

Marco Giunti, Antonio Ledda, Giuseppe Sergioli, *I Modelli nelle teorie scientifiche*, Carocci, 2016, pp.234, € 24, ISBN 9788843082216

Michele Pra Baldi, Università degli Studi di Padova

Qual è il significato di un modello rispetto a una teoria scientifica? Com'è possibile definire un modello e descrivere il suo contenuto? Questi sono alcuni degli interrogativi da cui il libro di Giunti, Ledda e Sergioli prende le mosse. Il testo è articolato in tre parti: nella prima (pp.15-97) si discute il rapporto tra i modelli e le teorie nell'ambito della filosofia della scienza. Nella seconda parte (pp.101-150) sono invece analizzati e messi a confronto i principali modelli in fisica, mentre nella terza parte (pp.155-207) è fornita una ricca introduzione ai principali aspetti matematici alla base della teoria dei modelli.

In generale, la prima parte del testo si focalizza sulla dimensione semantica delle teorie, ad eccezione del secondo capitolo che ne presenta la *concezione sintattica* (o enunciativa). Secondo questa prospettiva, la cui versione più matura è proposta da Hempel, una teoria è un insieme di enunciati appartenenti a un determinato linguaggio formale. Più nel dettaglio, definito un linguaggio L (soggetto ad estensioni) in cui la teoria viene formulata, una teoria empirica T viene espressa per mezzo di una coppia (T_L, I_L0) . T_L rappresenta una teoria assiomatizzata, e I_L0 costituisce un sistema interpretativo, ovvero un contesto d'interpretazione empirica che attribuisce alla teoria un contenuto reale. Un modello di una teoria scientifica risulta quindi una realizzazione del linguaggio L in cui sono veri tutti gli assiomi di T_L . Suppes e Van Fraassen sono tuttavia dell'idea che la concezione sintattica delle teorie presenti evidenti limiti, legati soprattutto all'impossibilità di analizzare teorie più complesse, non riducibili a una serie di enunciati. Partendo da queste problematiche, Suppes propone l'*interpretazione teorico-insiemistica* dei modelli, la prima tra le interpretazioni semantiche discusse nel testo. Per Suppes, il rapporto tra teorie scientifiche e mondo si riduce a quello tra mondo e modelli – non più enunciati –, i quali a loro volta sono suddivisi in gradi di complessità. I modelli così detti “base” instaurano un rapporto di identità con il mondo, mentre quelli più complessi un rapporto di *adeguatezza empirica*. La terza posizione, quella di Van Fraassen, s'inserisce in questo contesto, riformulando il

criterio di adeguatezza empirica come un rapporto di *isomorfismi* tra strutture empiriche e apparenze. L'interpretazione teorico-insiemistica, a sua volta, si articola in diverse correnti: l'approccio di Suppe, quello dello *spazio degli stati* e quello *strutturalista*. Suppe configura il rapporto tra teorie scientifiche e mondo non più sulla base dell'adeguatezza empirica, ma della *verità* (qui verità ha significato *empirico*, non *semantico*). Questo rapporto non s'instaura tra i modelli di una teoria e il mondo reale, bensì tra modelli e una realtà controfattuale. La realtà di cui Suppe parla è quella che si realizzerebbe se gli unici fenomeni rilevanti fossero quelli descritti dalla teoria presa in considerazione. Una teoria empirica necessita, secondo questa interpretazione, di uno *spazio degli stati*, ovvero di un campo d'interpretazione inteso che determini la classe di fenomeni possibili che la teoria vuole descrivere. Questo approccio è chiamato *realismo* modificato (p.47). La quinta delle interpretazioni proposte è quella *strutturalista*, sviluppata nella sua forma più recente da Bickle. Questa concezione presuppone una forma di realismo *ingenuo*, non più modificato (p.55), secondo cui sono i fenomeni stessi a costituire i modelli di una teoria empiricamente vera. Il sesto capitolo considera ulteriori approcci al problema. In primo luogo, la semantica non standard di Dalla Chiara e Toraldo di Francia, per cui il contatto tra enunciati fisici e mondo è dato dalle *realizzazioni fisiche* del linguaggio della teoria. In seguito, è discusso l'approccio socio-cognitivo di Giere, il quale nega l'interpretazione matematico-insiemistica dei modelli, evidenziandone il carattere convenzionale e sociale. Giere sostiene infatti che non può esserci alcun rapporto di verità tra teorie scientifiche e mondo, ma solo di *somiglianza* alla luce delle convenzioni linguistiche utilizzate da una comunità scientifica per descrivere fenomeni naturali. Nel settimo e ultimo capitolo della prima parte si tematizza una forma di realismo *costruttivo*, basato su una nuova semantica che “mette in relazione *modelli* e *mondo reale*” (p.97), senza fermarsi all'usuale rapporto tra enunciati e mondi possibili.

La seconda parte del testo ha come oggetto i principali modelli in fisica. I modelli presi in considerazione sono quello *classico*, *elettromagnetico*, *relativistico* e *quantistico*. Il primo è il modello della fisica classica, utilizzato per descrivere fenomeni di meccanica e dinamica. Il suo tratto distintivo è il carattere predittivo e deterministico: conoscendo la situazione iniziale del

sistema è possibile prevedere *deterministicamente* la sua evoluzione. Ciò che distingue il modello classico dai successivi è la *teoria degli errori*: in un esperimento è sempre possibile stimare la propria ignoranza rispetto al sistema fisico. Va notato che “riconoscere tale ignoranza non corrisponde affatto a una conversione verso la casualità; corrisponde anzi a riconoscere pienamente il connotato deterministico dei fenomeni fisici” (p.115). In seguito, è descritto il modello elettromagnetico, la cui specificità, rispetto a quello classico, è il concetto di *campo*. Un aspetto fondamentale del modello elettromagnetico è lo studio unificato di grandezze fisiche “solo in apparenza indipendenti” (p.128). In breve, ciò si può riassumere notando che ogni campo elettrico causato dal passaggio di corrente genera un campo magnetico e che ogni variazione di campo magnetico genera un campo elettrico (p.126). Rispetto al modello classico, inoltre, le variazioni di energia scambiate all’interno del campo sono in alcuni casi discrete (cioè non continue). In seguito, è dedicato ampio spazio all’analisi del modello relativistico. La differenza fondamentale rispetto al modello classico ed elettromagnetico sta nel ruolo dell’osservatore, che non è più una figura indipendente rispetto all’osservazione di un fenomeno fisico. In particolare, nel modello relativistico, l’esito della misurazione dipende dal rapporto tra sistemi di coordinate in movimento reciproco. Il capitolo quattro discute la teoria della relatività ristretta e la teoria della relatività generale, con particolare attenzione al ruolo del sistema di riferimento e al concetto di *coordinata spazio-temporale*. Lo spazio e il tempo, in questa prospettiva, sono strettamente correlati e, a differenza del modello classico, non hanno carattere *assoluto*. Infine, è preso in considerazione il modello quantistico, che stabilisce una dipendenza diretta tra l’atto del misurare compiuto dall’osservatore e l’esito della misurazione. Ciò significa che, nel modello quantistico, la *descrizione* di uno stato del sistema (processo di misura) va distinta dall’*evoluzione* di quello stato. Se l’evoluzione di uno stato del sistema continua a essere descritta in modo deterministico (equazione di Schrödinger), la descrizione di quello stato, diversamente dal modello classico, è di natura probabilistica.

La terza e ultima parte del libro è una dettagliata introduzione alla teoria matematica dei modelli e ad alcuni dei suoi risultati più importanti. La trattazione è in larga parte tecnica. In

generale, come efficacemente sintetizzano gli autori, la teoria matematica dei modelli studia “i rapporti tra la sintassi formale con la quale si possono formulare le teorie matematiche e i sistemi matematici appropriati” (p.155). La teoria matematica dei modelli si fonda da una parte sulla logica predicativa del primo ordine con identità, dall'altra sull'algebra universale. La prima costituisce il piano sintattico-linguistico della teoria, mentre la seconda fornisce le risorse per lo studio delle proprietà delle strutture algebriche.

La seconda sezione della terza parte, dopo una breve introduzione storica all'argomento, fornisce al lettore alcune delle definizioni più importanti utilizzate in teoria dei modelli, come quelle di *operazione*, *relazione*, *termine*, *formula*, *enunciato* e, sul piano semantico, quelle di *assegnazione*, *soddisfacimento*, *verità*, e *conseguenza logica*. L'esempio proposto nel testo (p.156) aiuta a chiarire la relazione tra struttura matematica, modello e soddisfacimento. Una versione semplificata è la seguente (nel testo è presentato l'esempio dei gruppi; qui, per brevità, quello dei semigrupperi). Siano S un insieme non vuoto e $*$ un'applicazione da $S \times S$ in S tale che, se a, b, c sono elementi di S , $a * (b * c) = (a * b) * c$; in questo caso, $(S, *)$ forma una struttura algebrica che si chiama semigruppero. Ora, considerando l'insieme dei numeri interi \mathbb{Z} , si nota facilmente che $(\mathbb{Z}, +)$ è un semigruppero, mentre $(\mathbb{Z}, -)$ non è un semigruppero (basta notare che $(2 - 3) - 1 = -2 \neq 0 = 2 - (3 - 1)$). In questo caso, diciamo che $(\mathbb{Z}, +)$ è un *modello* per la teoria matematica dei semigrupperi, e che $(\mathbb{Z}, -)$ non è un modello per la teoria matematica dei semigrupperi. La nozione fondamentale, a questo livello, è quella di *funzione di verità*: data una coppia formata da un enunciato del primo ordine e un modello, la funzione di verità valuta se l'enunciato è reso vero (o soddisfatto) da quel modello.

I rimanenti paragrafi della seconda sezione sono dedicati alle proprietà delle teorie elementari del prim'ordine e ai risultati meta teorici più famosi in teoria dei modelli. La sezione finale, invece, mostra com'è possibile costruire nuove strutture algebriche partendo da strutture “più piccole”: a tale proposito sono introdotte le nozioni di *ultrafiltro*, *prodotto ridotto* e *ultraprodotto*. Come importante applicazione delle proprietà degli ultraprodotti è presentata una dimostrazione alternativa del Teorema di Compattezza, già discusso nella sezione precedente.

Il libro termina con sei brevi appendici in cui sono richiamati alcuni concetti di base utilizzati nel corso del testo.

Nel complesso, il volume di Giunti, Ledda e Sergioli è una valida guida per approfondire il complesso rapporto tra modelli e discorso scientifico, senza tralasciare gli aspetti tecnici del dibattito.