

## LA FILOSOFIA DELLA SCIENZA DI MARIO AGENO (Mauro Murzi)

Mario Ageno<sup>1</sup> è stato il più importante biofisico italiano del ventesimo secolo. Ha condotto ricerche sull'origine della vita e sui fondamenti della biofisica. Si è addentrato in territori inesplorati non solo dal punto di vista teorico e sperimentale ma principalmente dal punto di vista metodologico e fondazionale. Le sue ricerche scientifiche l'hanno indotto a porsi quesiti propri della filosofia. Si possono ricordare il ruolo dei modelli matematici, il compito della verifica sperimentale e il rapporto tra la biologia, la fisica e la biofisica. Le ricerche filosofiche di Ageno sono collegate alle sue ricerche scientifiche. Per questo motivo i suoi contributi filosofici sono sparsi negli scritti sulla scienza e non sono esposti in modo sistematico. L'obiettivo di questo saggio è presentare in modo ordinato la filosofia della scienza di Ageno. La descriverò in modo congeniale ai filosofi, confrontandola con alcune note scuole di filosofia della scienza. Mostrerò che i contributi di Ageno sono utili per chiarire alcuni problemi aperti.

### 1. SCIENZA E FILOSOFIA DELLA SCIENZA

«Tutto risulta da rifare in materia di filosofia della scienza.»<sup>2</sup> Quest'aspra affermazione riassume l'atteggiamento di Ageno verso la filosofia. Esiste – secondo Ageno – una sostanziale incompatibilità tra la pratica scientifica e la filosofia della scienza. I filosofi danno una descrizione della scienza che è il frutto di un gioco d'immaginazione. I filosofi «mai si sono mai preoccupati di entrare nei laboratori scientifici e di rendersi conto personalmente di come in concreto si fa scienza. [...] Parlano di cose che non conoscono e che non si sono mai preoccupati di imparare.»<sup>3</sup> Questa situazione desolante è la conseguenza del modo errato con cui i filosofi immaginano il proprio compito. La filosofia della scienza può essere descrittiva o prescrittiva<sup>4</sup>. L'obiettivo della filosofia della scienza descrittiva è comprendere la scienza. La filosofia studia la reale pratica scientifica. Essa descrive come gli scienziati agiscono. Non dà alcun giudizio sul loro lavoro. Nello svolgere il proprio compito, la filosofia usa metodi distinti da quelli della scienza, quali l'analisi logica e linguistica. «Il primo tipo di filosofia della scienza affianca lo scienziato nel suo sforzo autocritico e di comprensione di ciò che egli stesso sta facendo»<sup>5</sup>. Il secondo tipo di filosofia della scienza pretende «di insegnare allo scienziato ciò che *dovrebbe* fare, che cosa la sua scienza *dovrebbe* essere.»<sup>6</sup> Gli esiti di quest'approccio sono stati disastrosi. La scienza è stata descritta come un'attività irrazionale, soggetta agli interessi economici e politici della classe dominante. Le leggi scientifiche non sarebbero scoperte dagli scienziati, ma imposte per convenzione o arbitrio. In ogni campo della ricerca scientifica regnerebbe l'incertezza. Non sarebbe possibile accertare in modo ragionevole la verità o la falsità delle ipotesi scientifiche. Persino le affermazioni sui singoli fatti sarebbero incerte. Questo è il quadro della scienza dipinto dal modo prescrittivo di fare filosofia. La filosofia della scienza prescrittiva ha prodotto l'inconciliabilità tra la pratica scientifica e la filosofia contemporanea. Il filosofo non descrive l'attività scientifica, ma vuole rifonderla. La scienza non è il dato da spiegare, ma è un'attività da criticare. Ma la filosofia – osserva Ageno – non può cambiare la pratica scientifica. Il filosofo della scienza non è mai entrato in laboratorio. Quindi, non esercita alcuna influenza sulle attività che si svolgono in laboratorio. Questo tipo di filosofia può avere successo presso il grande pubblico, ma è lettera morta per gli scienziati. Ciò ha causato il distacco tra la scienza e la filosofia della scienza. Quest'ultima si è ridotta a un'attività di pura immaginazione, nella quale il filosofo crea la propria immagine della scienza e con essa si trastulla, dimenticando di osservare la pratica scientifica. La filosofia della scienza deve riformarsi, diventando una disciplina descrittiva e abbandonando le pretese prescrittive. Ma quale criterio si può seguire in quest'opera

1 Vedi la nota biografica nel paragrafo 7.

2 M. Ageno, *La biofisica*, Laterza, Roma Bari, 1987, p. 127.

3 *ivi*, p. 125-126.

4 Solo il termine “prescrittivo” è usato da Ageno (*ivi*, p. 126). Ritengo che il termine “descrittivo”, da me introdotto in opposizione a “prescrittivo”, sia coerente con il pensiero di Ageno. L'opposizione tra i due modi di concepire una disciplina, prescrittivo e descrittivo, è ben nota ai filosofi. Ricordo la distinzione tra etica prescrittiva e descrittiva. L'etica descrittiva espone l'origine e l'evoluzione dei principi etici, mentre l'etica prescrittiva indica le norme che prescrivono il corretto comportamento. Simile è la distinzione tra la grammatica prescrittiva e descrittiva. La prima pretende di insegnare come si dovrebbe parlare e scrivere, mentre la seconda descrive come le persone parlano e scrivono.

5 *ivi*, p. 127.

6 *ivi*, p. 126.

di rifondazione della filosofia della scienza? Il criterio è semplice: se le affermazioni della filosofia della scienza sono in contrasto con la pratica scientifica, devono essere abbandonate. La pratica scientifica è il dato che la filosofia deve descrivere. Se sorge un disaccordo tra il dato (la scienza) e la sua descrizione (la filosofia della scienza), è quest'ultima che deve cambiare. È la pratica scientifica che prescrive i limiti nei quali può muoversi la filosofia. Finora la filosofia ha preteso di prescrivere i limiti alla scienza. Ciò è errato. Pertanto, è tutto da rifare in materia di filosofia della scienza – afferma Ageno. È veramente *tutto* da rifare? I contributi filosofici Ageno sono in contrasto con *tutta* la tradizione filosofica? Vedremo che così non è. Non tutto è da rifare. La filosofia di Ageno ha molti punti di contatto con una scuola filosofica «morta, o così morta come lo può essere un movimento filosofico»<sup>7</sup>: il positivismo logico.

## 2. LA SCIENZA COME DISCORSO

Ageno fu un valente biofisico, non un filosofo. Non ha avuto quindi la necessità di esporre in modo sistematico la propria filosofia. Cercherò di ovviare a questa mancanza, armonizzando pensieri e idee che appartengono a tempi e problemi diversi. Inizierò con quello che Ageno ha scritto in *La biofisica*. Questo pregevole libro, pubblicato nel 1987, è dedicato agli aspetti metodologici e fondazionali della biofisica. Ageno confronta la biofisica con le altre discipline scientifiche. A tale scopo, descrive la natura, gli obiettivi e i metodi delle scienze naturali.

La scienza è un discorso, un complesso di asserzioni legate tra loro da relazioni di varia natura. [...] Tutte le asserzioni della scienza costituiscono *una rete* le cui maglie diventano sempre più fitte e resistenti.<sup>8</sup>

Desidero far notare due punti di quest'affermazione. Il primo punto è che la scienza è un discorso. Ageno utilizza il termine “discorso” in modo letterale, non metaforico. La scienza è un insieme di asserzioni. Il termine “asserzione” deve essere inteso nel senso della logica e della linguistica. Il secondo punto è che la scienza è un tutto unico, in cui le asserzioni delle varie discipline si supportano l'una con l'altra. Le asserzioni non semplicemente giustapposte (come se fosse in atto un processo di accumulo di asserzioni), ma sono collegate tra loro da relazioni logiche. L'esempio della rete le cui maglie s'infittiscono e s'irrobustiscono con lo sviluppo della scienza suggerisce che le asserzioni di una disciplina non sono isolate dalle asserzioni delle altre discipline. La scienza è un corpo unico. Ageno ne era fermamente convinto. A mio giudizio, l'origine di questa convinzione va ricercata nella sua personale esperienza scientifica. La disciplina cui Ageno si è dedicato come scienziato, la biofisica, è un ponte tra la fisica e la biologia. La biofisica usa i principi della fisica per spiegare i fenomeni della vita descritti dalla biologia. Ogni asserzione della biofisica deve essere compatibile con i principi della fisica, poiché sarebbe assurdo che la biofisica proponesse una spiegazione della vita in contrasto con la fisica. Ogni asserzione della biofisica deve essere compatibile con la descrizione dei fenomeni della vita fornita dalla biologia, poiché l'obiettivo della biofisica è spiegare quei fenomeni. Dunque, la fisica, la biofisica e la biologia si sostengono e si limitano a vicenda. Nessuna di esse può ipotizzare principi, teorie, leggi o fenomeni in contrasto con le altre due.

La scienza – secondo Ageno – è un'entità logico-linguistica coerente. Le asserzioni della scienza sono collegate da relazioni logiche. Non è difficile riconoscere l'influsso del positivismo logico. Il positivismo logico sosteneva che le teorie scientifiche sono sistemi logici coerenti assiomatizzati, in cui le leggi di livello più basso sono deducibili dai principi della teoria. Questo movimento filosofico propugnava l'ideale della scienza unificata, intesa come identità di metodo e di linguaggio. È possibile – secondo il positivismo logico – formulare la conoscenza scientifica usando solo il linguaggio della fisica. L'interpretazione della scienza come un sistema logico-linguistico coerente e assiomatizzato avvicina Ageno ai positivisti logici. La questione della riducibilità delle discipline scientifiche alla fisica segna un importante contrasto. Per il positivismo logico, è in linea di principio possibile ridurre le discipline scientifiche alla fisica, anche se ciò potrebbe non essere realizzabile di fatto. Per Ageno, ciò è in linea di principio impossibile. Non si può, ad esempio, ridurre la biologia alla fisica. La fisica studia sistemi i cui stati hanno una probabilità non evanescente, mentre la biologia studia sistemi in cui ogni stato ha una probabilità evanescente. Perciò la riduzione è impossibile<sup>9</sup>.

7 J. Passmore, *Logical positivism*, in D. M. Borchert (a cura di), *Encyclopedia of Philosophy*, 2nd edition, Macmillan Reference USA, Detroit, 2006, vol. 5, pp. 524-530.

8 M. Ageno, *La biofisica*, cit., p. 128.

9 Ageno propone questo esempio. Un batterio ha circa 4000 geni. Supponendo, per semplicità, che ogni gene possa

Uno degli aspetti più noti del positivismo logico è la distinzione tra termini osservativi e teorici. I primi descrivono oggetti o processi direttamente osservabili; i secondi si applicano a oggetti o processi non osservabili. Termini osservativi sono, ad esempio, “pendolo”, “massa” (riferita a oggetti macroscopici ordinari), “posizione di una riga nello spettro visibile”. Termini teorici sono “elettrone”, “massa” (riferita alle particelle elementari, a stelle o a galassie), “salto quantico”. Il positivismo logico distingueva enunciati osservativi, teorici e misti. Gli enunciati osservativi contengono solo termini osservativi. Gli enunciati teorici solo termini teorici. Gli enunciati misti contengono entrambi i tipi di termini. Gli enunciati osservativi costituiscono la base osservativa della scienza. Essi descrivono i dati empirici. Gli enunciati teorici sono il cuore delle teorie scientifiche. Essi determinano le relazioni tra i concetti astratti impiegati dalla teoria. Gli enunciati misti, spesso chiamati regole di corrispondenza, forniscono un'interpretazione empirica parziale ai concetti astratti. Una teoria scientifica – secondo il positivismo logico – è formulata usando un numero finito di enunciati teorici come assiomi. I concetti astratti sono parzialmente interpretati tramite un numero finito di regole di corrispondenza. Sia  $T$  la congiunzione degli assiomi e  $C$  la congiunzione delle regole di corrispondenza. La congiunzione di  $T$  e  $C$  (indicata come  $TC$ ) può svolgere il ruolo di unico assioma della teoria. Il controllo della teoria avviene impiegando opportuni enunciati osservativi (sia  $O$  la loro congiunzione) che descrivono le condizioni iniziali e al contorno. Da  $TC$  e  $O$  si possono dedurre, tramite la logica e la matematica, altri enunciati osservativi  $P$  che prevedono il comportamento del sistema quando esso è nelle condizioni descritte da  $O$ . Lo scienziato verifica se, posto il sistema nelle condizioni  $O$ , esso si comporta secondo le previsioni  $P$ . In caso affermativo, la teoria è confermata (verificata, supportata) dall'evidenza empirica. In caso negativo, la teoria è confutata (refutata, invalidata) dall'evidenza empirica.

Il falsificazionismo di Popper enfatizza l'importanza della confutazione. Esiste una differenza logica tra il caso di una teoria confermata e quello di una teoria confutata. La falsità di  $OP$  (la congiunzione di  $O$  e  $P$ ) implica la falsità di  $TC$ , mentre la verità di  $OP$  è compatibile con la verità o la falsità di  $TC$ . La conferma di una teoria è inconcludente, poiché la teoria può essere sia vera sia falsa. La confutazione di una teoria è concludente, poiché la teoria può essere solo falsa. Una teoria confutata deve essere abbandonata.

Questa breve digressione sulla concezione delle teorie scientifiche secondo il positivismo logico e il falsificazionismo serve a inquadrare la concezione filosofica di Ageno e suggerisce alcune domande. Esistono – nella concezione di Ageno – asserzioni che svolgono una funzione simile agli enunciati osservativi? In caso affermativo, come si giustificano questi enunciati? Descrivono dati di fatto o percezioni del soggetto senziente? Che relazione hanno con gli enunciati astratti della scienza? Servono a confermare le teorie scientifiche (come pensava il positivismo logico) o a confutarle (secondo il punto di vista del falsificazionismo)? Rispondendo a queste domande si avrà una più chiara visione della filosofia di Ageno.

### 3. LE ASSERZIONI DEI FATTI

Secondo Ageno, il più semplice tipo di asserzione impiegato nella scienza è l'asserzione di un fatto. Ageno osserva che «un fatto e l'asserzione di esso [...] sono cose diverse per categoria»<sup>10</sup>. Si tratta di una precisazione opportuna in un libro scritto per un pubblico colto, ma non esperto di logica e filosofia del linguaggio. La precisazione è superflua per uno studioso di filosofia: l'asserzione di un fatto è un'entità linguistica, diversa per genere dal fatto asserito. Le relazioni logiche (quali le relazioni di deducibilità, compatibilità o incompatibilità) sussistono tra le asserzioni ma non tra i fatti. Da un insieme di asserzioni è possibile dedurre altre asserzioni, ma da un insieme di fatti non è possibile dedurre alcunché. Secondo Ageno, le affermazioni dei fatti sono o vere o false. Solo per le asserzioni dei fatti si può «predicare il concetto di verità»<sup>11</sup>. Non si può propriamente parlare di verità o di falsità di una teoria scientifica. Non è corretto asserire che una teoria scientifica è vera, come non è corretto affermare che essa è falsa. La verità e

---

andare incontro a una sola mutazione, ci sono circa  $10^{1200}$  genotipi. Ciascun genotipo ha dunque una probabilità a priori  $p \approx 10^{-1200}$ . Gli individui di una popolazione non possono essere più di  $10^{80}$  (il numero stimato di nucleoni esistenti nell'universo). La frequenza  $f$  di un genotipo in un popolazione di  $N$  individui è  $f = p \cdot N \approx 10^{-1120}$ . Il piccolo valore della frequenza  $f$  (che si traduce in una probabilità evanescente di ciascun genotipo) è l'origine della differenza tra fisica e biologia. Mentre la leggi della fisica prevedono probabilità non evanescenti che consentono previsioni sperimentalmente controllabili, le leggi della biologia – pur non essendo mai in contrasto con quelle della fisica – prevedono probabilità evanescenti che non consentono previsioni sperimentalmente controllabili. La fisica è il regno della legalità, dove i sistemi sono descritti mediante leggi probabilistiche che consentono previsioni controllabili. La biologia è il regno dalla storicità, dove il vivente è descritto nel corso della sua evoluzione.

10 M. Ageno, *La biofisica*, cit., p. 129.

11 *ibid.*

la falsità non sono concetti applicabili alle teorie scientifiche. I concetti corretti sono invece quelli di “validità o non-validità di una teoria in un campo definito da un insieme di asserzioni ausiliarie”. Il significato del concetto di validità sarà chiarito in seguito, nel paragrafo 4.

Le asserzioni dei fatti non corrispondono agli enunciati osservativi dei positivisti logici. L'enunciato “Tutti i corvi sono neri” è un enunciato osservativo (“corvo” e “nero” si riferiscono a oggetti o proprietà osservabili), ma non è l'asserzione di un fatto. Le asserzioni dei fatti sono sempre singolari, mentre “Tutti i corvi sono neri” è un enunciato universale. L'esempio di asserzione di un fatto offerto da Ageno è “Questo libro è rosso”. Qual è la condizione di verità di questo enunciato? Che cosa esprime chi lo asserisce? Che cosa significa asserire che l'enunciato “Questo libro è rosso” è vero? Una nota interpretazione del concetto di verità è quella che fa riferimento alla corrispondenza tra quanto asserito e lo stato di fatto della realtà. Ad esempio, l'enunciato “La neve è bianca” è vero se e solo se la neve è bianca. La verità dell'enunciato “Questo libro è rosso” dipenderebbe soltanto dall'esistenza di un libro di colore rosso. Se l'oggetto indicato da chi afferma “Questo libro è rosso” è un libro rosso, allora l'enunciato è vero. Se non c'è un libro rosso, allora l'enunciato è falso. L'oggettività di questo enunciato è garantita dal fatto che o esiste o non esiste un libro rosso in un certo ambito spazio-temporale accessibile da chiunque.

La posizione di Ageno sulla condizione di verità di un'asserzione di un fatto è diversa. Non può esistere alcun confronto tra quanto asserito e la realtà esterna. Ageno si esprime in questi termini:

[Chi] asserisce un fatto, altro non fa che rendere noto attraverso la mediazione del linguaggio il risultato di un confronto introspettivo tra una sua rappresentazione privata del momento e sue rappresentazioni d'archivio [...] altrettanto private [...]<sup>12</sup>

Chi asserisce “Questo libro è rosso” ha confrontato alcune rappresentazioni interne attuali con altre rappresentazioni interne apprese in precedenza. Queste ultime rappresentazioni sono le immagini standard dei libri e dei colori. Confrontando queste rappresentazioni con quelli correnti, il soggetto senziente ha constatato – secondo criteri appresi – la corrispondenza delle une con le altre. L'esito positivo di questo confronto è espresso mediante l'asserzione “Questo libro è rosso”. L'asserzione di un fatto si riferisce all'esito di un confronto tra rappresentazioni interne immediate e rappresentazioni interne d'archivio. La condizione di verità è quindi interna al soggetto stesso. Non è richiesta una corrispondenza tra ciò che è asserito e la realtà esterna. Si richiede la corrispondenza tra le rappresentazioni presenti nel soggetto quando asserisce il fatto e le rappresentazioni d'archivio. Apparentemente, Ageno è caduto nel solipsismo.

La parola “solipsismo” deriva dai due termini latini *solus* e *ipse*, che significano “solo” e “stesso”. Letteralmente, solipsismo significa “solo se stesso”. Nella storia della filosofia, il solipsismo ha avuto diverse interpretazioni. La più nota è quella che ritiene provata solo l'esistenza del soggetto senziente. Io percepisco me stesso, quindi so che esisto. Il resto della realtà (le cose esterne, le proprietà, le altre persone) potrebbero essere illusioni della mia mente. Come posso essere certo dell'esistenza della realtà esterna? Un'interessante variante del solipsismo è il cosiddetto “solipsismo metodologico”, abbracciato da Carnap nel suo *La costruzione logica del mondo*<sup>13</sup>. Il problema posto da Carnap con il solipsismo metodologico è questo: come si può acquisire una conoscenza oggettiva da enunciati che descrivono esclusivamente sensazioni interne? Posto il problema in termini diversi, se si adotta un linguaggio fenomenistico<sup>14</sup>, come si può raggiungere una conoscenza oggettiva? La risposta di Carnap è brillante: noi non conosciamo il contenuto della realtà, ma conosciamo la sua struttura. Io non posso sapere se chi asserisce “Questo libro è rosso” ha una sensazione di rosso uguale alla mia. Non posso entrare nella sua mente per verificare se le sue sensazioni corrispondono alle mie sensazioni. Posso però conoscere le relazioni tra gli enunciati che egli asserisce. Posso verificare l'esistenza di relazioni logiche tra gli enunciati asseriti. Questo complesso di relazioni logiche esprime la struttura complessiva di quanto asserito. La struttura è pubblica. Essa è

<sup>12</sup> *ibid.*

<sup>13</sup> R. Carnap, *Der logische Aufbau der Welt*, Meiner, Amburgo, 1928 (tr. it. *La costruzione logica del mondo. Pseudoproblemi nella filosofia*, Utet, Torino, 1997).

<sup>14</sup> In un linguaggio fenomenistico occorrono solo termini che descrivono fenomeni. Fenomeno (dal greco *φαινόμενον*) indica ciò che appare, ciò che si mostra attraverso i sensi. Il fenomeno è quindi legato ai sensi, sia nel significato di evidenza sensibile (e come tale indubitabile), sia nel significato di apparenza sensibile (che quindi può non corrispondere alla realtà). Questa oscillazione del significato di “fenomeno” è presente anche nella *Critica della ragion pura* di Kant, ove i due termini tedeschi *Erscheinung* “apparenza” e *Phänomen* “fenomeno” sono usati in modo interscambiabile.

conoscibile e controllabile da chiunque. Chi conosce, non sa il contenuto, ma sa la struttura.

Come risolve Ageno il problema del solipsismo? Formuliamo correttamente il problema da affrontare. La verità dell'asserzione di un fatto dipende esclusivamente dalla corrispondenza tra rappresentazioni interne presenti in chi afferma il fatto e sue rappresentazioni d'archivio. Come può un'altra persona controllare la verità dell'asserzione? La risposta di Ageno è che i membri di una stessa società condividono le rappresentazioni d'archivio. Queste rappresentazioni sono state apprese tramite le cure parentali, l'insegnamento scolastico e la conoscenza della lingua. I membri di una società condividono le rappresentazioni d'archivio perché hanno appreso il loro uso nelle stesse condizioni, frequentando scuole simili e apprendendo la medesima lingua. Così si esprime Ageno:

Ciò di cui [...] possiamo parlare, non sono quindi mai cose «là fuori», ma risultati di confronti introspettivi. L'affidabilità dell'esito dell'intero processo si basa da un lato sull'efficacia delle cure parentali e dall'altro lato sull'impiego di messaggi linguistici secondi codici o regole concordati. Così, la conferma intersoggettiva delle asserzioni riesce a constatare [...] determinate coerenze tra stati interni degli interlocutori.<sup>15</sup>

I membri della medesima società non cadono nel solipsismo perché hanno appreso il medesimo linguaggio, hanno frequentato le medesime scuole e hanno ricevuto il medesimo insegnamento. Condividono quindi le rappresentazioni che funzionano come standard di riferimento. Ovviamente – osserva Ageno – ciò non garantisce la concordia di giudizi. Gli errori sono possibili (e, di fatto, frequenti). L'appartenenza alla stessa comunità non garantisce la concordia di giudizio sulle asserzioni dei fatti, ma spiega perché essa sia possibile. L'uscita dal solipsismo non avviene tramite una strada che garantisce l'oggettività, ma mediante un percorso che rende possibile l'oggettività. Che questa possibilità si sia realmente concretizzata, è dimostrato dall'esistenza stessa delle società umane, che si fonda su una comunanza di giudizio.

#### 4. LE TEORIE

Le asserzioni delle teorie scientifiche sono enunciati generalizzati. Ageno non offre un'analisi logica o linguistica di questi enunciati. Possiamo pensare agli enunciati generalizzati come asserzioni del tipo “Tutti i cigni sono bianchi”<sup>16</sup>. Esempi più credibili sono le leggi di Keplero, la dinamica classica e la teoria dell'atomo di Bohr. Ageno asserisce:

Avviene di solito che una generalizzazione sia valida sotto certe condizioni e non valida sotto altre. Il concetto di verità, predicabile per le asserzioni dei fatti, non è quindi adeguato nel caso di generalizzazioni [...] Le generalizzazioni, le cosiddette leggi naturali, le teorie scientifiche, non sono dunque mai né vere né false.<sup>17</sup>

Come già detto, il concetto di verità o falsità di una teoria scientifica è sostituito – nell'impostazione di Ageno – dal concetto di validità o non-validità della teoria in un campo definito dalle asserzioni ausiliarie. È ora giunto il momento di spiegare questo concetto di validità.

Sia  $T$  la teoria da controllare. Per dedurre in  $T$  le asserzioni dei fatti è necessario usare asserzioni ausiliarie che funzionano come premesse aggiuntive. Queste asserzioni ausiliarie sono di duplice natura. Alcune sono i principi e i teoremi di altre teorie scientifiche. Altre sono enunciati che descrivono le condizioni iniziali del sistema fisico studiato e le condizioni al contorno che influenzano dall'esterno il sistema fisico. Chiamiamo  $A$  le asserzioni ausiliarie del primo tipo, cioè i principi e i teoremi delle altre teorie scientifiche. Chiamiamo  $IC$  le asserzioni delle condizioni iniziali e al contorno. Indichiamo con  $AIC$  la congiunzione di  $A$  e  $IC$ , cioè l'insieme di tutte le asserzioni ausiliarie. Dall'insieme di asserzioni formato da  $T$  e  $AIC$  si deducono le asserzioni dei fatti, che chiamiamo  $AF$ . Esse sono o vere o false. Il procedimento finora descritto è puramente logico-matematico. Da un insieme di premesse, formato da enunciati di alcune teorie e da enunciati che descrivono le condizioni iniziali e al contorno, sono stati dedotti enunciati singolari relativi a determinati fatti. Il passo successivo consiste nel realizzare un contesto sperimentale nel quale valgono le asserzioni ausiliarie. Questo significa che nel contesto sperimentale le condizioni iniziali e al contorno  $IC$  devono essere vere e le teorie ausiliarie  $A$  devono essere valide. Supponiamo che questo contesto sperimentale sia stato realizzato. In tale contesto, si controllano le asserzioni dei fatti  $AF$ . Se esse sono vere, la teoria  $T$  è

15 M. Ageno, *La biofisica*, cit., 130.

16 Ho scelto questa affermazione perché è falsa. Affermazioni false possono essere leggi scientifiche.

17 M. Ageno, *La biofisica*, cit., 131.

valida nel campo definito da *AIC*. Se esse sono false, la teoria è non-valida nel campo definito da *AIC*. Quest'ultimo è il caso più interessante. Secondo il falsificazionismo, lo scienziato dovrebbe abbandonare *T* e cercare una nuova teoria *T'* che permetta la deduzione di asserzioni dei fatti vere. Lo scienziato dovrebbe riconoscere che la teoria *T* è falsa e quindi abbandonarla (o, quantomeno, sottoporla a revisione). Ageno propone un'analisi diversa. Ciò che è stato evidenziato è che nel campo definito da *AIC* la teoria *T* è non-valida. Lo scienziato deve mantenere ferma la teoria *T* e modificare le asserzioni ausiliarie *AIC* per definire altri campi. Deve quindi controllare se in questi campi le asserzioni *AF* siano vere o siano false. Ogniquale volta lo scienziato troverà che le asserzioni *AF* sono false, avrà individuato le condizioni nelle quali il limite del campo di validità della teoria *T* è stato superato. Dopo avere individuato un numero sufficiente di tali condizioni, lo scienziato avrà individuato i limiti del campo di validità di *T*. A questo punto, e solo a questo punto, avendo circoscritto il campo di validità di *T*, lo scienziato potrà utilizzare *T* in modo ragionevolmente sicuro e affidabile. Dice Ageno, in modo chiaro, sintetico e sconcertante (almeno per chi – come me – ha studiato le odierne filosofie della scienza):

È essenziale determinare per ogni importante teoria scientifica i limiti del suo campo di validità: solo quando questi limiti sono perfettamente conosciuti (solo quando, in altre parole, la teoria è stata sufficientemente «falsificata»), una teoria può essere usata con sicurezza, nel suo campo [...]»<sup>18</sup>

L'obiettivo della verifica sperimentale di una teoria è individuare quelle condizioni iniziali e al contorno che mostrano la falsità delle asserzioni dei fatti deducibili dalla teoria. Lo scopo è tracciare i limiti del campo di validità della teoria. Una volta trovato un campo ove la teoria è non-valida, il passo successivo consiste nel cambiare le condizioni iniziali e al contorno per individuare altri campi nei quali la teoria è non-valida. Solo quando i limiti del campo di validità sono stati tracciati con sicurezza, lo scienziato è tranquillo nell'uso della teoria. Egli sa quando la teoria è valida e fornisce previsioni attendibili. Egli sa quando la teoria è non-valida e quindi non è utilizzabile. Sa quanto è grande l'errore che commetterebbe se usasse la teoria al di fuori del campo di validità. Può quindi decidere se l'errore è accettabile o meno per determinati scopi. Il metodo della scienza consiste dunque nel cercare i casi di "falsificazione" delle teorie, per sapere quando usarle in modo affidabile. Finché la teoria non è "falsificata" – cioè, finché non sono stati individuati i limiti del campo di validità della teoria – lo scienziato non è sicuro nell'usare la teoria. Dal punto di vista del falsificazionismo, questo metodo è irrazionale. Per il filosofo falsificazionista, quando le previsioni della teoria sono false, la teoria deve essere abbandonata. Si devono mantenere ferme le condizioni iniziali e al contorno e cercare teorie alternative che forniscono previsioni corrette. Se lo scienziato si ostinasse a mantenere ferma la teoria ormai "falsificata", cambiando le condizioni sperimentali, violerebbe i principi metodologici della ricerca scientifica. Poiché nella realtà sembra che gli scienziati si ostinino a conservare le teorie "falsificate" e siano soddisfatti nell'usarle quotidianamente, la conclusione logica di un convinto falsificazionista dovrebbe essere che la scienza è un'attività irrazionale. Questa è stata – sostiene Ageno – la conclusione alla quale sono giunti filosofi come Kuhn, Popper, Lakatos, Watkins e Feyerabend. Ma tale conclusione è errata. L'unico risultato delle cosiddette "falsificazioni" è aumentare la tranquillità con la quale gli scienziati utilizzano una teoria, conoscendone ormai l'ampiezza del campo di validità.

È giunto il momento di proporre un esempio esplicativo. Ricostruisco a memoria alcune osservazioni di Ageno nel suo corso di Fisica per filosofi, che ho seguito nel lontano anno accademico 1980-81, quand'ero studente di filosofia alla Sapienza di Roma. Nei testi pubblicati da Ageno non ho ritrovato questo esempio. Consideriamo le tre leggi di Keplero. Esse descrivono il moto dei pianeti intorno al Sole. Gli enunciati sono i seguenti.

Prima legge di Keplero. L'orbita percorsa da un pianeta intorno al Sole è un'ellisse nella quale il Sole occupa uno dei due fuochi.

Seconda legge di Keplero. Il segmento che unisce il pianeta con il Sole percorre aree uguali in tempi uguali.

Terza legge di Keplero. Il quadrato del periodo di rivoluzione del pianeta è proporzionale al cubo del semiasse maggiore dell'orbita.

Supponiamo che la teoria *T* sia costituita dalle leggi di Keplero. È facile constatare che le leggi di Keplero sono false (in questo contesto, parlo di falsità e di verità di una teoria in modo informale, senza presupporre che il concetto di verità sia correttamente applicabile alla teoria). Per quanto riguarda la prima legge,

---

18 *ivi*, 132.

sappiamo che l'orbita di un pianeta subisce l'influenza degli altri pianeti che ne modificano la forma. Anche considerando il caso ideale di un solo pianeta in orbita intorno al Sole, l'orbita percorsa non sarebbe un'ellisse con il Sole in un fuoco. Il fuoco dell'ellisse è, infatti, nel centro di massa del sistema e il Sole ruota intorno al centro di massa (ciò è evidente nel caso di stelle doppie con massa comparabile). Per ragioni simili, sono errate anche la seconda e la terza legge di Keplero. Possiamo concludere che le tre leggi di Keplero sono false e devono essere gettate via? Forse potremmo farlo, tenendo conto che la teoria della gravità di Newton ha sostituito e corretto le tre leggi di Keplero. La teoria di Newton è vera? Dovremmo concludere di no, poiché la teoria della relatività l'ha sostituita e corretta. La relatività è vera? Probabilmente no, visto che essa è limitata al campo gravitazionale e non s'integra con la meccanica dei quanti. Ciò sembra indicare una successione di teorie false, perennemente false. Operando un'induzione, visto che tutte le teorie finora proposte si sono dimostrate false, dovremmo concludere che le attuali teorie sono false. A rigore, tutte le teorie scientifiche future saranno false.

L'approccio di Ageno evita questi problemi. L'obiettivo della ricerca non è stabilire la verità o la falsità delle leggi di Keplero. L'obiettivo è determinarne il loro campo di validità. In questo caso specifico, la teoria ha un campo di validità nullo. Prendiamo come asserzioni ausiliarie la meccanica classica e gli enunciati che descrivono le condizioni iniziali dei pianeti e del Sole (massa, distanza e velocità orbitale). In questo campo, nel quale supponiamo la validità della meccanica classica, si può provare che le leggi di Keplero sono non-valide. Tuttavia, gli astronomi possono ancora utilizzarle, con relativa tranquillità, poiché ne conoscono esattamente i limiti. Quindi, per calcoli approssimati, possono essere usate, sapendo anche quale errore sarà commesso. Possono avere una funzione didattica. Possono essere estese alle stelle doppie. In questo caso, pur essendo ancora nullo il campo di validità, l'errore commesso nel loro utilizzo è inferiore all'errore dovuto all'incertezza dei parametri orbitali. Quindi, hanno un valore pur essendo "false".

Voglio sgombrare il campo da un possibile equivoco. Il motivo per il quale le leggi di Keplero sono ancora utilizzabili non è che esse sono "approssimativamente vere". Se volessimo parlare di verità in relazione alle leggi di Keplero, dovremmo dire che sono false. Se volessimo introdurre termini modali, dovremmo dire che esse sono "necessariamente false", false cioè in ogni mondo fisicamente possibile. Secondo Ageno, il motivo per cui le leggi di Keplero sono utilizzabili è diverso. Gli scienziati hanno determinato il campo di validità delle leggi di Keplero. I metodi osservativi, tramite il controllo della posizione reale dei pianeti, hanno evidenziato gli errori delle tre leggi. I metodi teorici, tramite l'applicazione della meccanica classica, hanno trovato i motivi che sono alla radice dell'inesattezza delle tre leggi. In tal modo, gli scienziati sanno quale errore deriverebbe dall'utilizzo delle leggi di Keplero. A questo punto essi possono determinare se, in un contesto ben definito, caratterizzato da determinate incertezze dei valori iniziali e da determinate esigenze di precisione, è possibile usare le leggi di Keplero.

Il discorso si può ripetere per la meccanica classica. È banale osservare che questa teoria è "falsificata". È altrettanto banale osservare che gli scienziati utilizzano continuamente la meccanica classica. Moltissimi concetti fisici fondamentali (lavoro, energia potenziale, energia cinetica, momento, impulso, solo per fare qualche esempio) sono definiti nella meccanica classica. Molte applicazioni delle teorie moderne, quali la relatività e la meccanica dei quanti, richiedono continuamente il ricorso a metodi e risultati della meccanica classica. La conclusione sarebbe che gli scienziati usano irrazionalmente una teoria "falsificata". Anche in questo caso l'approccio di Ageno sembra evitare questo tipo di problema. Le "falsificazioni" della meccanica classica in realtà non hanno fatto altro che determinare esattamente il campo di validità della teoria stessa. Adesso si conoscono così bene il suo campo di validità e l'ordine di grandezza dell'errore che si commetterebbe operando oltre i limiti di questo campo, che gli scienziati sanno esattamente quando e come utilizzarla. Se uno scienziato utilizza la meccanica classica in un caso specifico, sa già se otterrà un risultato affidabile. Al contrario, se uno scienziato utilizza una teoria il cui campo di validità non è stato ancora ben determinato, non sa se la prossima applicazione della teoria a un nuovo contesto sperimentale avrà esito positivo – e, peggio ancora, non sa se commetterà un errore accettabile in quel contesto.

Il punto di vista di Ageno sembra dunque spiegare l'utilizzo in ambito scientifico di teorie "falsificate". Si può anche comprendere perché uno scienziato possa proporre una teoria nonostante siano conosciuti risultati sperimentali che la smentiscono. Ciò sarebbe irrazionale in una prospettiva falsificazionista: proporre una teoria in contrasto con fatti noti non è un comportamento metodologicamente corretto, se l'obiettivo è produrre teorie vere. Al contrario, se l'obiettivo è determinare il campo di validità di una teoria, è corretto proporre una teoria anche se in contrasto con fatti noti. La teoria di Ageno permette inoltre di distinguere tra due tipi di "falsificazioni". In certi casi, la "falsificazione" avviene nel campo di validità noto di una teoria. Questo – secondo Ageno – è un caso di scarso interesse. Con ogni probabilità, questa "falsificazione" è

apparente. Se si conosce bene il campo di validità di una teoria e una situazione anomala avviene proprio nel bel mezzo di questo campo di validità, non può trattarsi di niente di serio, ma solo di un qualche particolare trascurato del contesto sperimentale. Per forza di cose, l'anomalia rientrerà da sola. Lo scienziato è giustificato nell'ignorarla. Se invece l'anomalia accade ai limiti del campo di validità conosciuto, è possibile che essa indichi che è stato raggiunto il limite effettivo di validità della teoria, segnalando quindi la possibilità di scoprire nuovi fenomeni. L'impostazione di Ageno ha il vantaggio, rispetto a un approccio falsificazionista, di consentire di distinguere anomalie importanti (quelle che sono scoperte ai limiti del campo di validità) da anomalie apparenti (interne al campo di validità). Ciò consente di comprendere razionalmente il comportamento degli scienziati a fronte delle anomalie: a volte le trascurano, altre volte ne sono fortemente interessati.

## 5. I MODELLI MATEMATICI

Un aspetto originale del pensiero filosofico di Ageno è il ruolo attribuito ai modelli matematici per l'applicazione di una teoria scientifica a un sistema fisico concreto. È utile spendere qualche parola per descrivere il modello sintattico e quello semantico delle teorie scientifiche. Ciò permetterà di inquadrare il punto di vista di Ageno nell'ambito della filosofia contemporanea. Risulteranno così chiari gli elementi di novità e di continuità con l'odierna filosofia della scienza.

Il modello sintattico è il prodotto della filosofia del positivismo logico. È stato descritto nel paragrafo 2, senza tuttavia indicarne il nome. Secondo quest'approccio, una teoria scientifica è un sistema logico assiomatico, formulato in un linguaggio con regole sintattiche determinate, nel quale occorrono termini osservativi, teorici, logici e matematici. Le regole di deduzione sono tipicamente quelle della logica classica, (nel caso della meccanica dei quanti, i positivisti logici hanno proposto una logica non classica con tre valori di verità: vero, falso e indeterminato). Fanno parte della teoria gli assiomi teorici  $T$  e le regole di corrispondenza  $C$ . Sia  $TC(T_1, \dots, T_m, O_1, \dots, O_n)$  la congiunzione di  $T$  e  $C$ , in cui sono esplicitamente indicati i termini teorici  $T$  e i termini osservativi  $O$ . L'enunciato  $\exists x_1, \dots, \exists x_m TC(x_1, \dots, x_m, O_1, \dots, O_n)$ , ottenuto da  $TC$  sostituendo ogni termine teorico con una variabile diversa e premettendo un corrispondente numero di quantificatori esistenziali, è detto enunciato di Ramsey associato a  $TC$  e sarà indicato come  $R^{TC}$ . Carnap<sup>19</sup> ha proposto di considerare  $R^{TC}$  come l'espressione del contenuto empirico della teoria, poiché  $R^{TC}$  e  $TC$  consentono di dedurre i medesimi enunciati osservativi. Sempre Carnap ha proposto di considerare l'enunciato  $R^{TC} \rightarrow TC$  come la definizione delle verità analitiche di  $TC$ , poiché (i) l'enunciato  $R^{TC} \rightarrow TC$  è il più debole enunciato che, aggiunto a  $R^{TC}$ , permette di ricostruire la teoria  $TC$  e (ii) ogni enunciato osservativo derivabile da  $R^{TC} \rightarrow TC$  è logicamente vero (quindi  $R^{TC} \rightarrow TC$  non ha contenuto empirico). La teoria  $TC$  si avvale di regole di deduzione (cioè, di regole sintattiche, donde il nome "modello sintattico"). Il significato dei termini teorici non è determinato. Esso è limitato implicitamente dagli assiomi della teoria. Ogni entità (di solito si tratta di entità matematiche) che soddisfa gli assiomi della teoria è un'interpretazione accettabile.

Il modello semantico è stato proposto e sviluppato nella seconda metà del ventesimo secolo da diversi autori, tra i quali si possono ricordare Patrick Suppes, Frederick Suppe e Bas C. van Frassen<sup>20</sup>. Secondo il modello semantico, una teoria scientifica è una collezione di modelli. Esistono diversi significati del termine "modello". Quello cui si fa riferimento in questo contesto è il seguente: un modello è un'interpretazione dei termini di una teoria che la rende vera. Questa è la nozione di modello utilizzata nella semantica logica (da cui il nome "modello semantico"). Per presentare sinteticamente la concezione del modello semantico ricorro all'esposizione di Demetris P. Portides<sup>21</sup>. Si possono distinguere tre aspetti della rappresentazione delle teorie

19 R. Carnap, *Beobachtungssprache und theoretische Sprache*, in *Dialectica*, 12 (1958), pp. 236-248 (tr. it. *Linguaggio osservativo e linguaggio teorico* in *Analiticità, significanza, induzione*, Il Mulino, Bologna, 1971, pp. 49-62).

20 P. Suppes, *A comparison of the meaning and uses of models in mathematics and the empirical sciences*, in H. Freudenthal (a cura di), *The concept and the role of the model in mathematics and the natural and social sciences*, Reidel, Dordrecht, 1961, pp. 163-177. ----, *Models of data*, in E. Nagel, P. Suppes e A. Tarski (a cura di), *Logic, methodology and philosophy of science*, Stanford University Press, Stanford, 1962, pp. 252-261.

F. Suppe, *The structure of scientific theories*, University of Illinois Press, Urbana, 1977. ----, *The semantic conception of theories and scientific realism*, University of Illinois Press, Urbana, 1989.

van Frassen, Bas C., *The scientific image*, Clarendon, Oxford, 1980. ----, *The semantic approach to scientific theories*, in Nancy J. Nersessian (a cura di), *The process of science*, Martinus Nijhoff, Dordrecht, 1987, pp. 105-124.

21 D. P. Portides, *Scientific models and the semantic view of scientific theories*, in *Philosophy of science*, vol. 72 (2005), pp. 1287-1298. Una sintetica esposizione dei vantaggi e dei problemi dei modelli sintattico e semantico è presentata da S. French, *The structure of theories*, in S. Psillos e M. Curd (a cura di) *The Routledge companion to*



medianti modelli. In primo luogo, una teoria è identificata non con l'insieme dei propri assiomi ma con l'insieme delle strutture logico-matematiche nelle quali tutti gli enunciati della teoria sono veri. Sia  $T$  una teoria scientifica. Se  $T$  è coerente, allora esiste almeno un'interpretazione dei termini non logici di  $T$  che rende  $T$  vera (in realtà, per ogni teoria significativa coerente esistono infinite interpretazioni nelle quali la teoria è vera). L'insieme di queste interpretazioni è la struttura  $S^T$  della teoria  $T$ . La struttura  $S^T$  è una collezione infinita d'interpretazioni  $I$  dei termini non logici di  $T$  tale che tutti gli enunciati di  $T$  sono veri in  $I$ . Quando tutti gli enunciati di  $T$  sono veri in un'interpretazione  $I$ , si esprime ciò dicendo che  $T$  è vera in  $I$  (in simboli,  $I \models T$ ). Di solito, le interpretazioni  $I$  sono oggetti logico-matematici. L'interpretazione dei termini di  $T$  è data da funzioni, insiemi, vettori, numeri e altre entità matematiche. I modelli  $M_T$  della teoria  $T$  sono scelti tra le interpretazioni  $I$  nelle quali  $T$  è vera. Quindi,  $M_T \models T$  e  $M_T \in S^T$ . Lo scienziato sceglie quale modello  $M_T$  utilizzare per i propri scopi. In secondo luogo, il modello  $M_T$  non è confrontato direttamente con i dati sperimentali. Lo scienziato utilizza i dati sperimentali  $D$ , alcune ipotesi ausiliarie  $A$  e un'opportuna teoria  $E$  relativa all'apparato sperimentale per costruire un modello  $M_D$  dei dati sperimentali. Anche per i dati, dunque, si passa attraverso la costruzione di un modello logico-matematico. Ciò è necessario poiché i dati non sono mai raccolti direttamente, ma sono sempre interpretati alla luce di opportune teorie (le ipotesi ausiliarie e le teorie degli specifici apparati sperimentali). Il terzo e ultimo aspetto riguarda il confronto tra il modello teorico  $M_T$  e quello sperimentale  $M_D$ . Lo scienziato cerca una corrispondenza, cioè una funzione che mappa gli oggetti di  $M_T$  in corrispondenti oggetti di  $M_D$ . La corrispondenza potrebbe essere parziale: alcuni oggetti di  $M_T$  possono non avere corrispondenza in  $M_D$  o, al contrario, potrebbero esserci aspetti del modello  $M_D$  che non hanno corrispondenza in  $M_T$ . Se lo scienziato trova una corrispondenza tra il modello teorico e quello dei dati, tale che le previsioni del modello teorico corrispondano ai dati effettivamente osservati, si può dire che il modello dei dati conferma quello teorico. La teoria è stata applicata con successo a un sistema fisico. Se le previsioni non corrispondono, c'è qualche problema nella teoria  $T$  o nelle ipotesi ausiliarie  $A$  o nella teoria  $E$  dell'apparato sperimentale o nel modello dei dati  $M_D$ . Se fosse possibile ricondurre l'origine del problema al modello teorico  $M_T$ , la teoria  $T$  sarebbe confutata in quel sistema fisico.

Il modello di Ageno si avvicina molto al punto di vista dei sostenitori del modello semantico. Secondo Ageno, ogni teoria  $T$  è applicata a un sistema fisico non direttamente, ma tramite l'utilizzo di asserzioni aggiuntive (che nel modello semantico corrispondono alle ipotesi ausiliarie  $A$  e alla teoria  $E$  dell'apparato sperimentale) e impiegando un modello matematico della teoria  $T$  (che nel modello semantico corrisponde al modello  $M_T$ ). I dati, per Ageno come per i sostenitori del modello semantico, non sono confrontati direttamente con le previsioni della teoria, ma sono interpretati alla luce di altre teorie. La differenza tra Ageno e i sostenitori del modello semantico risiede in quest'aspetto: secondo i sostenitori del modello semantico,  $T$  è vera in  $M_T$  ( $M_T \models T$ ), mentre per Ageno  $T$  è falsa in  $M_T$  ( $M_T \not\models T$ ). Secondo Ageno gli scienziati applicano le teorie ai sistemi fisici usando modelli nei quali *la teoria è falsa*.

Lo scienziato formula una teoria, costruendo quello che Ageno chiama un «sistema ideale»<sup>22</sup> che dovrebbe descrivere il comportamento di un determinato sistema fisico. «Il sistema ideale immaginato dallo scienziato è generalmente tale da non consentire facili elaborazioni concettuali»<sup>23</sup>. Di solito, è impossibile risolvere le equazioni matematiche del sistema ideale. La complessità matematica della teoria supera l'effettiva capacità di calcolo. Ageno propone l'esempio del modello a sfere rigide utilizzato da Boltzmann per descrivere il comportamento di un gas. Secondo la teoria, le molecole del gas si comportano come sfere rigide seguendo le leggi della meccanica classica. La velocità e la traiettoria di ciascuna sfera sono determinate dagli urti tra le sfere e con le pareti del contenitore. La velocità delle sfere determina la temperatura del gas. La forza degli urti contro le pareti del contenitore determina la pressione del gas. Da un punto di vista matematico, si dovrebbero risolvere le equazioni del moto delle sfere rigide. Questo problema non è matematicamente risolubile. Non esiste una soluzione esplicita di un così complesso sistema di equazioni. Lo scienziato, se vuole applicare la matematica alla sua teoria, deve procedere in modo diverso. Lo fa costruendo quello che Ageno chiama il «sistema schematizzato»<sup>24</sup>. Lo scienziato adatta «il sistema ideale, così che in esso siano in qualche modo soddisfatti i postulati di una qualche teoria matematica»<sup>25</sup>. In questo modo il sistema schematizzato diventa un'interpretazione di una teoria matematica, il cui apparato deduttivo e i cui risultati noti possono essere utilizzati per le deduzioni nel sistema schematizzato. Lo

*philosophy of science*, Routledge, New York, 2008, pp. 269-280.

22 M. Ageno, *Le origini della irreversibilità*, cit., p. 10.

23 *ibid.*

24 *ibid.*

25 *ibid.*

scienziato infine trasferisce i risultati così ottenuti nel sistema ideale. Questa procedura non è priva di pericoli. Il sistema schematizzato è diverso, dal punto di vista matematico, dal sistema ideale. Infatti, mentre il sistema schematizzato soddisfa i postulati di una certa teoria matematica, il sistema ideale non li soddisfa (è proprio questo il motivo per cui lo scienziato ha introdotto il sistema schematizzato). Quindi, se lo scienziato trasferisce nel sistema ideale i risultati ottenuti usando il sistema schematizzato può cadere in grossolani errori. Un teorema matematico vero nel sistema schematizzato può essere falso nel sistema ideale. È compito dello scienziato controllare, volta per volta, che la sostituzione del sistema ideale con quello schematizzato non produca cambiamenti essenziali nei limiti del problema allo studio in quel momento. Cercherò adesso di esprimere queste idee di Ageno in maniera formale.

Sia  $T$  una teoria scientifica. Uno scienziato desidera applicare  $T$  a un sistema fisico  $S$ . La complessità matematica di  $T$  non consente di risolvere le equazioni che descrivono il comportamento di  $S$ . Lo scienziato modifica  $T$ , costruendo quella che, di fatto, è una nuova teoria  $T_S$  (la lettera  $s$  sta per “schematizzato”). La teoria  $T_S$  è scelta in modo tale che essa sia un modello  $M_{T_S}$  di un’opportuna teoria matematica  $K$ :  $M_{T_S} \models K$ . Si noti che, per ogni modello  $M_T$  di  $T$ ,  $M_T \not\models K$ . La teoria  $K$  è di solito una teoria ben sviluppata, i cui metodi e teoremi sono noti. Sia  $Z$  l’insieme dei teoremi di  $K$ . Poiché  $M_{T_S} \models K$ , ne consegue che  $M_{T_S} \models Z$ . I teoremi di  $K$  sono veri nel modello  $M_{T_S}$  e dunque la teoria  $T_S$  può sfruttare tutta la potenza matematica di  $K$ . Quando lo scienziato incontra in  $K$  un teorema interessante  $H$ , lo può trasportare in  $T_S$  con la certezza che esso valga anche lì. Quindi, con un passo logicamente non giustificabile, lo trasporta anche in  $T$ , supponendo che  $H$  sia valido anche nella teoria non modificata  $T$ . Tuttavia, poiché  $M_T \not\models K$ , ne consegue che  $M_T \not\models Z$ . Lo scienziato deve controllare che l’utilizzo di  $M_{T_S}$  in luogo di  $M_T$  non abbia alterato sostanzialmente l’applicazione della teoria  $T$  al sistema fisico  $S$ , almeno per quel particolare teorema  $H$ . Solo a questa condizione può trasferire il teorema  $H$  in  $T$ . Non esiste un metodo con il quale lo scienziato possa assicurarsi di non aver introdotto modifiche sostanziali. Il controllo è rimesso alla sua attenzione, alla sua sensibilità e al suo autonomo giudizio. Il rischio di introdurre errori sostanziali è sempre presente e ineliminabile.

Si osservi che il rapporto tra il modello matematico e la teoria scientifica è, per Ageno, l’opposto di quello previsto dai sostenitori del modello semantico. Per Ageno, la teoria schematizzata è un modello di una teoria matematica. Per i sostenitori del modello semantico, la struttura matematica è un modello della teoria fisica. Secondo il modello semantico, lo scienziato *cerca* un modello matematico della teoria fisica. Secondo Ageno, lo scienziato *costruisce* la teoria fisica schematizzata come modello di una teoria matematica. Questo porta a una diversa spiegazione del ruolo della matematica nella ricerca scientifica. Secondo il modello semantico, la matematica è utilizzabile perché esistono strutture matematiche che possono essere impiegate per interpretare la teoria fisica. Secondo Ageno, la matematica è utilizzabile perché lo scienziato modifica opportunamente la teoria fisica originale per costruire una nuova teoria fisica che soddisfi i postulati di una determinata teoria matematica.

Un’ulteriore osservazione è interessante. Normalmente lo scienziato non può accontentarsi di un’unica teoria schematizzata  $T_S$ . Poiché  $T_S$  è strutturalmente diversa da  $T$ , essa non darà ovunque i medesimi risultati che avrebbe dato  $T$ . Se cambia il sistema fisico  $S$  studiato, lo scienziato potrebbe dover cambiare la teoria schematizzata. Quindi, in corrispondenza di diversi sistemi fisici  $S_1, \dots, S_n$ , lo scienziato può usare teorie schematizzate distinte  $T_{1S}, \dots, T_{nS}$ , ciascuna delle quali è un modello di una diversa teoria matematica. I modelli  $M_T, M_{T_{1S}}, \dots, M_{T_{nS}}$ , sono tra loro incompatibili. Ciò costringe lo scienziato a destreggiarsi tra diversi modelli della medesima teoria fisica tra loro inconsistenti, con l’aggravio che in nessuno di questi modelli (tranne l’inutilizzabile  $M_T$ ) la teoria  $T$  è vera. Lo scienziato rischia continuamente di cadere in contraddizione. Non solo deve fare attenzione a non introdurre errori grossolani nella teoria originale, mutuando teoremi veri in modelli non compatibili con la teoria originale, ma spesso utilizza – nell’ambito della medesima teoria – principi e teoremi tra loro inconsistenti.

## 6. QUALCHE APPLICAZIONE

La bontà di una teoria scientifica o filosofica dipende dalla sua capacità di spiegare i dati meglio delle altre teorie, unificare campi apparentemente diversi, suggerire nuovi filoni d’indagine e prevedere fenomeni nuovi. Sarebbe interessante verificare come filosofia di Ageno si comporta rispetto ai punti appena indicati. Nel poco spazio che ho a disposizione, mi limiterò a tratteggiare alcuni aspetti.

### 6.1. La meta induzione pessimistica

Nella sua versione più semplice, la meta induzione pessimistica è l’argomento che conclude che tutte le

teorie scientifiche attuali sono presumibilmente false, muovendo dalla premessa che tutte le teorie del passato, anche quelle che hanno avuto il maggior successo, si sono dimostrate false. La versione più nota della meta induzione pessimistica è dovuta a Larry Laudan<sup>26</sup>. La versione di Laudan è diretta contro il punto di vista realista secondo il quale il successo di una teoria scientifica è dovuto al fatto che la teoria è approssimativamente vera. L'argomento di Laudan è sintetizzato da Juha T. Saatsi nei seguenti termini<sup>27</sup>.

1. Il successo di una teoria indica che essa è approssimativamente vera (la premessa da confutare).
2. Molte teorie odierne hanno successo e quindi (da 1) sono approssimativamente vere.
3. Molte teorie passate sono in contrasto con le teorie odierne e quindi sono false.
4. Molte teorie passate hanno avuto successo e quindi (da 1) sono approssimativamente vere.
5. Conclusione: la contraddizione tra 3 e 4 indica la falsità della premessa 1.

Contro la meta induzione pessimistica è stato affermato che gli aspetti delle passate teorie scientifiche responsabili del loro successo sono ancora presenti nelle odierne teorie. Per questi aspetti non vale il punto 3 dell'argomento di Laudan, perché essi non sono in contrasto con le teorie odierne.

La meta induzione pessimistica è un argomento a favore del punto di vista di Ageno, che non richiede la verità (neanche approssimativa) delle teorie scientifiche. Se la meta induzione pessimistica valesse (su questo punto non c'è concordanza di giudizio tra i filosofi), allora si dovrebbe cercare una spiegazione del successo delle teorie diversa dalla loro (approssimativa) verità. La nozione di validità di una teoria in un campo può essere un buon sostituto: una teoria ha successo in determinati contesti perché questi contesti cadono nel campo di validità della teoria. Si osservi che la meta induzione pessimistica non è facilmente modificabile per volgerla contro la nozione di validità in un campo. La sua versione semplice concluderebbe che tutte le teorie scientifiche attuali hanno un campo di validità presumibilmente limitato, partendo dalla premessa che tutte le teorie del passato hanno avuto una validità limitata, rafforzando – anziché confutando – la posizione di Ageno. La versione di Laudan, modificata sostituendo opportunamente la nozione di verità approssimativa con quella di validità in un campo, non è corretta perché il punto 3 non è valido: è possibile che teorie in contrasto abbiano campi di validità parzialmente sovrapponibili, il che spiegherebbe il loro successo in un contesto comune.

## 6.2. Il progresso della scienza

La conoscenza scientifica odierna è chiaramente superiore a quella dei secoli scorsi. Tuttavia, se si tenta di chiarire la nozione di progresso scientifico, s'incontrano gravi difficoltà. La nozione di verità o verisimiglianza non sono adeguate: le teorie odierne sono probabilmente false, come indicato dalla meta induzione pessimistica. Che lo sviluppo scientifico non sia semplicemente cumulativo è ormai riconosciuto dopo gli studi storici e filosofici di Thomas Kuhn<sup>28</sup>. Vari argomenti sono stati avanzati in difesa della nozione di progresso scientifico. È stato sostenuto, ad esempio, che le teorie odierne migliorerebbero la conoscenza della struttura del mondo offerta dalle passate teorie di successo<sup>29</sup>.

Nella prospettiva di Ageno, la successione delle teorie scientifiche non porta necessariamente a un progresso. Una teoria scientifica può essere proposta per motivi non legati all'eventuale fallimento delle teorie precedenti. La nuova teoria potrebbe ridurre la complessità matematica anche al prezzo di una diminuzione del proprio campo di validità o di previsioni meno accurate. Potrebbe spiegare meglio alcuni

26 L. Laudan, *A confutation of convergent realism*, in *Philosophy of science*, vol. 48 (1981), pp. 19-49.

27 J. T. Saatsi, *On the pessimistic induction and two fallacies*, in *Philosophy of science*, vol. 72 (2005), pp. 1088-1098.

28 T. Kuhn, *The Copernican revolution: planetary astronomy in the development of western thought*, Harvard University Press, Cambridge, 1957 (tr. it. *La rivoluzione copernicana: l'astronomia planetaria nello sviluppo del pensiero occidentale*, Einaudi, Torino, 1972); ---, *The structure of scientific revolutions*, University of Chicago Press, Chicago, 1962 (tr. it. *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino, 1978); ---, *Black-body theory and the quantum discontinuity: 1894-1912*, Clarendon Press, Oxford, 1978 (tr. it. *Alle origini della fisica contemporanea: la teoria del corpo nero e la discontinuità quantica*, Il Mulino, Bologna, 1981).

29 Che la nostra conoscenza riguardi la struttura (cioè, l'insieme delle relazioni) è una tesi avanzata da B. Russell, *The analysis of matter*, Kegan Paul, Londra, 1927 (tr. it. *L'analisi della materia*, Longanesi, Milano, 1964) e difesa da R. Carnap, *Der logische Aufbau der Welt*, cit. In tempi recenti ha avuto molta fortuna grazie al rinnovato interesse per l'enunciato di Ramsey, che esprimerebbe la struttura della corrispondente teoria (vedi ad esempio S. Psillos, *Ramsey's Ramsey-Sentences*, in M.C. Gavalotti (a cura di) *Vienna and Cambridge. Frank P. Ramsey and the Vienna Circle*, Springer, Dordrecht, 2006, pp. 67-90).

fenomeni, con previsioni più accurate, limitando tuttavia il proprio campo di validità a contesti particolari. Il campo di validità della nuova teoria potrebbe essere parzialmente sovrapposto a quello della vecchia teoria, ma una parte – talvolta anche ampia – del campo di validità della vecchia teoria potrebbe rimanere oltre i limiti di validità della nuova. Ciò non esclude che, nel lungo tempo, vi sia un progresso dovuto all'espansione del campo di validità: il campo di validità delle teorie odierne include quello delle teorie dei secoli scorsi, pur non essendo vero che il campo di validità di una nuova teoria includa sempre quello delle precedenti teorie. L'ampiezza del campo di validità è un candidato per la misura del progresso.

### 6.3. *Inconsistenza delle teorie scientifiche*

È stato talvolta osservato che alcune teorie scientifiche, ben lungi dall'essere quegli esempi di chiarezza e rigore deduttivo che di solito si attribuiscono alla scienza, sono contraddittorie. Un esempio ben noto è la teoria dell'atomo di idrogeno di Bohr. Pur spiegando in modo soddisfacente lo spettro dell'atomo d'idrogeno, questa teoria è caratterizzata da un'ipotesi *ad hoc* sulla quantizzazione dell'orbita dell'elettrone che contraddice palesemente la meccanica classica, peraltro utilizzata nella teoria stessa per determinare i "parametri orbitali" dell'elettrone. L'inconsistenza della teoria di Bohr potrebbe essere spiegata con la particolarità del contesto storico: la fisica delle particelle era sul punto di evidenziare i limiti della scienza classica. Recentemente l'accusa d'inconsistenza è stata avanzata verso una teoria nobile come l'elettromagnetismo classico<sup>30</sup>. Nel modello di Ageno, è possibile che lo scienziato introduca involontariamente inconsistenze nella teoria scientifica. Lo scienziato trasferisce nella teoria ideale alcuni teoremi dimostrati in quella schematizzata. Tuttavia, la teoria ideale e quella schematizzata differiscono in alcuni aspetti fondamentali e quindi nulla assicura che i teoremi dimostrati nell'una valgano anche nell'altra. Inoltre, lo scienziato potrebbe usare modelli diversi, tra loro inconsistenti, per la stessa teoria. Di conseguenza, le possibilità di incorrere in contraddizione sono rilevanti. Si noti che – secondo Ageno – la teoria ideale è coerente. Anche ciascuna teoria schematizzata è coerente. Tuttavia, quando lo scienziato usa nella teoria ideale un teorema dimostrato in quella schematizzata, può involontariamente generare contraddizioni.

### 6.4. *Strutturalismo*

Ho già fatto riferimento alla tesi che la nostra conoscenza è relativa alla struttura del mondo. Questa tesi deve la sua attendibilità anche all'osservazione che «in vari casi storici di trasformazione delle teorie ci sono equazioni matematiche cruciali che sono passate intatte o, più comunemente, come caso limite delle nuove equazioni»<sup>31</sup>. Il modello di Ageno spiega perché alcune equazioni matematiche passano intatte attraverso le modifiche delle teorie scientifiche. Supponiamo che la teoria  $T$ , che lo scienziato applica alla realtà tramite una teoria schematizzata  $T_s$ , sia sostituita da una teoria  $T'$ . Lo scienziato, per applicare  $T'$ , dovrà ricorrere a qualche teoria schematizzata  $T'_s$  costruita come modello di una teoria matematica opportuna. È probabile che gli strumenti matematici che lo scienziato avrà a propria disposizione siano gli stessi per  $T$  e per  $T'$ . È quindi possibile che  $T'_s$  abbia elementi matematici in comune con  $T_s$ . Ecco spiegata la sopravvivenza di alcune equazioni matematiche, senza tuttavia che questa sopravvivenza abbia a che vedere con la struttura del mondo.

30 M. Frisch, *Inconsistency, asymmetry, and non-locality: a philosophical investigation of classical electrodynamics*, Oxford University Press, Oxford, 2005.

31 J. T. Saatsi, *Whence ontological structural realism?*, in *EPSA epistemology and methodology of science*, vol. 1, Springer, Dordrecht, 2010, pp. 255-265, p. 255.

### 6.5. *A priori*

Il ruolo della conoscenza a priori nella scienza è una questione lungamente dibattuta. Se Kant ha cercato di legittimare l'impiego della conoscenza a priori affermando che alcune verità a priori sono principi trascendentali (cioè, condizioni necessarie per l'esperienza), il positivismo logico ha dichiarato che il principio cardine dell'empirismo risiede nella negazione della possibilità stessa della conoscenza sintetica a priori<sup>32</sup>. Michael Friedman, ispirandosi ai primi lavori filosofici di Hans Reichenbach, ha sviluppato un'interpretazione neo-kantiana della scienza basata sulla nozione di "a priori relativo"<sup>33</sup>. Si tratterebbe di principi a priori, presenti nelle teorie scientifiche, necessari per l'interpretazione empirica delle teorie stesse. A differenza dei principi trascendentali kantiani, i principi "a priori relativi" possono essere soggetti a revisione – e, di fatto, nel corso della storia della scienza, sono stati più volte modificati.

La presenza necessaria di un'importante componente a priori nelle teorie scientifiche è prevedibile e spiegabile nel modello di Ageno. Le teorie schematizzate proposte dagli scienziati sono costruite per soddisfare gli assiomi di una qualche teoria matematica. Quest'ultima è una costruzione a priori. Quindi, le teorie scientifiche sono costruite prendendo a modello conoscenze a priori. Quale sia il campo di validità delle teorie così costruite è un problema empirico da risolvere con l'ideazione di opportuni sistemi sperimentali. In ogni caso, tutte le teorie schematizzate che hanno avuto o avranno successo contengono necessariamente ampi elementi a priori.

### 6.7 *Storia della scienza*

Sarebbe interessante applicare il modello di Ageno a qualche episodio di storia della scienza. Il modello di Ageno prevede un ruolo centrale della matematica, poiché la teoria schematizzata è costruita come un modello di una qualche teoria matematica. Ciò potrebbe rivalutare il ruolo di considerazioni di carattere matematico su quelle fisiche e sperimentali. In quest'ottica, sarebbe interessante comprendere esattamente il ruolo avuto dal matematico ungherese Marcel Grossmann nello sviluppo della teoria della relatività<sup>34</sup>.

Presentando le idee di Ageno, ho enfatizzato l'aspetto della priorità della teoria matematica: la teoria schematizzata è costruita come modello di quella matematica. Non sempre la teoria matematica è già pronta a disposizione dello scienziato. Talvolta la teoria matematica è stata costruita perché necessaria allo sviluppo di una teoria fisica. È questo il caso dell'analisi matematica e della meccanica classica. Il modello di Ageno richiede modifiche in questo caso? Oppure riesce a rendere conto dell'interazione tra scienza sperimentale e matematica? Come si pone nei confronti della nota distinzione tra geometria fisica e matematica?

## 7. NOTA BIOGRAFICA

Mario Ageno nacque a Livorno il 2 marzo 1915 e si laureò in fisica a Roma nel 1936. Entrato, al termine della seconda guerra mondiale – nella quale fu militare in Africa –, come assistente all'Istituto Superiore di Sanità, ne diresse i Laboratori di Fisica dal 1958. Gianfranco Donelli, ricercatore e dirigente dell'Istituto Superiore di Sanità, così ricorda il periodo trascorso sotto la guida di Ageno: «Nel 1958, con la nomina del Prof. Mario Ageno alla direzione dei Laboratori di Fisica, iniziò una nuova primavera per le ricerche ultrastrutturali all'Istituto Superiore di Sanità [...] Fu in quel clima di entusiasmo per i nuovi mezzi d'indagine ultrastrutturale, di motivazione professionale e di convinto spirito di collaborazione tra ricercatori e tecnici dei Laboratori di Fisica che vennero condotte importanti ricerche sulle proprietà biologiche e chimico-fisiche di batteri, lieviti, virus umani ed animali e batteriofagi.»<sup>35</sup> Un'altra interessante testimonianza di questo periodo è di Paolo Salvadori, che è stato direttore del Reparto di fisica atomica presso il Laboratorio delle Radiazioni dell'Istituto Superiore di Sanità. «È difficile, in poco spazio, enumerare i risultati importanti che, sotto la guida di Ageno, i Laboratori di Fisica ottennero nella ricerca e

32 H. Hahn, O. Neurath, R. Carnap, *Wissenschaftliche Weltauffassung: der Wiener Kreis*, Artur Wolf, Vienna, 1929 (tr. it. *La concezione scientifica del mondo: il Circolo di Vienna*, Laterza, Roma Bari, 1979).

33 M. Friedman, *Reconsidering logical positivism*, Cambridge University Press, New York, 1999. ---, *Dynamics of reason*, Center for the Study of Language and Information, Stanford, 2001. H. Reichenbach, *Relativitätstheorie und Erkenntnis apriori*, Springer, Berlino, 1920 (tr. it. *Relatività e conoscenza a priori*, Laterza, Roma Bari, 1984).

34 Grossmann fu autore con Einstein dell'articolo *Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation*, in *Zeitschrift für Mathematik und Physik*, 62 (1913), pp. 225-261.

35 G. Donelli, *Primi passi e successivi sviluppi della microscopia elettronica all'Istituto Superiore di Sanità*, in C. Bedetti-P. De Castro-S. Modigliani (a cura di), *Atti del convegno Storie e memorie dell'Istituto Superiore di Sanità*, Istituto Superiore di Sanità, Roma, 2008, pp. 19-28, p. 23.

nello sviluppo tecnologico: basti pensare alle ricerche sulla scintillazione nei liquidi, sulla diffusione quasi-elastica di elettroni su nucleo, sulla luce di sincrotrone, allo sviluppo della microscopia elettronica e della metrologia delle radiazioni, alla progettazione e realizzazione di catene elettroniche originali.»<sup>36</sup> Ageno lasciò l'Istituto Superiore di Sanità nel 1969 per l'Università di Roma «La Sapienza», dove divenne titolare della prima cattedra italiana di biofisica. A Roma insegnò anche Fisica per filosofi. Fu proprio seguendo questo corso, quand'ero studente di filosofia, che lo conobbi. Ageno si ritirò dell'insegnamento nel 1985 continuando la ricerca scientifica. Morì il 23 dicembre 1992 dopo un malore che lo aveva colpito nel suo laboratorio.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- M. Ageno, *La biofisica*, Laterza, Roma Bari, 1987.
- M. Ageno, *Le origini della irreversibilità*, Bollati Boringhieri, Torino, 1992.
- S. Bergia, *Mario Ageno, filosofo della fisica*, in *Il nuovo sagggiatore*, vol. 16 (2000) n. 1-2, pp. 23-28.
- R. Carnap, *Der logische Aufbau der Welt*, Meiner, Amburgo, 1928 (tr. it. *La costruzione logica del mondo. Pseudoproblemi nella filosofia*, UTET, Torino, 1997).
- R. Carnap, *Beobachtungssprache und theoretische Sprache*, in *Dialectica*, 12 (1958), pp. 236-248 (tr. it. in *Linguaggio osservativo e linguaggio teorico*, in *Analiticità, significanza, induzione*, Il Mulino, Bologna, 1971, pp. 49-62).
- G. Donelli, *Primi passi e successivi sviluppi della microscopia elettronica all'Istituto Superiore di Sanità*, in C. Bedetti-P. De Castro-S. Modigliani (a cura di), *Atti del convegno Storie e memorie dell'Istituto Superiore di Sanità*, Istituto Superiore di Sanità, Roma, 2008, pp. 19-28.
- A. Einstein e M. Grossmann, *Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation*, in *Zeitschrift für Mathematik und Physik*, 62 (1913), pp. 225-261.
- S. French, *The structure of theories*, in S. Psillos e M. Curd (a cura di) *The Routledge companion to philosophy of science*, Routledge, New York, 2008, pp. 269-280.
- M. Friedman, *Reconsidering logical positivism*, Cambridge University Press, New York, 1999.
- M. Friedman, *Dynamics of reason*, Center for the Study of Language and Information, Stanford, 2001.
- M. Frisch, *Inconsistency in classical electrodynamics*, in *Philosophy of science*, vol. 71 (2004), pp. 525-549.
- M. Frisch, *Inconsistency, asymmetry, and non-locality: a philosophical investigation of classical electrodynamics*, Oxford University Press, Oxford, 2005.
- H. Hahn, O. Neurath, R. Carnap, *Wissenschaftliche Weltauffassung: der Wiener Kreis*, Artur Wolf, Vienna, 1929 (tr. it. *La concezione scientifica del mondo: il Circolo di Vienna*, Laterza, Roma Bari, 1979).
- T. Kuhn, *The Copernican revolution: planetary astronomy in the development of western thought*, Harvard University Press, Cambridge MA, 1957 (tr. it. *La rivoluzione copernicana: l'astronomia planetaria nello sviluppo del pensiero occidentale*, Einaudi, Torino, 1972).
- T. Kuhn, *The structure of scientific revolutions*, University of Chicago Press, Chicago, 1962 (tr. it. *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino, 1978).
- T. Kuhn, *Black-body theory and the quantum discontinuity: 1894-1912*, Clarendon Press, Oxford, 1978 (tr. it. *Alle origini della fisica contemporanea: la teoria del corpo nero e la discontinuità quantica*, Il Mulino, Bologna, 1981).
- L. Laudan, *A confutation of convergent realism*, in *Philosophy of science*, vol. 48 (1981), pp. 19-49.
- M. Murzi, *Mario Ageno*, in I. Pozzoni (a cura di), *Voci dal Novecento*, vol. I, Liminamentis Editore, Villasanta, 2010, pp. 429-450.
- M. Murzi, *Logical positivism*, in T. Flynn (a cura di), *The new encyclopedia of unbelief*, Prometheus, New York, 2007, pp. 509-511.
- M. Murzi, *Positivism*, in *Encyclopedia of political theory*, SAGE, Thousand Oaks, 2010, vol3. 3, pp. 1083-1096.
- M. Murzi, *Hans Reichenbach*, in *Encyclopedia of Philosophy, 2nd edition*, Macmillan Reference USA, Detroit, 2006, vol. 8, pp. 318-322.
- J. Passmore, *Logical positivism*, in D. M. Borchert (a cura di), *Encyclopedia of Philosophy, 2nd edition*, Macmillan Reference USA, Detroit, 2006, vol.5, pp. 524-530.
- S. Psillos, *Ramsey's Ramsey-Sentences*, in M.C. Gavalotti (a cura di) *Vienna and Cambridge. Frank P. Ramsey and the Vienna Circle*, Springer, Dordrecht, 2006, pp. 67-90

36 P. Salvadori, *Ricordo di Mario Ageno*, in *Il Nuovo Saggiatore*, vol. 8 (1992) n. 5-6, p. 30.

- D. P. Portides, *Scientific models and the semantic view of scientific theories*, in *Philosophy of science*, vol. 72 (2005), pp. 1287-1298.
- H. Reichenbach, *Relativitätstheorie und Erkenntnis apriori*, Springer, Berlino, 1920 (tr. it. *Relatività e conoscenza a priori*, Laterza, Roma Bari, 1984).
- J. T. Saatsi, *On the pessimistic induction and two fallacies*, in *Philosophy of science*, vol. 72 (2005), pp. 1088-1098.
- J. T. Saatsi, *Whence ontological structural realism?*, in *EPSA epistemology and methodology of science*, vol. 1, Springer, Dordrecht, 2010, pp. 255-265.
- P. Salvadori, *Ricordo di Mario Ageno*, in *Il Nuovo Saggiatore*, vol. 8 (1992) n. 5-6, p. 30.
- F. Suppe, *The structure of scientific theories*, University of Illinois Press, Urbana, 1977.
- F. Suppe, *The semantic conception of theories and scientific realism*. University of Illinois Press, Urbana, 1989.
- P. Suppes, *A comparison of the meaning and uses of models in mathematics and the empirical sciences*, in H. Freudenthal (a cura di), *The concept and the role of the model in mathematics and the natural and social sciences*, Reidel, Dordrecht, 1961, pp. 163-177.
- P. Suppes, *Models of data*, in E. Nagel, P. Suppes e A. Tarski (a cura di), *Logic, methodology and philosophy of science*, Stanford University Press, Stanford, 1962, pp. 252-261.
- van Frassen, Bas C., *The scientific image*, Clarendon, Oxford, 1980.
- van Frassen, Bas C., *The semantic approach to scientific theories*, in Nancy J. Nersessian (a cura di), *The process of science*, Martinus Nijhoff, Dordrecht, 1987, pp. 105-124.