questi livelli di teorie effettive sono correlati tra loro in un modo ben preciso, sulla base delle ‘condizioni di raccordo’ (matching conditions) che regolano i rapporti tra i parametri delle due teorie confinanti. Ci troviamo così a disposizione un esempio concreto di una struttura a livelli di teorie, l’una più ‘fine’ della precedente (progredendo in direzione di energie sempre più alte), tutte espresse nello stesso linguaggio (il linguaggio della teoria dei campi),¹⁸ e connesse tra loro in modo tale che, in base alle equazioni del gruppo di rinormalizzazione e alle condizioni di raccordo, è possibile ricostruire come una teoria ‘emerge’ da un’altra teoria più fine.¹⁹ Possiamo cioè rendere conto, in qualche modo, di ciò che emerge a un certo livello ‘a grana più grossa’ a partire da un livello ‘a grana più fine’, mantenendo allo stesso tempo una concezione ‘stratificata’ della realtà fisica.

Lo scenario fornito dalle teorie effettive ci permette quindi di concludere che a una concezione ‘stratificata’ della realtà fisica e dei corrispondenti livelli di descrizione teorica non corrisponda per forza l’impossibilità di ricostruire come una teoria sia collegata o ‘emerge’ da un’altra teoria ‘più fine’. Il che, dal punto di vista della questione della verità, si riflette nella possibilità di sostenere una forma di relativismo (la verità di una teoria dipende dall’ambito del mondo fisico che si considera) senza per questo necessariamente assumere una posizione antiriduzionista.

4. Verità e oggettività

La nozione di verità che emerge nel contesto dell’approccio semantico alle teorie e alla luce di alcuni sviluppi recenti della fisica contemporanea è quindi una nozione piuttosto ‘debole’: la verità di una teoria viene a dipendere sia dalla interpretazione della teoria sia dal dominio considerato. Questa nozione ‘indebolita’ non sembra dunque la più appropriata per fondare un criterio in base al quale accettare una teoria come ‘valida’. Per van Fraassen, come si è visto, l’accettazione di una teoria

¹⁷Per una discussione più dettagliata di queste posizioni, cfr. E. Castellani, “Reductionism, Emergence, and Effective Field Theories”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, **33/2**: 251-267, 2002.

¹⁸ Il che permette, nel considerare i rapporti interteorici, di evitare i problemi tipicamente connessi con la traducibilità tra linguaggi differenti.

¹⁹ Dove il termine ‘emergenza’ è inteso nel seguente senso: una teoria T_1 emerge da una teoria T_2 se, in una data parte del dominio di applicazione di T_2 , i risultati di T_2 sono ben approssimati da quelli di T_1 .

implica solo la credenza che la teoria sia ‘empiricamente adeguata’. È possibile tuttavia trovare un criterio aggiuntivo oltre all’adeguatezza empirica, senza per questo ricorrere alla nozione di verità: il criterio fondato sulla nozione di *oggettività*, intesa nel senso di ‘validità intersoggettiva’. Grazie al ruolo assunto dai principi di simmetria nelle teorie fisiche, è infatti possibile disporre di una nozione *generale* di oggettività, una nozione cioè che, a differenza di quanto succede per la nozione di verità, sia indipendente dalla natura del ‘riferimento’. Vediamo brevemente come.

La simmetria, intesa nel senso di ‘invarianza rispetto a un gruppo di trasformazioni’, ha ormai acquistato una posizione del tutto centrale nella descrizione, spiegazione e previsione dei fenomeni naturali. Dalla fisica microscopica alla cosmologia, dalla chimica alla biologia, la ricerca scientifica ricorre sempre di più a considerazioni, principi e metodi basati su proprietà di simmetria. Nella fisica contemporanea, le proprietà d’invarianza delle leggi fisiche sono postulate attraverso *principi*, noti comunemente come ‘principi di simmetria’ o ‘principi d’invarianza’. Il primo principio ad essere stato esplicitamente formulato come principio d’invarianza è il *principio della relatività speciale*, attraverso il quale Einstein stabiliva, nel 1905, l’invarianza delle leggi fisiche rispetto a cambiamenti di sistemi di riferimento inerziali. Dai primi lavori di Einstein sulla relatività alle più recenti teorie quantistiche dei campi, la storia dell’applicazione dei principi di simmetria all’indagine fisica coincide in larga parte con la storia della stessa fisica teorica: basti pensare alla formulazione della *relatività generale*, all’introduzione delle *simmetrie quantistiche* (in seguito all’estensione della teoria dei gruppi di simmetria all’ambito della meccanica quantistica), e all’elaborazione delle *teorie di gauge*, le teorie di campo fondate sulle cosiddette ‘simmetrie di gauge’ e attraverso le quali si descrivono, oggi, le particelle fondamentali e le loro interazioni.

Nello spirito della teoria della relatività, l’invarianza delle leggi fisiche rispetto alle trasformazioni spazio-temporali esprime l’invarianza rispetto a cambiamenti dei sistemi di riferimento o ‘osservatori’. Su questa base, è quindi possibile porre le invarianze spazio-temporali in rapporto con un criterio di *oggettività* (nel senso ristretto di ‘validità intersoggettiva’) della descrizione fisica: le leggi mediante le quali descriviamo l’evoluzione dei sistemi fisici hanno valore oggettivo in quanto non cambiano da un osservatore all’altro. L’antica e comune idea che ciò che è oggettivo non debba dipendere da fattori contingenti (come, per esempio, la particolare prospettiva dell’osservatore) viene così ad essere riformulata nei seguenti termini: *oggettivo* è ciò che è invariante rispetto al gruppo di trasformazioni dei sistemi di riferimento, oppure, parafrasando Hermann Weyl, “oggettività significa invarianza rispetto al gruppo di simmetria dello spazio-tempo”.²⁰

Abbiamo così a disposizione un criterio generale per giudicare il valore oggettivo delle leggi di una teoria fisica. Ma non solo. Sulla base delle simmetrie di una teoria è possibile anche ‘costituire’ in qualche modo gli *oggetti* della teoria. Il lavoro ‘seminale’ per l’uso delle simmetrie in relazione agli oggetti di una teoria è quello del 1939 di Eugene Wigner sulle ‘rappresentazioni’ del gruppo di Lorentz inomogeneo (il gruppo di trasformazioni spazio-temporali della relatività

²⁰ H. Weyl, *Symmetry*, Princeton University Press, Princeton, 1952. Trad. it.: *La simmetria*, Feltrinelli, Milano, 1962, p. 136.

speciale).²¹ In questo lavoro, tra le altre cose, veniva infatti stabilita la possibilità di ottenere una classificazione delle *particelle elementari* attraverso lo studio delle *rappresentazioni irriducibili* del gruppo di simmetria fondamentale (dove il carattere ‘irriducibile’ delle rappresentazioni corrisponde a quello ‘elementare’ delle particelle). Il punto fondamentale di questo risultato per la questione dell’oggettività fisica è che, sulla base della corrispondenza stabilita da Wigner tra sistemi fisici elementari e le rappresentazioni irriducibili del gruppo di simmetria della teoria, diventa possibile derivare in qualche modo le proprietà che caratterizzano in modo essenziale il tipo (o la ‘classe’) di particelle considerate -- cioè quelle proprietà *invarianti* come la massa, lo spin o la carica elettrica, che nel formalismo quantistico sono espresse dai cosiddetti numeri quantici.²² In altre parole, grazie agli sviluppi legati all’applicazione nella fisica dei principi di simmetria e alla loro trattazione attraverso gli strumenti formali della teoria dei gruppi di trasformazioni, possiamo disporre di una procedura generale per derivare in qualche modo le proprietà ‘intrinseche’ che caratterizzano un oggetto fisico e quindi costituire gli oggetti di una teoria come ‘insiemi d’invarianti’. Tutto questo ovviamente non ci dice nulla sul fatto se la teoria sia ‘vera’ o no; ma anche se resta aperta la questione della verità della teoria che stiamo considerando, abbiamo almeno a disposizione un criterio generale per stabilire se quello che la teoria dice abbia validità intersoggettiva o meno.

²¹ E. Wigner, “On unitary representations of the inhomogeneous Lorentz group”, *Annals of Mathematics* **40**, 1 : 149-204, 1939.

²² Per maggiori dettagli, cfr. E. Castellani, "Galilean Particles: An Example of Constitution of Objects", in E. Castellani (ed.), *Interpreting Bodies. Classical and Quantum Objects in Modern Physics*, Princeton University Press, Princeton, 1998, pp. 181-194.