

**Simulare per spiegare.
Il contributo metodologico
degli *agent-based models*
all'economia**

Eleonora Priori

Abstract. Agent-based modelling (ABM) has become increasingly popular in economics over the past decades, offering a powerful framework to capture complex phenomena through an emergentist and micro-founded perspective. Yet questions remain about their methodological contribution. In this paper, I situate ABMs within the broader debate on scientific explanation, arguing that they possess genuine explanatory power. Specifically, ABMs provide how-possibly explanations by reconstructing plausible generative mechanisms and making transparent the causal dependencies between micro-level behaviors and macro-level outcomes. Unlike nomological-deductive approaches, they express causal relations without relying on universal laws, emphasizing processes, interactions, and aggregation. This approach allows ABMs to illuminate how economic phenomena could emerge, highlighting their distinctive methodological and explanatory strengths.

Keywords: agent-based modelling; scientific explanation; generative mechanisms; emergence; how-possibly explanations

1. Introduzione

Dalla Grande Recessione del 2007 in poi, la disciplina economica si è trovata a fronteggiare la più profonda crisi di credibilità presso l'opinione pubblica della sua storia. Da allora, numerosi studiosi e studiose hanno lanciato diversi appelli al *rethinking economics*, sottolineando da una parte la necessità di trovare nuovi strumenti per analizzare i complessi fenomeni economici contemporanei e dall'altra quella di promuovere una

maggiore consapevolezza critica della disciplina stessa. In *Economics Rules* (2017), Rodrik propone un'interessante critica dall'interno: a partire dalla storia stessa della disciplina, analizza i contesti in cui l'economia risulta inadeguata e quelli in cui funziona efficacemente, sostenendo che i modelli economici possono essere strumenti potenti per comprendere (e migliorare) il mondo, ma solo laddove gli economisti rinuncino a ricercare teorie universalmente valide e si impegnino a inquadrare correttamente il contesto cui questi applicano. Questo contributo ha suscitato grande attenzione e alimentato un dibattito vivace tra gli studiosi, molti dei quali hanno evidenziato l'importanza di un aumento della diversità nella pratica della modellizzazione. Alcuni autori suggeriscono che proposte di modelli metodologicamente diversi tra loro dovrebbero essere considerati complementari piuttosto che concorrenti, poiché servono a scopi differenti (Grüne-Yanoff, Marchionni 2018); altri ritengono che una maggiore diversità fornirebbe un ritratto più completo della disciplina, di cui gli economisti stessi avvertono fortemente il bisogno (Mäki 2018); altri ancora sostengono che un maggiore pluralismo in economia rafforzerebbe la capacità esplicativa dei modelli stessi (Aydinonat 2018; Grabner, Strunk 2020). Per tutti questi motivi, il dibattito sullo status della modellizzazione economica è stato contemporaneamente arricchito e messo alla prova dalla diffusione di nuove tecniche analitiche negli ultimi anni.

Tra queste, gli *agent-based models* (ABM) si distinguono per la loro capacità di riflettere la *complessità* – intesa in senso rigoroso come proprietà scientifica dei sistemi derivante dalla loro struttura eterogenea e interattiva – delle economie moderne. Simulando popolazioni eterogenee che interagiscono secondo regole comportamentali plausibili, essi consentono di studiare fenomeni emergenti attraverso un approccio *bottom-up* (Epstein, Axtell 1996; Leombruni, Delli Gatti, Gallegati 2001), definito come quello di una scienza “generativa” (Epstein 1999). Tra le ragioni della crescente popolarità delle tecniche ABM vi è la varietà di applicazioni che esse possono comprendere, sia nelle scienze dure sia in quelle sociali: per quanto riguarda queste ultime, si trovano esempi in sociologia (ad es. Kohler, Gumerman 2000; Macy, Willer 2002; An 2012), psicologia (ad es. Abrahamson, Wilensky 2005; Smith, Conrey 2007), criminologia (ad es. Birks, Elffers 2014) e, naturalmente, in economia (cfr. Tesfatsion 2003; Arthur 2015 per un'introduzione).

I loro primi sviluppi risalgono alla fine degli anni Quaranta, quando Von Neumann progettò una macchina teorica in grado di riprodursi, da cui in seguito derivò il modello computazionale dei cosiddetti automi cellulari. Le prime applicazioni in economia apparvero all'inizio degli anni Settanta, ma fu negli anni Novanta che essi conobbero una notevole espansione grazie a studiosi come Epstein, Axtell, Gilbert e Terna, che ne promossero l'uso e lo studio. Successivamente, negli anni Duemila, i modelli basati su agenti si affermarono definitivamente nelle scienze sociali, e in particolare in economia (cfr. Namatame *et al.* 2002; Dosi, Fagiolo, Roventini 2010; Hamill, Gilbert 2015; Delli Gatti *et al.* 2018), grazie alla diffusione su larga scala dell'accesso a strumenti computazionali più tecnicamente avanzati. Ancor più recentemente, Axtell e Doyne Farmer (2025) hanno evidenziato come gli ABM abbiano ampliato la comprensione dei mercati, dell'organizzazione industriale, del lavoro e delle politiche pubbliche, fornendo strumenti per studiare fenomeni finanziari complessi come volatilità clusterizzata, rischio sistemico e bolle immobiliari. È nuovamente Doyne Farmer (2025) a sottolineare che i modelli quantitativi più recenti consentono predizioni temporali e affrontano domande non accessibili ai modelli tradizionali, pur mantenendo maggiore realismo grazie ad agenti limitatamente razionali che apprendono e prendono decisioni mediante euristiche.

Quest'articolo si propone di esplorare l'uso dei modelli ad agenti (ABM) per spiegare i fenomeni economici, al fine di identificare una giustificazione epistemologica al loro ricorso nella disciplina economica. A questo scopo, viene innanzitutto proposta una definizione formale di modello *agent-based*, illustrandone gli elementi costitutivi e le caratteristiche principali. Successivamente, vengono sviluppate alcune considerazioni dall'interno della disciplina attraverso lo sguardo di ricercatrici e ricercatori che sviluppano gli ABM, al fine di raggiungere una sorta di autovalutazione del loro status metodologico (cfr. § 2).

Viene in seguito posta una domanda più specifica, ossia se e in che modo gli ABM possano costituire validi strumenti per fornire spiegazioni scientifiche. In effetti, le simulazioni svolgono un ruolo nelle scienze sociali nel cosiddetto "contesto della scoperta", come strumenti per esplorare nuove idee e ipotesi, e servono anche come strumenti per costruire previsioni in contesti complessi in cui i comportamenti microeconomici giocano un ruolo cruciale nella formazione dei risultati aggregati. La do-

manda che si pone è dunque: in che modo e con quale grado di robustezza i modelli ad agenti possono costituire una forma di spiegazione dei fenomeni sociali? Per rispondere a questa domanda, viene approfondita estensivamente la letteratura sulla metodologia economica e i dibattiti che la attraversano, confrontando valutazioni tradizionali e più recenti su cosa costituisca una spiegazione nelle scienze sociali (cfr. § 3). A partire dalla nozione più tradizionale di spiegazione scientifica – ossia quella deduttivo-nomologica, che implica affermazioni di tipo nomologico per esprimere legami causali –, si arriverà a focalizzare l'attenzione sul ruolo dei modelli controfattuali per ottenere spiegazioni di tipo *how-possibly* nell'ambito di una scienza che, riprendendo Epstein, verrà definita come generativa (cfr. § 4).

Il contributo principale di questo lavoro consiste nel mostrare che gli ABM possono effettivamente fornire spiegazioni scientifiche dei fenomeni economici. Poiché tali spiegazioni emergono attraverso la costruzione di modelli controfattuali, esse risultano classificabili come spiegazioni *how-possibly* piuttosto che *how-actually*. L'argomentazione a sostegno di questa tesi è che gli ABM consentono di rendere conto delle relazioni causali senza imporre un vincolo nomologico. Ne consegue che è proprio l'attenzione ai processi che generano i fenomeni sociali ed economici aggregati a permettere agli ABM di produrre forme di spiegazione scientifica – un risultato riconosciuto sia da chi sviluppa operativamente i modelli ad agenti sia da chi li analizza dal punto di vista teorico.

2. Gli *agent-based models* visti da chi li fa

Il primo obiettivo di questo lavoro è definire cosa siano gli *agent-based models*, chiarendone le caratteristiche principali e gli scopi che possono perseguire, in particolare in ambito economico. A partire da tali questioni, la presente sezione offrirà una panoramica di come le e gli sviluppatori di modelli ad agenti concepiscano la loro metodologia, nella prospettiva che tali considerazioni possano contribuire a metterne in luce il valore epistemico.

Secondo una definizione generalmente accettata, gli ABM costituiscono una classe di modelli computazionali che simulano i comportamenti e le interazioni di agenti autonomi (intesi sia come entità indivi-

duali sia collettive) all'interno di un determinato sistema – o *ecologia* –, con l'obiettivo di valutarne gli effetti complessivi sul sistema stesso. Questi modelli generano la dinamica del sistema a partire dall'analisi del comportamento dei suoi elementi costitutivi e delle loro interazioni, attraverso un processo di aggregazione (Grüne-Yanoff, Weirich 2010). In altre parole, grazie alla simulazione computazionale, gli agenti agiscono e interagiscono seguendo regole comportamentali plausibili che combinano le loro caratteristiche: sono questi comportamenti e queste interazioni a determinare gli scenari emergenti che costituiscono l'*outcome* del modello.

Delli Gatti *et al.* (2018) richiamano l'approccio *bottom-up* alla base della metodologia *agent-based* e ne delineano le caratteristiche fondamentali. L'unità di base è l'agente che, in economia, può essere qualunque entità, dagli individui ai gruppi sociali – come famiglie, imprese o organizzazioni più complesse. Inoltre, un agente può essere costituito da altri agenti; in tal caso, deve essere percepito come un'unità dall'esterno e deve agire e interagire con l'ambiente e con gli altri agenti. In accordo con questo requisito, anche l'ambiente può essere modellato in termini di agenti: in caso contrario, può essere considerato semplicemente come un insieme di variabili che caratterizzano il sistema.

Il livello micro definisce i comportamenti di questi agenti eterogenei, i quali sono catturati tramite euristiche semplici, spesso basate su dati empirici, che permettono regole adattive e di apprendimento. Le variabili aggregate sono calcolate come somme o medie sulla popolazione degli agenti; alcune regolarità statistiche che non possono essere inferite dai comportamenti dei singoli emergono invece a livello macro grazie all'interazione e alle non-linearità. Uno degli obiettivi principali degli ABM è analizzare gli effetti dell'interazione, che svolge un duplice ruolo nei modelli. Da un lato, come osserva Shalizi (2006), gli agenti sono «entità persistenti che possiedono uno stato che vale la pena rappresentare e che interagiscono tra loro modificando reciprocamente i propri stati». Dall'altro, è il modo stesso in cui gli agenti interagiscono a determinare le traiettorie collettive del sistema. Gli ABM permettono quindi di studiare come i cambiamenti di stato delle variabili individuali influenzano il comportamento aggregato del sistema. In un certo senso, si può affermare che i comportamenti individuali degli agenti forniscono una microfondazione del comportamento aggregato del sistema, ma in

realtà c'è molto di più. Come afferma Anderson (1972) in un celebre saggio che ha avviato gli studi sulla complessità, «more is different»: a ogni nuovo livello di complessità emergono proprietà completamente nuove del sistema, tanto che, riprendendo un vecchio adagio marxista, le differenze quantitative si trasformano in qualitative. Tale proprietà, definita *emergenza*, svolge un ruolo chiave nella definizione dei sistemi complessi, poiché evidenzia la loro capacità di auto-organizzazione, ossia l'attitudine di un sistema a sostenere schemi senza essere controllato da un elemento centrale o esterno (Ladyman *et al.* 2013). Come sottolineano Delli Gatti *et al.* (2018), «l'auto-organizzazione della macroeconomia può essere rappresentata da un equilibrio statistico in cui l'ordine aggregato spontaneo è compatibile con il disequilibrio individuale». In un ABM applicato alla macroeconomia, una crisi non è altro che un fenomeno che emerge spontaneamente a livello macro dalle complesse interazioni di agenti eterogenei a livello micro.

Come già menzionato, gli ABM sono stati ampiamente applicati in diversi campi come strumenti utili nel cosiddetto *contesto della scoperta*. Tuttavia, la collocazione degli ABM nel dibattito economico-metodologico rimane un interrogativo aperto, e numerosi autori hanno provato a proporre giustificazioni epistemiche e pratiche per il loro utilizzo. Di seguito vengono riportate alcune considerazioni proprio di chi i modelli ad agenti li fa, esattamente con l'obiettivo di esplorare il loro ruolo nel cosiddetto *contesto della spiegazione*.

Va ammesso che l'impiego degli ABM non è senza dubbio privo di criticità operative. La costruzione, la calibrazione e la validazione di modelli basati su agenti richiedono scelte complesse a livello di microspecificazione, parametri comportamentali e regole di interazione, che possono influenzare in modo significativo i risultati. Problemi come l'eccessiva semplificazione di comportamenti complessi, la sensibilità alle condizioni iniziali, i costi computazionali e le difficoltà nell'interpretazione dei dati emergenti rappresentano sfide concrete che gli sviluppatori devono affrontare. La considerazione esplicita di queste limitazioni rafforza l'argomentazione metodologica, mostrando che la potenza esplicativa degli ABM non deriva dall'assenza di problemi applicativi, ma dalla capacità di gestirli consapevolmente all'interno di un quadro rigoroso di modellizzazione. In questo contesto, il contributo metodologico degli *agent-based models* alla disciplina emerge più chiaramente: essi non sono soltanto

strumenti di scoperta, ma anche strumenti di spiegazione, nei quali la trasparenza dei meccanismi micro-macro e la possibilità di sperimentare attraverso la simulazione di scenari alternativi assumono un ruolo centrale. Proprio questa attenzione ai processi e alle interazioni rende gli ABM strumenti particolarmente interessanti nel dibattito metodologico, anche in relazione ad altre classi di modelli oggi diffuse in economia. Ad esempio, rispetto ai modelli DSGE, caratterizzati da un'impostazione fortemente aggregata e da ipotesi di ottimizzazione e razionalità rappresentativa, gli ABM consentono una rappresentazione esplicita dell'eterogeneità e della non-linearità, offrendo quindi una prospettiva complementare sulle dinamiche macroeconomiche. Analogamente, se confrontati con i modelli basati su reti, che enfatizzano la struttura delle interdipendenze ma non sempre integrano in modo dettagliato la dimensione comportamentale, gli ABM permettono di unire la complessità topologica delle interazioni a microfondazioni più ricche e flessibili.

Secondo Terna (1998), gli ABM dovrebbero essere collocati «oltre l'individualismo metodologico» proprio in virtù della capacità di far emergere comportamenti aggregati. Fontana (1999) osserva che, sebbene il punto di partenza di un ABM sia l'individuo, le strutture collettive emergenti, come le istituzioni, hanno effetti di retroazione sulla popolazione di agenti, modificando il comportamento degli individui, una posizione in effetti coerente con formulazioni olistiche della disciplina. Epstein (1999) propone le simulazioni come una «nuova forma di scienza», sostenendo la loro natura esplicativa. A tal fine introduce la nozione di *spiegazione generativa*, in cui gli *explananda* macroscopici emergono da popolazioni artificiali di individui eterogenei (agenti) che interagiscono localmente secondo regole comportamentali plausibili. La scelta del termine "generativa" da parte di Epstein (1965) si ispira all'uso originario di Chomsky nella linguistica. Secondo questa suggestione, la teoria sintattica cerca sistemi di regole minimali sufficienti a generare le strutture di interesse, tra cui le costruzioni grammaticali; analogamente, le strutture di interesse generate che sono all'oggetto di questa riflessione sono, naturalmente, sociali. In questa prospettiva, spiegare un fenomeno sociale significa essere in grado di riprodurlo tramite simulazione, e così il motto dello scienziato generativo diventa: «If you didn't grow it, you didn't explain its emergence!» (Epstein 1999). In particolare, Epstein sostiene che gli ABM sono in grado di fornire dimostrazioni computa-

zionali poiché una data microspecificazione è sufficiente a generare una macrostruttura di interesse, e che tale dimostrazione costituisce una condizione necessaria per la spiegazione stessa.

Questa concezione, come si vedrà più estensivamente nella sezione successiva, colloca le simulazioni *agent-based* lontano dall'approccio deduttivo tradizionale. Sebbene sia possibile dedurre la proposizione che esprime l'osservazione da altre proposizioni più generali – poiché a ogni calcolo corrisponde una deduzione logica – non tutti gli argomenti deduttivi hanno il carattere costruttivo tipico della modellizzazione basata su agenti. Axelrod (2006) concorda sul fatto che le simulazioni non corrispondono perfettamente alla visione tradizionale della deduzione, poiché combinano tecniche deduttive (partendo da insiemi di assunzioni esplicite) con i dati che esse stesse generano, i quali possono essere analizzati in modo induttivo. Analogamente, Leombruni e Richiardi (2005), discutendo le ragioni per cui gli economisti mainstream si mostrano scettici verso i modelli *agent-based*, individuano tra le critiche ricorrenti, oltre alla difficoltà di stima dei modelli di simulazione, la loro assenza di generalità. Essi non solo dimostrano l'infondatezza di tali critiche, ma identificano tra i vantaggi degli ABM la maggiore ricchezza di specificazione che questi possono supportare, permettendo in questo modo la descrizione di fenomeni complessi: ciò consente di collocare, di fatto, gli ABM come uno strumento utile nel contesto della spiegazione.

Già Kirman (1992) denunciava l'inadeguatezza dell'"individuo rappresentativo" come elemento costitutivo dell'analisi delle economie moderne: questa importante tesi propone di considerare l'eterogeneità degli agenti sviluppando «un paradigma in cui gli individui operano in un sottoinsieme limitato dell'economia, sono diversi sia per caratteristiche sia per le attività che perseguono, e interagiscono direttamente tra loro». Analogamente, Ackerman (2002) suggerisce che la teoria economica dovrebbe essere arricchita con un nuovo modello di scelta del consumatore, analisi non lineari delle interazioni sociali e riconoscimento del ruolo centrale dei vincoli istituzionali e sociali. Più recentemente, Dosi e Roventini (2019) hanno sostenuto che l'economia debba essere considerata come un sistema complesso in evoluzione – ossia come un'ecologia popolata da agenti eterogenei – le cui interazioni lontane dall'equilibrio modificano continuamente la struttura del sistema, e in cui fenomeni macroeconomici come crisi e crescita emergono da tali

interazioni. Una posizione simile è espressa da Chorafakis (2020), che sottolinea l'importanza del principio metafisico di *emergenza* come premessa fondamentale di un programma di ricerca sistemico-progressivo in economia, affermando come esso sia indispensabile per comprendere sistemi economici complessi e per spiegare i fenomeni economici a questi ultimi correlati. Essendo in grado di catturare la complessità dei fenomeni economici e di rappresentarne le proprietà emergenti, gli ABM rappresentano un candidato naturale per questo compito.

La capacità di simulare un sistema fornisce dunque un laboratorio in cui esplorarne le caratteristiche, il che – dal punto di vista metodologico – significa che le simulazioni svolgono un ruolo nel cosiddetto *contesto della scoperta*. Questo ruolo consiste precisamente nella capacità di mettere in luce nuove proprietà emergenti e i processi che le generano. Ciò è stato sottolineato esplicitamente da Axtell (2000), il quale ha osservato che le simulazioni possono illuminare la struttura delle soluzioni dei modelli e ne illustrano le proprietà dinamiche laddove i modelli matematici tradizionali consentono la formulazione delle ipotesi di un dato problema ma non riescono a giungere analiticamente alla sua completa soluzione.

3. Vecchie, vecchissime e nuove concezioni di spiegazione scientifica

La presente sezione si propone di inquadrare il ruolo della modellizzazione nella spiegazione dei fenomeni economici, confrontando diverse concezioni di spiegazione scientifica emerse nel tempo nella filosofia della scienza. A partire dalla più ampia categoria dei modelli economici, l'obiettivo di questa sezione è quello di comprendere dove collocare gli ABM in questo quadro generale per discuterne l'efficacia nel fornire spiegazioni di tipo scientifico.

Il positivismo logico di Hempel riassume ciò che per lungo tempo è stato considerato il «punto di vista consolidato» sulle spiegazioni scientifiche (Bouman, Davis 2010): secondo questa prospettiva, una spiegazione scientifica di un fenomeno consiste nella sua riduzione a una legge generale. Si tratta della cosiddetta visione deduttivo-nomologica o della “legge di copertura” di una spiegazione scientifica, secondo la quale il fulcro dell'attività scientifica risiede nella scoperta di nuove leggi e nel-

la costruzione di nuovi teoremi. Secondo la *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, affinché un *explanans* – cioè l'insieme degli elementi addotti per rendere conto di un fenomeno – spieghi efficacemente un *explanandum* – ossia il fenomeno da spiegare – devono essere soddisfatte le seguenti due condizioni: i) l'*explanandum* deve seguire come conseguenza logica dell'*explanans*, assumendo come vere le proposizioni che lo compongono (componente “deduttiva”); e ii) l'*explanans* deve includere almeno una “legge di natura”, considerata premessa essenziale per la derivazione dell'*explanandum* (componente “nomologica” o “di legge”).

Tuttavia, oggi la visione deduttivo-nomologica della spiegazione scientifica è lontana dall'essere il punto di vista consolidato nella letteratura di riferimento, quantomeno per l'economia: innanzitutto perché, come si vedrà a breve, l'attenzione non dovrebbe essere sulle leggi generali, ma sui processi e sull'aggregazione; e in secondo luogo, perché la rilevanza scientifica delle teorie economiche non risiede nella loro formulazione sotto forma di teoremi.

Tornando indietro nel tempo, Hayek (1955) propone una definizione interessante del significato della ricerca economica, secondo cui l'economia mostra gli effetti inattesi delle azioni individuali sul comportamento aggregato. Questa definizione porta a una concezione completamente diversa di spiegazione scientifica, e per questo secondo Hayek la metodologia economica deve essere chiaramente distinta da quella delle scienze dure, come la fisica. Riguardo a quest'ultima, egli cita Popper, osservando che la direzione del percorso esplicativo va dal “conosciuto all'ignoto”: dato un fenomeno noto, il compito dello scienziato è scoprire la legge ignota da cui esso può essere dedotto e pienamente spiegato (o “coperto”). Tale prospettiva aiuta a inquadrare la natura complessa dei fenomeni sociali ed economici, suggerendo come i loro schemi esplicativi dovrebbero essere esplorati al di là del paradigma delle leggi di copertura. Come sottolineano molto più tardi Koppl *et al.* (2014) confrontando le scienze sociali con la biologia, le loro dinamiche evolutive sono “creative” poiché lasciano spazio a schemi emergenti pur muovendo da sistemi deterministici. Secondo Hayek (1955), queste dinamiche «sono, in un certo senso, derivative: consistono in deduzioni ricavate da combinazioni di leggi fisiche note e non enunciano, a rigore, leggi proprie distinte, ma articolano le leggi della fisica in schemi esplicativi adeguati al peculiare tipo di fenomeni cui si riferiscono». Il punto

centrale di Hayek è che una spiegazione (scientifica) affidabile delle regolarità – ossia degli effetti inattesi delle azioni individuali – che emergono a livello macro dipende da «se e come abbiamo selezionato le ipotesi appropriate dal nostro insieme di enunciati accettati e le abbiamo combinate nel modo corretto». L'attenzione, quindi, non va posta sulle leggi generali, ma sui processi di mercato e sull'aggregazione. Il fatto che la conoscenza tradizionale sui comportamenti degli individui si traduca in risultati macro sconosciuti dipende dalla complessità dei sistemi economici (Hayek 1964). Non sorprende, dunque, la chiara somiglianza tra la visione derivativa di Hayek della spiegazione nelle scienze sociali e quella generativa di Epstein. Considerando anche il suo richiamo alla complessità, come osserva Vriend (2002), Hayek può essere visto persino come un economista computazionale *agent-based avant-la-lettre*.

Anche l'idea secondo cui il valore aggiunto delle teorie economiche risieda nella loro formulazione in termini di teoremi è una conclusione semplicistica: l'esempio dell'ombra del palo di Salmon (1989) illustra efficacemente questo punto. In questo esempio, si può derivare la lunghezza dell'ombra proiettata da un palo dall'altezza del palo e dall'angolo del sole sopra l'orizzonte e formalizzare tale relazione attraverso la costruzione di un teorema. Questa derivazione soddisfa i criteri deduttivo-nomologici e sembra esplicativa, ma in realtà non fornisce alcuna informazione sul legame causale tra il palo e la sua ombra. Come osserva Salmon, «un palo di una certa altezza causa un'ombra di una data lunghezza e quindi spiega la lunghezza dell'ombra», mentre «l'ombra non causa il palo e di conseguenza non può spiegare la sua altezza».

Questo punto viene ripreso e discusso da Sugden (2000), che sostiene che i modelli economici possano essere visti come una combinazione di due elementi: un sistema formale non interpretato, all'interno del quale è possibile effettuare deduzioni logiche, e una narrazione che fornisce una sorta di interpretazione di tale sistema. Secondo questa prospettiva, è necessario trovare “parole credibili” capaci di colmare il divario tra il mondo del modello e il mondo reale. L'intuizione di Sugden è che i modelli non siano né semplici insiemi coerenti di teoremi non interpretati, né descrizioni semplificate, astratte o esagerate della realtà: essi rappresentano mondi controfattuali credibili, e questa credibilità costituisce un fondamento per trarre inferenze induttive dal modello al mondo reale. Morgan (2001) propone un'idea simile, sostenendo che le

storie – o meglio, le narrazioni – di un modello non siano meri strumenti di persuasione, ma una parte integrante della sua identità. Senza gli elementi narrativi che strutturano la storia raccontata dal modello non saremmo in grado di applicare direttamente le strutture del modello ai fatti del mondo economico, né di dedurre esiti riguardanti il mondo ipotetico rappresentato dal modello. Qualche anno prima, Morgan e Morrison (1999) avevano suggerito che i modelli dovrebbero essere considerati strumenti di mediazione tra teoria e fenomeni del mondo reale, cioè strumenti di indagine. Ciò ha un duplice valore nel descrivere il ruolo dei modelli nella spiegazione: da un lato chiarisce come i modelli si relazionano con il mondo reale, fornendo rappresentazioni con caratteristiche di similarità; dall'altro, evidenzia come i modelli si relazionano tra loro nel processo di formazione della conoscenza. Grüne-Yanoff (2008) sottolinea che i modelli economici minimalisti non sono simili al mondo reale, non riproducono alcune delle sue caratteristiche e non aderiscono a regolarità accettate; tuttavia, sostiene che si può comunque imparare qualcosa da essi se la loro costruzione e la loro analisi influiscono sulla fiducia nelle ipotesi sul mondo, richiamando anch'egli il concetto di credibilità.

Questo punto di vista permette di considerare i modelli non come teorie, ma come loro rappresentazioni, in cui l'insieme compatto di assunzioni su cui un modello è costruito si combina dando origine a una delle possibili realizzazioni del modello come *output*. Secondo questa concezione, i modelli sono strumenti ibridi: la narrazione basata sul modello si fonda sulle relazioni tra elementi del modello coperte dalle teorie economiche e incorpora la logica matematica in cui sono espressi, ma chi costruisce il modello deve compiere scelte sensate per rendere significative queste storie, consentendo loro di fornire spiegazioni scientifiche. Raccontare una storia tramite un modello formale espresso come legge generale è una questione di convenienza, ma il modello non deve nascondere i processi che intende rappresentare. I modelli *agent-based* si conformano a questo approccio in maniera coerente: simulando agenti eterogenei che interagiscono secondo regole plausibili, rendono visibili i processi generativi sottostanti ai fenomeni economici, permettendo di raccontare "storie" scientificamente significative senza ridurre il modello a una semplice legge generale. La classificazione di queste spiegazioni tra i diversi tipi di spiegazione scientifica sarà oggetto della sezione successiva.

4. Il ruolo dei modelli controfattuali: dalle spiegazioni *how-actually* a quelle *how-possibly*

Il legame tra spiegazioni, causalità e modelli resta un tema centrale nel dibattito metodologico ed epistemico: in questa sezione verranno esaminate le recenti evoluzioni di questo dibattito. A partire dal “paradosso della spiegazione” di Reiss (2012), viene introdotta la nozione di spiegazione non causale, secondo cui l'efficacia esplicativa di un modello non dipende necessariamente dall'identificazione delle cause reali di un dato fenomeno. Questa intuizione apre la strada alla formalizzazione della categoria analitica di spiegazione di tipo *how-possibly* che, a differenza della più tradizionale spiegazione di tipo *how-actually*, consente di esplorare scenari e processi plausibili, mostrando come un fenomeno potrebbe emergere, piuttosto che come sia realmente emerso.

Negli ultimi anni, il ruolo della causalità come requisito per la spiegazione scientifica è stato messo sotto forte scrutinio, aprendo la strada a prospettive basate su spiegazioni non causali (Verrault-Julien 2019a). Il “paradosso della spiegazione” di Reiss (2012) illustra esattamente questa tensione: se i modelli economici sono falsi, come possono comunque fornire spiegazioni? Il trilemma proposto da Reiss stimola a riflettere su modalità di spiegazione diverse dai paradigmi tradizionali basati su leggi causali e unificanti.

Il paradosso ha infatti alimentato un dibattito vivace tra gli studiosi della disciplina: diversi autori ne hanno esplorato le implicazioni e generalmente risolvono il trilemma rigettando una o più delle sue ipotesi. Grüne-Yanoff (2013) e Mäki (2013) rigettano la prima proposizione del trilemma attaccando il concetto di *falsità* dei modelli. Entrambi mostrano che molti modelli economici non mirano a spiegazioni *how-actually*, ma a spiegazioni *how-possibly*, illuminando processi e relazioni plausibili senza affermare ciò che ha effettivamente generato il fenomeno facendo ricorso alla nozione di spiegazione funzionale. Rol (2013) distingue tra verità astratta e verità controfattuale per evidenziare come il ragionamento controfattuale permetta inferenze sulle dinamiche possibili del sistema economico sotto la forma di rappresentazioni simili a leggi, mentre Sugden (2013) richiama la nozione di “mondi credibili” come base per spiegazioni significative. Hausman (2013) sottolinea invece che i modelli rimangono esplicativi finché le loro semplificazioni o idealiz-

zazioni non condizionano strutturalmente i risultati. In ogni caso, che si condividano o meno gli argomenti del paradosso, non è possibile ignorare la rilevanza delle sue implicazioni, così come il crescente interesse per le spiegazioni non causali nella filosofia della scienza. Lange (2012) mostra, riprendendo il caso dell'ombra del palo discusso da Salmon, che le spiegazioni matematiche possono essere non causali e offrire una comprensione che le spiegazioni causali non consentono di raggiungere, rendendo l'*explanandum* più necessario di quanto permettano le ordinarie leggi causali.

Reutlinger (2016) propone una teoria monista delle spiegazioni causali e non causali, sostenendo che entrambe possono essere comprese attraverso una stessa struttura controfattuale. Egli richiama la soluzione di Eulero al celebre problema dei Sette Ponti di Königsberg – considerata un esempio paradigmatico di spiegazione non causale, poiché basata sulla teoria dei grafi – per mostrare che anche le spiegazioni non causali rispondono a una *why-question*. La soluzione di Eulero soddisfa infatti le tre condizioni che definiscono una relazione esplicativa: veridicità, implicazione e dipendenza. In questo modo, Reutlinger mostra che sia le spiegazioni causali sia quelle non causali risultano tali in virtù delle dipendenze controfattuali che mettono in luce la relazione tra *explanans* ed *explanandum*; anche nelle spiegazioni non causali, dunque, il fulcro è costituito da questo tipo di dipendenze.

Uno dei principali meriti di questo approccio è quello di chiarire il ruolo delle spiegazioni *how-possibly*. Reutlinger (2017) osserva che la teoria controfattuale delle spiegazioni può descrivere non solo le spiegazioni *how-actually* – ossia quelle che identificano ciò che ha effettivamente prodotto un fenomeno – ma anche quelle *how-possibly*, che mostrano come un fenomeno potrebbe emergere a partire da cause o meccanismi possibili. Le spiegazioni *how-possibly* si differenziano da quelle *how-actually* perché non mirano a ricostruire l'effettiva storia causale, ma a delineare scenari plausibili che rendono intelligibile il fenomeno. La loro importanza epistemica è ampiamente riconosciuta da una vasta letteratura (e.g., Dray 1968; Brandon 1990; Lipton 2004; Bokulich 2014; Aydinonat 2018), che vede in queste un forte parallelismo con l'idea peirciana di *inferenza alla migliore spiegazione* (Sober 2003). In linea con questo, Ylikoski e Aydinonat (2014) osservano che i modelli teorici possono essere meglio compresi nel contesto di un ventaglio

di possibili spiegazioni, distinguendo tra scenari causali e schemi di meccanismi causali, e sottolineano che il loro valore epistemico risiede nella capacità di illuminare schemi di meccanismi plausibili, anche quando non descrivono le cause effettive di un fenomeno specifico.

In un altro contributo, Verrault-Julien (2019b) precisa che le spiegazioni *how-possibly* sono particolarmente rilevanti quando manca l'evidenza empirica necessaria per sostenere una rivendicazione di attualità, ma vi è comunque sufficiente supporto per una rivendicazione di possibilità. Egli chiarisce che un modello fornisce una spiegazione *how-possibly* quando offre elementi a favore di proposizioni del tipo "(p perché q)", mostrando che la relazione ipotizzata tra *explanans* ed *explanandum* è plausibile. In questa prospettiva, comprendere la struttura generale delle spiegazioni *how-possibly* e il modo in cui esse si intrecciano con i modelli consente di valutare il contributo conoscitivo di un modello: vi sono modelli che offrono ragioni per ritenere possibile l'*explanans*, altri che rendono possibile l'*explanandum*, e altri ancora che forniscono addirittura evidenza della loro impossibilità.

Oggi, secondo Grüne-Yanoff e Verrault-Julien (2021), vi è un ampio consenso sul fatto che il contributo epistemico dei modelli consista soprattutto nella loro capacità di fornire spiegazioni di tipo *how-possibly*, più che spiegazioni effettive dei fenomeni. Poiché mirano a chiarire come un fenomeno *potrebbe* emergere, queste spiegazioni spesso individuano – almeno in parte – le cause possibili del fenomeno stesso. Gli autori propongono inoltre di adottare un criterio che permetta di distinguere tra spiegazioni *how-possibly* "oggettive" ed "epistemiche", così da separare le ricostruzioni genuinamente informative dalle semplici "storie *ad hoc*" che descrivono possibilità solo apparenti.

5. Spiegazioni *how-possibly* e struttura inferenziale negli ABM: esprimere causalità senza requisiti nomologici

Dopo aver fornito una definizione di modello ad agenti e averne analizzato le caratteristiche fondamentali – tanto dal punto di vista della loro costruzione quanto nel contesto del dibattito teorico – sono state passate in rassegna le principali concezioni di spiegazione scientifica sviluppatasi nel tempo e la loro relazione con la modellizzazione eco-

nomica. Questo percorso ha condotto all'introduzione, tramite la teoria controfattuale delle spiegazioni scientifiche, della nozione di spiegazione *how-possibly* e della sua crescente rilevanza nella letteratura recente. La presente sezione si propone ora di chiarire il nesso tra questa forma di spiegazione e gli *agent-based models*, al fine di determinare quale contributo specifico tale metodologia offra alla disciplina economica e alla comprensione dei fenomeni che essa indaga.

Come si è visto, l'approccio deduttivo-nomologico non rappresenta più la visione dominante della spiegazione scientifica in economia: l'accento si è spostato dai teoremi e dalle leggi generali verso i processi, le dinamiche di aggregazione e la valutazione controfattuale. Sugden (2000) aveva già individuato il ruolo cruciale dei controfattuali "credibili" per spiegazioni convincenti, richiamando due modelli paradigmatici: il mercato dei limoni di Akerlof, tipicamente deduttivo-nomologico, e il modello a scacchiera di Schelling, oggi ampiamente riconosciuto come precursore degli ABM (Epstein, Axtell 1996; Aydinonat 2007). Quest'ultimo in particolare mostra con chiarezza come microcomportamenti lievemente segregazionisti possano generare schemi macro emergenti: si tratta di un esempio emblematico di spiegazione generativa.

Gli *agent-based models* si inseriscono in modo naturale in questo quadro. Sebbene illuminino schemi di meccanismi causali, essi non producono teoremi generali né leggi universali, come osserva Axelrod (2006): la loro forza esplicativa risiede altrove, nella simulazione di processi plausibili e nella ricostruzione esplicita delle catene generative. È per questo che non possono essere assimilati alle spiegazioni non causali, come la soluzione di Eulero al dilemma dei Sette Ponti: gli ABM tracciano relazioni causali possibili, non mere dipendenze strutturali astratte.

Il loro contributo va dunque compreso alla luce della distinzione tra spiegazioni effettive (*how-actually*) e spiegazioni *how-possibly*. Seguendo la prospettiva di Davis (2018), la modellizzazione *agent-based* risponde in modo naturale a domande controfattuali del tipo *what-if*, offrendo scenari causalmente plausibili senza impegnarsi nella ricostruzione della storia causale effettiva. In questo senso, gli ABM offrono una forma strutturata di "evidenza aneddotica": non dimostrazioni nomologiche, ma osservazioni sistematiche delle dinamiche emergenti su numerosi esperimenti simulati. È vero che, come osservano Moore e Stilgoe (2009), gli aneddoti tendono a essere individuali e quindi a veicolare ricostruzioni soggettive; tuttavia, quando tali regolarità

emergono stabilmente da molteplici simulazioni, assumono una rilevanza non più trascurabile. Come nota Epstein (1999), nessuno contesterebbe a un biologo di laboratorio la comprensione della dinamica di una popolazione di insetti sulla base di pattern ricorrenti osservati sperimentalmente “senza teoremi”: non vi è dunque ragione per svalutare analoghe regolarità quando emergono dalle simulazioni *agent-based*.

La critica di Grüne-Yanoff (2009), secondo cui gli ABM fornirebbero solo spiegazioni funzionali e parziali, può essere efficacemente respinta richiamando la concezione di Machamer *et al.* (2000): nei sistemi complessi, le spiegazioni causali sono necessariamente parziali, poiché si basano su entità e attività, non su regolarità universali. In questo quadro, la “parzialità” non è né una caratteristica specifica che appartiene solo agli ABM né un difetto, ma un elemento strutturale delle scienze sociali. Già Jackson (2002) aveva sottolineato la piena compatibilità delle spiegazioni funzionali con caratteristiche come il pluralismo causale, l'emergenza e una prospettiva realista, auspicando che gli economisti ne facessero più estesamente ricorso – un'intuizione poi ripresa da Elsenbroich (2012), che la utilizza per sostenere la legittimità e la rilevanza delle spiegazioni funzionali generate dagli ABM.

A questo punto, il legame con le spiegazioni *how-possibly* risulta immediato. Gli ABM, essendo costruiti per simulare processi generativi possibili, producono naturalmente spiegazioni *how-possibly*: mostrano come specifiche dinamiche microfondate potrebbero dar luogo ai fenomeni macro osservati, senza pretendere di identificarne le cause effettive. Ciò che li rende particolarmente adatti a questo ruolo è la loro struttura *bottom-up*: invece di postulare direttamente relazioni nomologiche tra grandezze aggregate, gli ABM esplorano lo spazio delle possibili traiettorie emergenti che scaturiscono dall'interazione di agenti eterogenei, di regole locali e di meccanismi non lineari.

È proprio questa capacità di rendere trasparenti i meccanismi generativi – anche quando non sono quelli realmente operanti nel mondo – che costituisce il principale contributo degli ABM alla comprensione dei fenomeni economici. Essi non si limitano a proporre scenari ipotetici: rendono esplicite le dipendenze plausibili tra *explanans* ed *explanandum*, mostrando *come* i processi, le interazioni locali e le dinamiche emergenti possano generare risultati collettivi, senza dover ricorrere a leggi generali o a vincoli nomologici imposti dall'alto. In questo modo, gli ABM permet-

tono di esprimere relazioni causali in termini di meccanismi e configurazioni possibili. Inoltre, poiché gli ABM esplicitano ogni passaggio della catena generativa, essi permettono di distinguere tra possibilità genuine e possibilità apparenti: ciò li rende strumenti particolarmente efficaci per produrre spiegazioni *how-possibly* “oggettive”, nel senso suggerito da Grüne-Yanoff e Verrault-Julien (2021). Attraverso la simulazione, tali modelli consentono di valutare se certi meccanismi ipotizzati siano effettivamente capaci di generare l'*outcome* considerato, o se invece debbano essere scartati perché incapaci di riprodurlo anche in linea di principio.

Alla luce di quanto osservato, collocare gli *agent-based models* all'interno del quadro delle spiegazioni *how-possibly* non costituisce una scelta epistemologicamente debole rispetto alle spiegazioni *how-actually*: al contrario, valorizza le potenzialità peculiari di questa metodologia. Gli ABM sono strumenti che permettono di esplorare lo spazio delle possibilità strutturali del sistema, individuare meccanismi plausibili e produrre rappresentazioni generative che consentono di comprendere perché un fenomeno sia possibile, senza limitarsi a indicare quale sia stata la causa effettiva.

Vale infine la pena di sottolineare come questa concezione di causalità richiami le visioni “derivative” di Hayek e “generative” di Epstein. In entrambi i casi, occorre selezionare ipotesi appropriate sulle microunità e combinarle per ottenere un risultato – anche inatteso – costruendo una narrazione credibile del fenomeno. In altre parole, si tratta di proporre una spiegazione *how-possibly* che mostri come un risultato possa emergere da specifiche condizioni microfondative. La forza degli ABM risiede dunque nella loro capacità di fornire spiegazioni scientifiche senza fare ricorso a vincoli nomologici, enfatizzando invece processi, interazioni e aggregazione come chiavi per comprendere i fenomeni osservati: una modalità di spiegare perfettamente adeguata alla natura complessa dei sistemi economici.

6. Conclusioni

Questo articolo ha esplorato il contributo epistemologico e metodologico degli *agent-based models* nel contesto della spiegazione scientifica in economia. Dopo aver analizzato le caratteristiche principali degli

ABM e il dibattito teorico sulla spiegazione scientifica, si è messo in luce come la nozione di spiegazione *how-possibly*, sviluppata attraverso la teoria controfattuale delle spiegazioni scientifiche, rappresenti un quadro concettuale particolarmente adatto a comprendere il valore dei modelli *agent-based*.

Gli ABM si distinguono dalle tradizionali spiegazioni nomologico-deduttive perché non mirano a derivare leggi generali o teoremi, ma esplorano lo spazio delle possibili traiettorie emergenti da interazioni locali e meccanismi non lineari. In questo senso, essi forniscono spiegazioni causali strutturate, pur senza imporre vincoli nomologici: rendono trasparenti i processi generativi, le interazioni tra agenti e la formazione emergente di fenomeni aggregati. La loro capacità di produrre evidenze "aneddotiche" sistematiche, attraverso simulazioni ripetute, consente di identificare meccanismi plausibili e di distinguere tra possibilità genuine e possibilità apparenti.

Inoltre, la discussione ha mostrato che le critiche riguardo alla presunta parzialità o secondarietà epistemica delle spiegazioni prodotte dagli ABM non reggono alla luce di una concezione della causalità come interazione di entità e attività, tipica dei sistemi complessi. Le spiegazioni funzionali e *how-possibly* generate dagli ABM, lungi dall'essere epistemologicamente meno rilevanti, offrono un contributo significativo alla comprensione dei fenomeni economici, allineandosi alle intuizioni di autori come Hayek e Epstein sulle dinamiche derivative o generative.

In definitiva, collocare gli ABM all'interno del quadro delle spiegazioni *how-possibly* consente di valorizzare appieno le potenzialità specifiche di questa metodologia. Grazie alla loro capacità di simulare processi generativi, esplorare lo spazio delle possibilità e rendere trasparenti le interazioni micro-macro, gli ABM offrono strumenti potenti per comprendere come determinati fenomeni possano emergere, fornendo spiegazioni causali strutturate senza ricorrere a leggi generali, offrendo così un contributo significativo alla disciplina economica e alla modellizzazione di sistemi complessi.

Bibliografia

- Abrahamson D., Wilensky U. (2005), "Piaget? Vygotsky? I'm Game! - Agent-Based Modeling for Psychology Research", paper presented at the annual meeting of the Jean Piaget Society, Vancouver, 1-3 June.
- Ackerman F. (2002), "Still Dead After All These Years: Interpreting the Failure of General Equilibrium Theory", *Journal of Economic Methodology*, vol. 9, n. 2, pp. 119-139, doi:10.1080/13501780210137083.
- An L. (2012), "Modeling Human Decisions In Coupled Human And Natural Systems: Review Of Agent-Based Models", *Ecological Modelling*, vol. 229, 25-36, doi:10.1016/j.ecolmodel.2011.07.010.
- Anderson P.W. (1972), "More is Different", *Science*, New Series, vol. 177, n. 4047, pp. 393-396, doi:10.1126/science.177.4047.393.
- Arthur B.W. (2015), *Complexity and the Economy*, Oxford, Oxford University Press.
- Axelrod R. (2006), "Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences" in J. Rennard (a cura di), *Handbook of Research on Nature Inspired Computing for Economy and Management*, Hersey, Idea Group.
- Axtell R.L. (2000), "Why Agents? On the Varied Motivations for Agent Computing in the Social Sciences", Washington, The Brookings Institution, Center on Social and Economic Dynamics, Working Paper n. 17.
- Axtell R.L., Doynne Farmer J. (2025), "Agent-Based Modeling in Economics And Finance: Past, Present, and Future", *Journal of Economic Literature*, vol. 63, n. 1, pp. 197-287, doi: 10.1257/jel.20221319.
- Aydinonat N.E. (2018), "The Diversity of Models as a Means to Better Explanations in Economics", *Journal of Economic Methodology*, vol. 25, n. 3, pp. 237-251, doi:10.1080/1350178X.2018.1488478.
- (2007), "Models, Conjectures and Exploration: An Analysis of Schelling's Checkerboard Model of Residential Segregation", *Journal of Economic Methodology*, vol. 14, n. 4, pp. 429-454, doi: 10.1080/13501780701718680.
- Birks D., Elffers H. (2014), "Agent-Based Assessments of Criminological Theory", in G. Bruinsma, D. Weisburd (a cura di), *Encyclopedia of Criminology and Criminal Justice*, New York, Springer, https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5690-2_687.
- Bokulich A. (2014), "How the Tiger Bush Got Its Stripes: 'How Possibly' vs. 'How Actually' Model Explanations". *The Monist*, vol. 97, n. 3, pp. 321-338, doi:10.5840/monist201497321
- Brandon R. (1990), *Adaptation and Environment*, Princeton, Princeton University Press.
- Boumans M., Davis J.B. (2010), *Economic Methodology: Understanding Economics as Science*, Palgrave Macmillan.

- Chorafakis G. (2020), "Emergence versus Neoclassical Reductions in Economics", *Journal of Economic Methodology*, vol. 27, n. 3, pp. 240-262, doi:10.1080/1350178X.2020.1727549.
- Davis J.B. (2018), "Agent-Based Modeling's Open Methodology Approach: Simulation, Reflexivity, and Abduction", *Oeconomia*, vol. 8, n. 4, pp. 509-529, doi:10.4000/oeconomia.4402.
- Delli Gatti D., Fagiolo G., Gallegati M., Richiardi M., Russo A. (2018), *Agent-based Models in Economics: A Toolkit*, Cambridge, Cambridge Press University.
- Dosi, G., Fagiolo, G., Roventini, A. (2010), "Schumpeter Meeting Keynes: A Policy-Friendly Model of Endogenous Growth and Business Cycles", *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 34, n. 9, pp. 1748-1767. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2010.06.018>.
- Dosi G., Roventini A. (2019), "More Is Different... And Complex! The Case for Agent-Based Macroeconomics", *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 29, pp. 1-37, doi:10.1007/s00191-019-00609-y.
- Doyme Farmer J. (2025), "Quantitative Agent-Based Models: A Promising Alternative for Macroeconomics", *Oxford Review of Economic Policy*, vol. 41, n. 2, pp. 571-590, <https://doi.org/10.1093/oxrep/graf027>.
- Dray W.H. (1968), "On explaining How-possibly", *The Monist*, vol. 52, n. 3, pp. 390-407, doi:10.5840/monist196852339.
- Elsenbroich C. (2012), "Explanation in Agent-Based Modelling: Functions, Causality or Mechanisms?", *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 15, n. 3, pp. 133-142, doi: 10.18564/jasss.1958.
- Epstein J.M. (1999), "Agent Based Models and Generative Social Science", *Complexity*, vol. 4, n. 5, doi:10.1002/(SICI)1099-0526(199905/06)4:5<41::AID-CPLX9>3.0.CO;2-F.
- Epstein J.M., Axtell R. (1996), *Growing Artificial Societies – Social Science from the Bottom Up*, Cambridge (MA), The MIT Press.
- Fontana M. (1999), *Market and Institutions, An Agent-Based Computational Economic Model*, Phd Dissertation, Doctoral Programme in European Economic Studies (XI cycle).
- Gräbner C., Strunk B. (2020), "Pluralism in Economics: Its Critiques and Their Lessons". *Journal of Economic Methodology*, vol. 27, n. 4, pp. 311-329, doi:10.1080/1350178X.2020.1824076.
- Grüne-Yanoff T. (2013), "Genuineness Resolved: A Reply to Reiss' Purported Paradox", *Journal of Economic Methodology*, vol. 20, n. 3, pp. 255-261, doi:10.1080/1350178X.2013.828866.
- (2009), "The Explanatory Potential of Artificial Societies", *Synthese*, vol. 69, pp. 539-555, doi:10.1007/s11229-008-9429-0.

- (2008), “Learning from Minimal Economic Models”, *Erkenn*, vol. 70, pp. 81-99, doi:10.1007/s 10670-008-9 138-6.
- Grüne-Yanoff T. Weirich P. (2010), “The Philosophy and Epistemology of Simulation: A Review”, *Simulation & Gaming*, vol. 41, n. 1, pp. 20–50, doi:10.1177/1046878109353470.
- Grüne-Yanoff T., Marchionni C. (2018), “Modeling Model Selection in Model Pluralism”, *Journal of Economic Methodology*, vol. 25, n. 3, pp. 265-275, doi:10.1080/1350178X.2018.1488572.
- Grüne-Yanoff T., Verreault-Julien P. (2021). How-possibly explanations in economics: anything goes?. *Journal of Economic Methodology*, doi:10.1080/1350178X.2020.18G8779
- Hamill L., Gilbert N. (2015), *Agent-Based Modelling in Economics*, Hoboken, John Wiley & Sons Inc.
- Hausman D.M. (2013), “Paradox Postponed”, *Journal of Economic Methodology*, vol. 20, n. 3, pp. 250-254, doi:10.1080/1350178X.2013.828868.
- Hayek F.A. (1964), “The Theory of Complex Phenomena”, in Id., *Studies in philosophy, politics and economics*, London, Routledge & Kegan Paul.
- (1955), “Degrees of Explanation”, *The British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 6, n. 23, pp. 209-225, <https://www.jstor.org/stable/685677>.
- Jackson W.A. (2002), “Functional Explanation In Economics: A Qualified Defence”, *Journal of Economic Methodology*, vol. 9, n. 2, pp. 169-189, doi:10.1080/13501780110078981.
- Kirman A.P. (1992), “Whom or What Does the Representative Individual Represent?”, *Journal of Economic Perspectives*, vol. 6, n. 2, pp. 117-113, doi:10.1257/jep.6.2.117.
- Kohler T.A., Gumerman G.J. (2000), *Dynamics in Human and Primate Societies: Agent-Based Modeling of Social and Spatial Processes*, New York, Oxford University Press.
- Koppl R., Kauffman S.A., Felin T., Longo G. (2014), “Economics for a Creative World”, *Journal of Institutional Economics*, vol. 11, n. 1: pp. 1-31, doi:10.1017/S1744137414000150.
- Ladyman J., Lambert J., Wiesner K. (2013). “What Is a Complex System?”, *European Journal of Philosophy of Science*, vol. 3, pp. 33-67, doi:10.1007/s13194-012-0056-8.
- Lange M. (2012), “What Makes a Scientific Explanation Distinctively Mathematical?”, *British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 64, pp. 485-511, doi:10.1093/bjps/axs012.
- Leombruni R., Delli Gatti D., Gallegati M. (2001), “Growing Theories from the “Bottom Up”. A Simple Entry-Exit Model”, in F. Luna, A. Perrone (a cura di),

- Agent-Based Methods in Economics and Finance. Advances in Computational Economics*, vol 17, Boston, Springer, https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0785-7_7.
- Leombruni R, Richiardi M. (2005), "Why Are Economists Sceptical About Agent-Based Simulations?", *Physica A Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 355, n. 1, pp. 103-109, doi:10.1016/j.physa.2005.02.072.
- Lipton, P. (2004), *Inference to the best explanation* (2a ed.), London, Routledge.
- Machamer P, Darden L., Craver C.F. (2000), "Thinking about Mechanisms", *Philosophy of Science*, vol. 67, pp. 1-25, doi:10.1086/392759.
- Macy M.W., Willer R. (2002), "From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling", *Annual Review of Sociology*, vol. 28, pp. 143-166, doi:10.1146/annurev.soc.28.110601.141117.
- Mäki U. (2018), "Rights and Wrongs of Economic Modelling: Refining Rodrik", *Journal of Economic Methodology*, vol. 25, n. 3, pp. 218-236, doi: 10.1080/1350178X.2018.1488475.
- (2013), "On a Paradox of Truth, or How Not to Obscure the Issue of Whether Explanatory Models Can Be True", *Journal of Economic Methodology*, vol. 20, n. 3, pp. 268-279, doi: 10.1080/1350178X.2013.828869.
- Namatame A., Terano T., Kurumatani K. (2002), *Agent-Based Approaches in Economic and Social Complex Systems*, Ios Press, Sage.
- Moore A., Stilgoe J. (2009), "Experts and Anecdotes: The Role of 'Anecdotal Evidence' in Public Scientific Controversies", *Science, Technology and Human Value*, vol. 34, n. 5, pp. 654-677, doi:10.1177/0162243908329382.
- Morgan M.S. (2001), "Models, Stories and the Economic World", *Journal of Economic Methodology*, vol. 8, n. 3, pp. 361-384, doi:10.1080/13501780110078972.
- Morgan M.S., Morrison M. (1999), *Models as Mediators*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Reiss J. (2012), "The Explanation Paradox", *Journal of Economic Methodology*, vol. 19, n. 1, pp. 43-62, doi:10.1080/1350178X.2012.66106.
- Reutlinger A. (2017), "Explanation Beyond Causation? New Directions in the Philosophy of Scientific Explanation", *Philosophy Compass*, vol. 12, n. 2, e12395, doi:10.1111/phc3.12395.
- (2016), "Is There a Monist Theory of Causal and Non-Causal Explanations? The Counterfactual Theory of Scientific Explanation", *Philosophy of Science*, vol. 83, n. 5: pp. 733-745, doi:10.1086/687859.
- Rodrik D. (2017), *Economics Rules: Why Economics Works, When It Fails, and How To Tell The Difference*, Oxford, Oxford University Press.
- Rol M. (2013), "Reply to Julian Reiss", *Journal of Economic Methodology*, vol. 20, n. 3, pp. 244-249, doi:10.1080/1350178X.2013.828870.

- Salmon W.C. (1989), "Four Decades of Scientific Explanation", *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol. 13, Minneapolis, University of Minnesota Press, <https://hdl.handle.net/11299/185698>.
- Shalizi C.R. (2006), "Methods and Techniques of Complex Systems Science: An Overview", in T.S Deisboeck, J. Yasha Kresh, *Complex systems science in biomedicine*, Berlin, Springer, pp. 33-114.
- Smith E.R., Conrey F.R. (2007), "Agent-Based Modeling: A New Approach for Theory Building in Social Psychology", *Personality and Social Psychology Review*, vol. 11, n. 87, doi:10.1177/10888G8306294789.
- Sober E. (2003), "Two uses of unification", in F. Stadler (a cura di), *The Vienna Circle and Logical Empiricism*, Vienna Circle Institute Yearbook, vol 10, Dordrecht, Springer, doi:10.1007/0-306-48214-2_17.
- Stanford Encyclopedia of Philosophy* (2025), "Scientific explanation", retrieved on December 4th, 2025, <https://plato.stanford.edu/entries/scientific-explanation/>.
- Sugden R. (2013), "How Fictional Accounts Can Explain", *Journal of Economic Methodology*, vol. 20, n. 3, pp. 237-243, doi:10.1080/1350178X.2013.828872.
- (2000), "Credible Worlds: The Status of Theoretical Models in Economics", *Journal of Economic Methodology*, vol. 7, n. 1, pp. 1-31, doi:10.1080/135017800362220.
- Terna P. (1998), "Creare mondi artificiali: una nota su Sugarscape e due commenti", *Sistemi Intelligenti*, vol. 10, n. 3, doi:10.1422/3493.
- Tesfatsion L. (2003), "Agent-Based Computational Economics: Modeling Economies as Complex Adaptive Systems", *Information Sciences*, vol. 149, n. 4, pp. 262-268, doi:10.1016/S0020-0255(02)00280-3.
- Verrault-Julien P. (2019a), "Understanding Does Not Depend on (Causal) Explanation", *European Journal for Philosophy of Science*, vol. 9: n. 18, doi:10.1007/s13194-018-0240-6.
- (2019b), "How Could Models Possibly Provide How-Possibly Explanations?", *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 73, pp. 22-33, doi:10.1016/j.shpsa.2018.06.008.
- Vriend N.J. (2002), "Was Hayek an ACE?", *Southern Economic Journal*, vol. 68, n. 4, pp. 811-840, doi:10.2307/1061494.
- Ylikoski P., Aydinonat N.E. (2014), "Understanding with Theoretical Models", *Journal of Economic Methodology*, vol. 21, n. 1, pp. 19-36, doi:10.1080/1350178X.2014.886470.