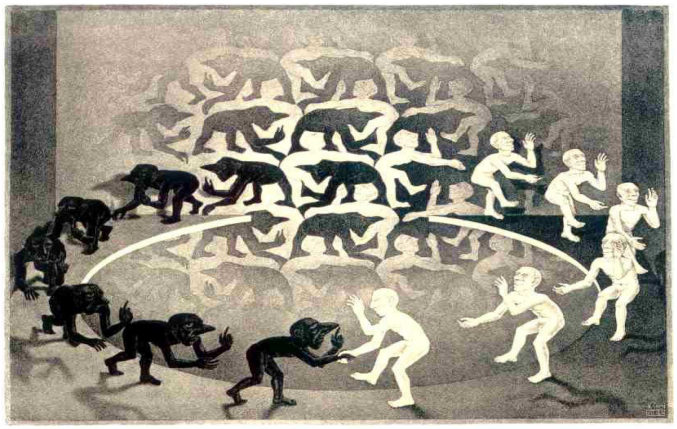
Riflessioni Sistemiche



Rivista Italiana di Studi Sistemici

ISSN 2281-3373

N° 1 Anno 2009

Il tema dell'incertezza nel pensiero sistemico

Pubblicazione scientifico-culturale a periodicità semestrale

Pubblicata da AIEMS – Associazione Italiana di Epistemologia e Metodologia Sistemiche
Sede: via Romeo Rodriguez Pereira 116, 00136 – Roma. Website: www.aiems.eu

L'incertezza nei sistemi economici
La simulazione ad agenti come metodo di analisi dell'economia complessa

di Alberto F. De Toni

Preside della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Udine,
professore di Strategia di Produzione e Gestione dei Sistemi Complessi

Sommario
L'articolo suggerisce un esame della simulazione ad agenti quale strumento disponibile all'economia per studiare sia le dinamiche non lineari sia l'incertezza dei sistemi economici reali. Propone una rilettura dell'evoluzione degli strumenti della scienza, mettendo a confronto modelli matematici con la simulazione (quella tradizionale e quella ad agenti). Questa rilettura è necessaria per conoscere le ragioni che favoriscono la simulazione ad agenti con riguardo ai modelli matematici finalizzati allo studio dei sistemi economici.

Parole Chiave
Economia complessa, Simulazione ad agenti, Razionalità limitata, Incertezza.

Summary
The paper suggests an examination of agent-based simulation as an available means for economy for studying both the non-linear dynamics and the uncertainty of real economic systems. It puts forward a rereading of evolution of science's means, comparing mathematical models with simulation (traditional one and agent-based one). This rereading is necessary to know the reasons which favour agent-based simulation as regard with mathematical models for studying economic systems.

Keywords
complex Economy, agent-based Simulation, limited Rationality, Uncertainty.

La sfida all'economica classica

L'economia classica risulta il paradigma più diffuso, più insegnato e quasi universalmente riconosciuto dagli economisti come il modello di riferimento per gli studi economici. Ultimamente però diversi sono stati i tentativi di sfida mossi al paradigma tradizionale. Tali tentativi hanno evidenziato i limiti del paradigma classico e hanno cercato di identificare nuove strade per analizzare le dinamiche economiche.

La sfida all'economia classica nasce principalmente dal fatto che essa ha privilegiato da sempre uno studio dei fenomeni economici mediante modelli molto semplificati dei sistemi reali a scapito della fedeltà alla realtà. L'economia globale in cui siamo immersi, invece, caratterizzata da sistemi fortemente interconnessi, da dinamiche non lineari e da equilibri multipli, non può essere studiata e compresa solo tramite i modelli classici, ma necessita di una grande apertura nei confronti della complessità crescente. Il nuovo paradigma che potrebbe affiancarsi a quello classico colmando le lacune di quest'ultimo potrebbe essere denominato "economia complessa".

In letteratura il nuovo paradigma viene indicato secondo terminologie diverse tra cui "economic complexity" (Arthur et al., 1997), "complexity in economics" (Durlauf, 2005), "economics of complexity" (Antonelli, 2008), ecc. Rispetto a questi termini – complessità economica, complessità in economia, economia della complessità – il termine "economia complessa", proposto anche da Salzano e Colander in una recente pubblicazione "Complexity Hints for Economic Policy" (2007), sembra essere quello che meglio racchiude l'essenza del nuovo paradigma: studio dei sistemi economici reali – caratterizzati da incertezza, equilibri multipli e dinamiche non lineari – mediante gli strumenti propri della teoria della complessità, che meglio di altri sembrano in grado di analizzare le caratteristiche di tali sistemi.

Al fine di consolidare quanto affermato, in ***Tabella* 1** si presenta un confronto sintetico delle caratteristiche dei due paradigmi.

***Tabella* 1** – *Differenze tra economia classica e complessa (Adattato da: De Toni, Comello, 2005)*

		TEORIA ECONOMICA	
		Classica	**Complessa**
CARATTERISTICHE	1. Base scientifica	fisica newtoniana	biologia
	2. Percezione	scienza semplice: forma soft della fisica	scienza complessa: radicata nella biologia
	3. Difficoltà dello studio	bassa	alta
	4. Oggetti di studio	misurabili: quantità e prezzi	non misurabili: configurazioni e possibilità
	5. Razionalità degli attori	perfetta, dominio della certezza	limitata, dominio dell'incertezza
	6. Metodo di analisi	deduttivo	induttivo
	7. Strumenti	equazioni matematiche	simulazione ad agenti
	8. Confini disciplinari	netti	sfumati

Base scientifica dei paradigmi economici (1), percezione (2) e difficoltà dello studio (3)

La base scientifica (1) da cui trae spunto la teoria economica classica è la fisica newtoniana, con i suoi sistemi in equilibrio, caratterizzati da dinamiche lineari, facili da modellare, i quali implicano una visione equilibrata e uniforme dello sviluppo dei mercati e dei sistemi economici. Per questo motivo l'economia classica viene vista come una forma soft della fisica (2) e la difficoltà dello studio (3) viene considerata bassa.

La base scientifica (1) dell'economia complessa invece è la biologia, con le sue dinamiche di mutamento ed evoluzione delle specie. Essa evidenzia la non stabilità e la molteplicità degli equilibri, spesso non ottimali, dei sistemi economici, la loro evoluzione dinamica e non lineare, tanto da risultare qualcosa di organico, adattativo, vitale, sorprendente, al confine del caos. Questa economia appare quindi come una scienza complessa (2), sulla falsariga dei fenomeni biologici, con una propria identità e con una difficoltà di studio elevata (3).

Oggetti di studio (4)

Gli oggetti di studio dell'economia classica sono grandezze misurabili come quantità e prezzi, mentre gli oggetti di studio dell'economia complessa sono grandezze

difficilmente misurabili e non legate tra loro da relazioni matematiche precise che ne possano prevedere il valore. Gli elementi dell'economia complessa sono caratterizzati da configurazioni e possibilità, da un rigore che presenta confini più labili, meno definiti, *fuzzy*, da comportamenti non lineari e da aspetti qualitativi, tutte caratteristiche che consentono una maggiore comprensione delle dinamiche economiche effettive. Tali dinamiche economiche sono considerate possibili, non prevedibili in modo rigoroso, verificantesi in condizioni molto spesso inimmaginabili.

Razionalità degli attori (5)

Nella teoria classica gli attori economici possiedono una razionalità perfetta, ovvero sono in grado di conoscere tutti gli aspetti del reale, di processare tutte le informazioni e di prendere decisioni ottime in ogni situazione. In altre parole per l'economia classica gli attori agiscono nel dominio della certezza, certezza che nasce proprio dalla possibilità di conoscere ogni aspetto del sistema in cui operano.

Nei sistemi economici reali, invece, gli attori decidono spinti dall'intenzionalità, che orienta i loro comportanti e che obbedisce ad una sorta di principio di razionalità che è, in realtà, una razionalità limitata. La "limitatezza" della razionalità è dovuta essenzialmente ai limiti umani espressi in termini di conoscenza posseduta e ottenibile, di capacità di calcolo e di elaborazione delle informazioni (Simon, 1958). La razionalità limitata proietta gli attori economici nel dominio dell'incertezza, dominio proprio dell'economia complessa.

L'incertezza che contribuisce a limitare la razionalità degli agenti economici può avere una doppia origine. Può nascere dai *gap* presenti nella nostra conoscenza che possono essere ridotti grazie alla ricerca e allo studio (Knight, 1921; Tannert et al., 2007). Dall'altro lato l'incertezza può essere causata dalla presenza del caso che caratterizza i sistemi tecnici, biologici e sociali reali e complessi. In questo caso l'incertezza non può essere risolta mediante la ricerca o il ragionamento. In tali casi è impossibile anche prendere decisioni razionali (Shrader-Frechette, 1996).

Metodo di analisi (6)

Nell'economia classica il metodo di analisi è di tipo deduttivo: ogni situazione studiata, viene tradotta in un esercizio matematico che i soggetti economici risolvono con ragionamenti rigorosi e analitici. Il metodo di analisi seguito nell'economia complessa è invece di tipo induttivo. In particolare autori come il fisico Holland, i teorici delle reti neurali o gli esperti dell'apprendimento, parlano di agenti che operano in maniera induttiva e che ragionano a partire da dati particolari per giungere a un modello generale utile.

Strumenti di studio (7)

Visti i presupposti diversi su cui si fondano le due teorie economiche, è evidente che gli strumenti utilizzati siano differenti. Il paradigma classico utilizza le equazioni e i modelli matematici. I modelli e le equazioni matematiche danno rigore ai ragionamenti, ma costringono ad una semplificazione eccessiva del reale che finisce col discostarsi dalla realtà.

Lo strumento principale utilizzato dalla teoria economica complessa invece è la simulazione ad agenti. Se i fenomeni sono dinamici, se non esiste un equilibrio predefinibile, com'è possibile fornire una spiegazione o prevedere mediante equazioni un qualsiasi evento in un ambiente economico complesso come quello reale? Per la comprensione di fenomeni altamente complessi lo strumento più efficace è rappresentato dalla simulazione ad agenti, anziché dalle equazioni matematiche.

La simulazione non consente di prevedere con certezza la realtà, ma permette di "ricrearla" per studiarla. Ricreare la realtà permette di comprendere e spiegare i

fenomeni reali e le dinamiche sottostanti, come sostiene Waldrop *«l'economia deve comportarsi come la meteorologia: la previsione non è l'essenza della scienza, mentre lo sono la comprensione e la spiegazione»* (1996). In altre parole le previsioni meteorologiche a volte sono sbagliate, anche se le metodologie utilizzate sono corrette. È la complessità del reale che impedisce una sua previsione completamente attendibile.

Confini disciplinari (8)

L'aderenza alla realtà – che la teoria economica complessa tenta di fornire allo studio dei sistemi economici – deriva anche dal fatto che essa prova a superare l'articolazione in discipline, consentendo una comprensione più profonda dei fenomeni. Nell'economia classica i fenomeni sono studiati a compartimenti stagni, separati gli uni dagli altri e quindi non risulta facile conoscere le relazioni mutue che si sviluppano tra questi. Per contro la teoria economica complessa studia processi e dinamiche dei sistemi considerando le interazioni reciproche e le influenze che intercorrono tra i fenomeni. L'economia complessa quindi consente di studiare i fenomeni per quello che sono, con le loro interconnessioni, con le loro relazioni permettendo di cogliere a pieno gli aspetti del reale.

È evidente che l'economia classica – quando applicata a fenomeni caratterizzati da instabilità e incertezza – presenti forti limiti. L'economia classica funziona bene in condizioni di equilibrio, l'economia complessa tenta invece di affrontare anche condizioni di discontinuità. Per questo motivo si ritiene che sia iniziata una presa di coscienza tale da permettere alla nuova economia complessa di emergere e di affermarsi come teoria in grado di rispondere alle esigenze più avanzate, senza però avere la presunzione di sostituirsi al paradigma tradizionale.

Il processo di affermazione dell'economia complessa passa anche attraverso l'utilizzo della simulazione ad agenti che si propone come uno strumento in grado di modellare le dinamiche non lineari dei sistemi economici reali, l'incertezza in cui si muovono gli attori economici e la presenza di equilibri multipli. Uno strumento di questo tipo però presuppone un cambio di mentalità, di approccio e soprattutto un cambio del "modo di fare ricerca" consolidato da anni nelle scienze economiche.

Dai modelli matematici alla simulazione ad agenti

La nascita della simulazione ad agenti come strumento di studio dell'economia complessa, è solo l'ultima espressione dell'evoluzione degli strumenti utilizzati per studiare le scienze, evoluzione iniziata con i modelli matematici. I modelli matematici sono strumenti consolidati da secoli, garanzia di oggettività e ripetibilità dei risultati. Ma, da un lato la necessità di studiare i processi reali, irreversibili rispetto al tempo, e dall'altro la disponibilità di una potenza di calcolo via via crescente hanno portato allo sviluppo e all'utilizzo di un nuovo strumento: la simulazione. Anche la simulazione negli anni ha subito delle trasformazioni passando dalla simulazione tradizionale, caratterizzata da un approccio deduttivo o top-down, alla simulazione ad agenti, caratterizzata invece da un approccio induttivo o bottom-up.

Il passaggio dai modelli matematici alla simulazione ad agenti è descritto graficamente in Figura 1. La matrice classifica gli strumenti per l'analisi della realtà sulla base di cinque dimensioni: il tempo (reversibile e irreversibile), l'approccio di studio (deduttivo – top-down e induttivo – bottom-up), il sapere (teorico ed empirico), la filosofia di riferimento (dell'essere e del divenire) e le variabili (omogenee ed eterogenee).

La prima discontinuità – dalla reversibilità all'irreversibilità temporale – ci conduce dall'utilizzo dei modelli matematici alla simulazione. Essa ci consente di riconoscere l'irreversibilità come una caratteristica fondamentale dei sistemi reali. L'introduzione del concetto di irreversibilità temporale costituisce senza alcun dubbio uno dei passaggi epistemologici più importanti tra quelli effettuati nelle scienze. La seconda discontinuità, da approccio deduttivo (top-down) ad approccio induttivo (bottom-up), ci porta dall'utilizzo della simulazione tradizionale a quello della simulazione ad agenti. Attraverso un processo di acquisizione del sapere di tipo induttivo il ricercatore può giungere a conclusioni che non necessariamente seguono le premesse e che spesso sono ampliative di una teoria.

L'irreversibilità del tempo come primo salto epistemologico

Reversibilità temporale simmetrica e asimmetrica

Se prendiamo in considerazione la storia millenaria della matematica, possiamo riscontrare che l'introduzione del tempo nei modelli matematici è un fatto molto recente. Il matematico Smale (1980) ha utilizzato il termine matematica 'statica' in contrapposizione a matematica 'dinamica', o 'matematica del tempo', per distinguere due momenti importanti dello sviluppo della disciplina. A fare da spartiacque lo sviluppo del calcolo infinitesimale nel XVI secolo e della meccanica nel XVII secolo.

La matematica 'statica' coincide essenzialmente con la geometria euclidea e riflette una visione statica dei rapporti fra le configurazioni spaziali. Il termine matematica 'dinamica' invece si riferisce ad una matematica come strumento finalizzato a descrivere l'evoluzione dei fenomeni nel tempo e che contiene il riflesso del loro cambiamento. Concretamente questo si traduce in una dipendenza di tutte le variabili da una: il tempo.

Nei modelli matematici la variabile tempo, t, permette di definire il presente come l'istante $t=0$, il passato come il semiasse dei valori negativi $t<0$, il futuro come il semiasse dei valori positivi $t>0$. Questa descrizione del tempo è molto lontana dalla sua intuizione reale. Nella realtà, infatti, il passato e il futuro si presentano con un'evidente irreversibilità temporale. Tale irreversibilità impedisce anche solo di immaginare una possibile inversione del tempo (Israel, 1997). Questa condizione però cambia, almeno in linea di principio, nei modelli matematici in cui è possibile immaginare di ritornare al passato. Questa condizione permette di affermare che i modelli matematici godono di reversibilità temporale.

In realtà la reversibilità temporale dei modelli matematici si può presentare o simmetrica o asimmetrica generando modelli matematici reversibili e simmetrici rispetto al tempo e modelli matematici reversibili e asimmetrici rispetto al tempo. In questa sede non andremo nel dettaglio di questa distinzione e ci limiteremo solo a farne un breve accenno. Nella prima classe rientrano quei modelli nei quali non solo la struttura dei modelli, ma anche i risultati che producono sono invarianti rispetto all'inversione temporale, da t a –t. Si parla invece di modelli matematici reversibili e asimmetrici quando l'inversione del tempo non solo non produce sempre lo stesso risultato, ma modifica anche il modello di partenza. Un esempio di tali modelli è rappresentato dallo studio della dinamica della crescita delle popolazioni, uno degli esempi più importanti dell'applicazione della matematica alla biologia (Murray, 2001).

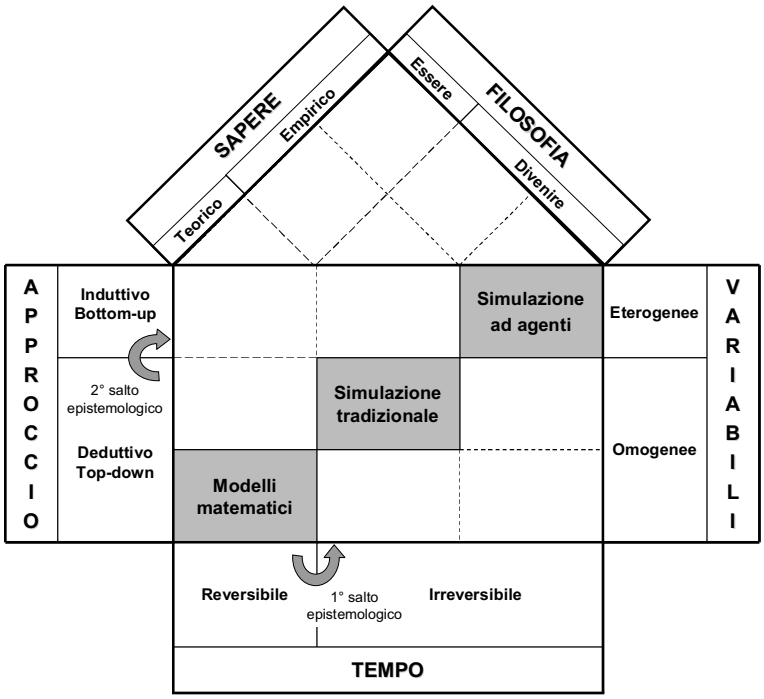


***Figura* 1** – L'evoluzione degli strumenti per lo studio del reale (Fonte: De Toni, Bernardi, 2009)

Irreversibilità temporale e la "freccia del tempo"

La realtà però è caratterizzata dall'irreversibilità temporale: impossibilità assoluta anche solo di concepire l'inversione del tempo. Infatti, la maggior parte dei fenomeni biologici, sociali ed economici non si presta neanche all'ipotesi di un'inversione temporale. In questo contesto sono interessanti le affermazioni di Ruelle, *«L'evoluzione d'insieme persegue uno sviluppo storico a senso unico, per il quale non possediamo attualmente un'idealizzazione matematica utile»* (1992), e di Prigogine, *«Tutti invecchiamo assieme, nessuno ha ancora osservato una stella che segua la sequenza principale a rovescio»* (1986).

Sulla base di queste considerazioni, è evidente che i modelli matematici in quanto temporalmente reversibili abbiano dei limiti nel momento in cui sono chiamati ad analizzare i sistemi reali. Questi ultimi, infatti, sono caratterizzati da irreversibilità temporale che si manifesta mediante la loro evoluzione. Secondo Prigogine, infatti, a seguito dell'irreversibilità, un sistema, trascorso un certo arco di tempo, si trova in uno stato diverso da quello originale ed è impossibilitato a ritornare alle condizioni di partenza. Questa caratteristica naturale dei sistemi reali può essere modellata con successo mediante la simulazione. Nella simulazione, infatti, il tempo, che scorre sempre verso il futuro, rappresenta lo schema di base entro cui si studia l'evoluzione dinamica dei sistemi. L'introduzione dell'irreversibilità del tempo rappresenta un vero e proprio salto epistemologico, una discontinuità rispetto all'utilizzo dei modelli matematici (vedi ***Figura* 1**).

Il concetto di irreversibilità dei fenomeni è legato anche al secondo principio della termodinamica. Esso esprime la nostra appartenenza ad un universo in continua evoluzione e introduce il concetto di entropia. L'entropia è vista anche come quella quantità fisica che distingue il passato dal futuro, perché ad ogni stato successivo il sistema si discosta dall'equilibrio iniziale raggiungendo, in modo irreversibile, gradi di disordine sempre più marcati. L'entropia inoltre conferisce al tempo una direzione

privilegiata, irreversibile – perché non percorribile nuovamente a ritroso – secondo quella che Arthur Eddington chiama la "freccia del tempo". Il termine "freccia del tempo" si riferisce al concetto secondo cui il tempo evolve in un'unica direzione: non è possibile ripercorrere i passi che sono già stati fatti e tanto meno è possibile assistere ad una involuzione di un fenomeno, di una specie, di un essere vivente. La "freccia del tempo" è la formalizzazione di quella che chiamiamo irreversibilità temporale.

L'approccio bottom-up come secondo salto epistemologico

Il passaggio dalla simulazione tradizionale alla simulazione ad agenti sottende un secondo salto epistemologico significativo, salto legato all'approccio utilizzato (vedi Figura 1). Se con i modelli matematici e la simulazione tradizionale si può parlare di approccio deduttivo, con la simulazione ad agenti si può parlare di approccio induttivo. In questa sede ci limitiamo a considerare deduzione e induzione. In realtà accanto a questi esiste l'approccio abduttivo proposto da Charles Sanders Peirce (1839-1914), padre del pragmatismo americano, insieme a William James (1842-1910). L'abduzione procede supponendo uno stato di cose, antecedente e non osservabile, che spiega uno stato di cose, presente e osservabile.

L'approccio deduttivo è quello che Aristotele chiama sillogismo e che definisce *«[...] un ragionamento nel quale poste alcune cose, alcune altre ne seguono di necessità, per ciò stesso che quelle sono»* (Analitici Primi, I, 1, 24 b 17 sgg.). L'approccio deduttivo definisce in quale modo *«qualcosa deve essere»* (Pierce, 1935). È impossibile che la conclusione di un ragionamento deduttivo sia falsa, se le sue premesse sono vere (Boniolo, Vidali, 2003). Solitamente l'approccio deduttivo è tale per cui da premesse generali si ottengono conclusioni particolari. Questo in altri termini può essere visto come un approccio top-down. Il sistema modellato mediante questi criteri manifesterà al termine del processo un comportamento deducibile dalle ipotesi iniziali e contenuto all'interno di un range di possibili stati finali.

Per contro l'approccio induttivo consente di giungere ad un'affermazione non necessaria, ampliativa e probabile (Boniolo, Vidali, 2003). Infatti, le conclusioni cui è possibile giungere mediante l'approccio induttivo ampliano la conoscenza contenuta nelle premesse, ma tali conclusioni possono anche non seguire necessariamente le premesse e possono stravolgere le premesse iniziali. Solo in questo modo è possibile accresce la conoscenza. In termini profani tale approccio può essere chiamato bottom-up. Questo approccio porta con sé tutti i concetti legati al tema dell'emersione e delle proprietà emergenti che sono propri della simulazione ad agenti.

La simulazione ad agenti quindi rispetto alla simulazione tradizionale introduce una forte discontinuità. Nella simulazione ad agenti si modellano solo le unità elementari che si trovano al livello più basso del sistema (gli agenti) e le micro regole che ne caratterizzano il comportamento. Il sistema finale emergerà solo in seguito alla simulazione. Il comportamento, la struttura finale del sistema e le sue proprietà emergenti – proprietà che il sistema nella sua interezza manifesta, ma che nessuna delle unità elementari possiede – costituiscono le informazioni nuove a cui è possibile accedere grazie ai risultati della simulazione che non sono per forza conseguenti alle premesse. Questo è in linea con l'approccio induttivo bottom-up.

Dal sapere teorico al sapere empirico

La simulazione ha enfatizzato una svolta radicale: dal sapere puramente teorico al sapere empirico. Questo passaggio era già avvenuto con lo sviluppo delle scienze moderne. Nasce, infatti, con Galileo, primo a introdurre formalmente il metodo scientifico, secondo cui la natura è scritta secondo leggi matematiche e per poterle capire è necessario eseguire esperimenti con gli oggetti che essa mette a disposizione. La simulazione però consente di fare un passo avanti ulteriore rispetto alla pura sperimentazione con gli oggetti della natura.

Infatti, non sempre è possibile riprodurre sperimentalmente delle osservazioni naturali; si pensi ai fenomeni astronomici, meteorologici, sociali, economici. Sarebbe impensabile riprodurre fisicamente in laboratorio l'esplosione di una supernova, la formazione di un uragano nel Golfo del Messico o lo studio di conflitti etnici. In questi casi si ricorre alla simulazione che risulta uno strumento di supporto eccezionale. Ecco perché anche con la simulazione si parla di sapere empirico. Empirico perché è possibile testare dei comportamenti di fenomeni mediante la sperimentazione, sperimentazione che avviene, è vero, all'interno del computer, ma che risulta comunque da valutazioni sul campo, anche se campo simulato.

Dalla filosofia dell'essere alla filosofia del divenire

La differenziazione tra modelli matematici, caratterizzati dalla reversibilità temporale, e simulazione, caratterizzata dall'irreversibilità temporale, sembra affondare le sue radici in un vecchio contenzioso filosofico che risale alle origini stesse della filosofia occidentale.

Quella che viene definita scienza moderna si basa, o almeno si basava fino alla fine dell'Ottocento, su una metafisica fondata sulla logica parmenidea dell'essere: la molteplicità e i mutamenti del mondo fisico sono illusori. È reale solo l'Essere: immutabile, ingenerato e indistruttibile. Secondo Parmenide, filosofo dell'unità e dell'identità dell'Essere, il cambiamento è un'illusione, un abbaglio, ogni cosa è fondamentalmente immutabile.

Eraclito, contemporaneo di Parmenide, si contrappone al suo pensiero e può essere considerato il filosofo del cambiamento e del divenire. Il suo pensiero è alla base della teoria del divenire: *«Nessun uomo può bagnarsi nello stesso fiume per due volte, perché né l'uomo né le acque del fiume sono gli stessi»* (Eraclito). Tutto il mondo viene considerato come un enorme flusso perenne nel quale nessuna cosa è mai la stessa, poiché tutto si trasforma ed è in una continua evoluzione. Per questi motivi, Eraclito identifica la forma dell'Essere nel Divenire, poiché ogni cosa è soggetta al tempo e alla sua relativa trasformazione. Sostiene inoltre che solo il cambiamento e il movimento sono reali e che l'identità delle cose uguali a se stesse sia illusoria: per Eraclito tutto scorre (*panta rei*).

La logica dell'essere di Parmenide ebbe la meglio su quella del divenire di Eraclito tanto che essa cessò di esistere per oltre due millenni. Il ritorno ad Eraclito, che scompaginò le basi della scienza classica, è stato riproposto da Hegel con la sua dialettica che interpreta la dinamicità del reale mediante tesi (essere), antitesi (nulla) e sintesi (divenire). Per Hegel l'essere è l'inizio, non presuppone altri concetti a monte, è il concetto più indeterminato. Il nulla, pur essendo l'antitesi dell'essere, essendo al massimo grado di indeterminatezza, si identifica con esso, dando vita alla sintesi, il divenire. La verità dell'essere, come quella del nulla, è la loro unità, e questa unità è il divenire.

Se possiamo ascrivere gli strumenti della matematica classica alla filosofia dell'essere, possiamo altresì collocare la simulazione nel solco della filosofia del divenire. Questo spiega perché la simulazione supera i problemi che i procedimenti scientifici classici presentano nel descrivere la dinamicità della realtà che ci circonda.

Omogeneità ed eterogeneità delle variabili

Un'ulteriore differenziazione tra i modelli matematici e la simulazione ad agenti è data dalle variabili impiegate. I modelli matematici, infatti, trattano classi di variabili e all'interno di tali classi le variabili sono omogenee. Ad esempio nel modello di diffusione dell'innovazione la popolazione viene suddivisa in tre categorie omogenee di attori: le persone inconsapevoli dello sviluppo della nuova tecnologia, le persone coscienti dello sviluppo della nuova tecnologia e le persone che adotteranno la nuova tecnologia (Urban et al., 1990).

Nella simulazione ad agenti invece è possibile catturare e modellare l'eterogeneità degli attori e dei loro attributi. In un recente lavoro Rahmandad e Sterman (2008) spiegano come la simulazione ad agenti sia superiore ai modelli matematici basati su equazioni differenziali, in quanto consente di ridurre i livelli di aggregazione delle variabili anche se a scapito di maggiori oneri computazionali.

La simulazione ad agenti come metodo di analisi economica in condizioni di incertezza

La simulazione ad agenti consente di studiare l'evoluzione dei sistemi socio-economici – caratterizzati da instabilità e turbamenti improvvisi e non prevedibili – a partire da condizioni di incertezza sia endogena che esogena ai sistemi. La prima si esprime mediante la razionalità limitata degli attori economici e si manifesta nei limiti conoscitivi di questi ultimi. La seconda è incorporata nel principio stesso della simulazione ad agenti, in quanto il modello non è definito ex-ante (solo le micro regole degli agenti sono predefinite) ma è il risultato ex-post dell'evoluzione simulata, durante la quale gli agenti – apprendendo – possono cambiare le regole preesistenti.

Bibliografia

Antonelli C., 2008. Localised technological change: Towards the economics of complexity, Routledge, London.

Arthur W. B., Durlauf S. N., Lane D. A. (Eds.), 1997. The Economy as an Evolving Complex System II, Addison-Wesley Publishing Company, Redwood, USA.

Boniolo G., Vidali P., 2003. Introduzione alla filosofia della scienza, Bruno Mondadori, Molano.

De Toni A.F., Bernardi E., 2009. Il pianeta degli agenti. Teoria e simulazione ad agenti per cogliere l'economia complessa, UTET Università, Torino.

De Toni A.F., Comello L., 2005. Prede o ragni. Uomini e organizzazioni nella ragnatela della complessità, UTET Università, Torino.

Durlauf S., 2005. Complexity and empirical economics. The economic Journal, 115 225-243.

Israel G., 1997. La visione matematica della realtà, 2a edizione, Laterza, Bari-Roma.

Knight F.H., 1921. Risk, Uncertainty, and Profit, Schaffner & Marx; Houghton Mifflin Co., Boston, MA.

Murray J.D., 2001. Mathematical Biology. An Introduction, 3a edizione, Springer-Verlag, Berlino.

Peirce C., 1935. Collected Papers I-VIII, Harvard University Press, Cambridge, USA.

Prigogine I., 1986. Dall'essere al divenire, Einaudi Editore, Torino.

Rahmandad H., Sterman J., 2008. Heterogeneity and Network Structure in the Dynamics of Diffusion: Comparing Agent-Based and Differential Equation Models. Management Science, 54(5) 998–1014.

Ruelle D., 1992. Caso e caos, Bollati Boringhieri, Torino.

Salzano M., Collander D. (Eds.), 2007. Complexity Hints for Economic Policy, Springer, Milano.

Shrader-Frechette K.S., 1996. Science versus educated guessing: risk assessment, nuclear waste, and public policy. Bioscience, 46 488–490.

Simon H., 1958. Il comportamento amministrativo, Il Mulino, Bologna.

Smale S., 1980. The Mathematics of Time, Springer, New York.

Tannert C., Elvers H.D., Jandrig B., 2007. The ethics of uncertainty. In the light of possible dangers, research becomes a moral duty. EMBO reports, 8(10) 892-896.

Urban G., Hauser J., Roberts J., 1990. Prelaunch forecasting of new automobiles. Management Science, 36(4) 401-421.

Waldrop M.M., 1996. Complessità. Uomini e idée al confine tra ordine e caos, Instar Libri, Torino.