

PIETRO TERNA

COMPLESSITÀ, MODELLI E COMPORTAMENTI OTTIMIZZANTI O *SATISFICING*

1. PREMESSA SU COMPLESSITÀ E MODELLI

Un sistema complesso, al di là delle pur affascinanti distinzioni etimologiche tra complicato (piegato insieme) e complesso (tessuto, intrecciato insieme), può essere ben definita seguendo Anderson (1972), premio Nobel per la fisica nel 1977, con Mott e Vleck, per il contributo alla teoria dei sistemi magnetici oppure non ordinati:

(p. 393) The reductionist hypothesis may still be a topic for controversy among philosophers, but among the great majority of active scientists I think it is accepted without questions. The workings of our minds and bodies, and of all the animate or inanimate matter of which we have any detailed knowledge, are assumed to be controlled by the same set of fundamental laws, which except under certain extreme conditions we feel we know pretty well.

(...) The main fallacy in this kind of thinking is that the reductionist hypothesis does not by any means imply a "constructionist" one: The ability to reduce everything to simple fundamental laws does not imply the ability to start from those laws and reconstruct the universe.

The constructionist hypothesis breaks down when confronted with the twin difficulties of scale and complexity. The behavior of large and complex aggregates of elementary particles, it turns out, is not to be understood in terms of a simple extrapolation of the properties of a few particles. Instead, at each level of complexity entirely new properties appear, and the understanding of the new behaviors requires research which I think is as fundamental in its nature as any other.

I punti chiave sono quelli della contrapposizione tra la fondamentale accettazione del riduzionismo nella ricerca delle regole che governano la natura vs. l'interpretazione costruttivistica per cui, una volta ben comprese le parti di un sistema, è sufficiente una aggregazione per conoscere le proprietà del tutto. Ad ogni livello di complessità appaiono invece nuove proprietà e la ricerca su di esse è altrettanto fondamentale quanto quella sui livelli precedenti. Chi scrive o chi legge queste righe, è composto – in modo assai complesso – da cellule, a loro volta formate da strutture (ad es. proteine) organizzate in modo altrettanto complesso e fondate su molecole. Quelle molecole sono formate da atomi, costituiti da elettroni, protoni e neutroni; gli ultimi due, costituiti da quark e ... chissà che cosa ci riserva il futuro. Ad ognuno dei passaggi dell'elenco tutto cambia e le proprietà emergenti sono via via completamente diverse, come i loro effetti.

La situazione non è più semplice con i sistemi sociali, dove l'eterogeneità dei componenti diventa esplosiva.

Un passaggio di Keynes (1924) a proposito di Planck, è illuminante:

Professor Planck, of Berlin, the famous originator of the Quantum Theory, once remarked to me that in early life he had thought of studying economics, but had found it too difficult! Professor Planck could easily master the whole corpus of mathematical economics in a few days. He did not mean that! But the amalgam of logic and intuition and the wide knowledge of facts, most of which are not precise, which is required for economic interpretation in its highest form is, quite truly, overwhelmingly difficult for those whose gift mainly consists in the power to imagine and pursue to their furthest points the implications and prior conditions of comparatively simple facts which are known with a high degree of precision.

Ecco l'economia, che deve confrontarsi con un amalgama di logica, intuizione e analisi dei fatti, molti dei quali non possono essere conosciuti in modo preciso! E che inoltre deve tenere conto di molti livelli di complessità, dai singoli agenti dell'economia (gli individui), alle imprese e organizzazioni, ai mercati, alla realtà mondiale globalizzata.

Per far questo, ci serviamo di modelli, intesi come rappresentazioni semplificate della realtà (le bambole e i trenini sono nient'altro che modelli).

Herbert Simon, pensatore radicalmente innovativo (interessato anche all'economia, ma non esclusivamente economista; soprattutto: pioniere dell'intelligenza artificiale quale psicologo), si confronta con la complessità, introducendo tra i primi l'idea di simulazione. In Clarkson e Simon (1960), nelle conclusioni, leggiamo (interessantissimo il *new-found*, scrivendo nel 1960):

(p. 930) Another advantage of simulation derives from our new-found ability to construct directly computer programs describing human problem-solving and decision-making processes without first going through the intermediate step of constructing mathematical models. We can look forward to theories that will handle the qualitative aspects of human decision making as readily as quantitative, and we can already find examples of such theories. These theories incorporate adaptive and learning behavior and include one or more aspects of heuristic reasoning. Since expectations play a central role in economic theory, and since all the evidence suggests that expectations are formed by a process of pattern recognition, this process, incorporated in heuristic programs, will be object of much research.

Simon era ben più radicale e ottimista di quanto siano oggi la maggior parte dei ricercatori che fanno uso della simulazione: l'idea di automatizzare il ragionamento e il comportamento per comprenderli non è così lontana dal lavoro di chi controlla la validità dei comportamenti che ha descritto negli agenti di un modello esaminando i risultati che emergono in termini complessivi.

È anche la grande lezione della cibernetica, ramo di esplorazione del comportamento la cui definizione originaria sta nel titolo del volume di Wiener (1948): *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Con Rosenblueth and Wiener (1945):

(p. 317) A distinction has already been made between material and formal or intellectual models. A material model is the representation of a complex system by a system which is assumed simpler and which is also assumed to have some properties similar to those selected for study in the original complex system. A formal model is a symbolic assertion in logical terms of an idealized relatively simple situation sharing the structural properties of the original factual system.

Material models are useful in the following cases. a) They may assist the scientist in replacing a phenomenon in an unfamiliar field by one in a field in which he is more at home.

(...) b) A material model may enable the carrying out of experiments under more favorable conditions than would be available in the original system.

(p. 319) It is obvious, therefore, that the difference between open-box and closed-box problems, although significant, is one of degree rather than of kind. All scientific problems begin as closed-box problems, i.e., only a few of the significant variables are recognized. Scientific progress consists in a progressive opening of those boxes. The successive addition of terminals or variables, leads to gradually more elaborate theoretical models: hence to a hierarchy in these models, from relatively simple, highly abstract ones, to more complex, more concrete theoretical structures.

2. ARTEFATTI DI SISTEMI SOCIALI

All'inizio del XXI secolo, per la prima volta nella storia della scienza possiamo effettivamente costruire artefatti di sistemi socioeconomici, utilizzando il computer e la simulazione. In passato non sono mancati dei tentativi, anche importanti, in questa direzione, primo fra tutti quello della *Phillips machine* o MONIAC¹ (Monetary National Income Analogue Computer), un computer idraulico costruito per simulare un sistema economico, opera dell'economista William Phillips (l'autore delle curve su inflazione e disoccupazione). Il MONIAC era un oggetto complicatissimo nel suo funzionamento. Con i computer (numerici) è molto più facile costruire mondi reali o controfattuali, popolarli di agenti, definirne il comportamento e osservare le conseguenze.

Si tratta di artefatti che corrispondono al modello materiale dei primi cibernetici, riferito a realtà economiche e sociali. La contrapposizione tra modello materiale e formale della citazione da Rosenblueth e Wiener equivale al passaggio citato in cui Clarkson e Simon (1960) si riferiscono alla «new-found ability to construct directly computer programs describing human problem-solving and decision-making processes without first going through the intermediate step of constructing mathematical models».

¹ https://en.wikipedia.org/wiki/MONIAC_Computer.

Il modello materiale consente esperimenti che nella realtà non sarebbero agevoli da condurre o del tutto impossibili; inoltre consente di gestire un processo via via più dettagliato di apertura della *scatole nere* (closed-boxes) che caratterizzano ogni modello che si presenti come ricostruzione semplificata della realtà e siano assunti come dati alcuni meccanismi, senza spiegarne il funzionamento. Se scriviamo che – per uno specifico reparto aziendale, per una azienda, per un dato settore produttivo, per una nazione – la produzione P è determinata da

$$P = A L^{\alpha} K^{\beta}$$

può anche accadere che stimando A, α e β , i valori di P siano giustificati dalla quantità di L, di lavoro, e da quella di K, di capitale produttivo. Se però consideriamo in modo realistico anche solo un singolo reparto produttivo di un'azienda, grande o piccola che sia, la complessità diventa evidente e il modello deve via via considerare altri elementi per poter determinare in modo preciso il valore di P.

3. TRE TIPI DI MODELLI

Quello che per Simon sembra essere un interesse rivolto a riprodurre, per capirle, le modalità secondo cui le persone risolvono i problemi e assumono le loro decisioni, si amplia a dismisura se inseriamo quelle persone, pur stilizzate, in artefatti di sistemi, con la simulazione.

Prendendo spunto da Ostrom (1988), e da Gilbert e Terna (2000), possiamo schematicamente individuare tre modalità di costruzione dei modelli, al di là di quella fisica della riproduzione in scala di un sistema da studiare, modalità che – tranne esempi circoscritti al passato – non ha spazio nelle scienze sociali e che, con l'universalità del calcolo possibile con il computer, ne ha sempre meno anche nelle scienze *dure*:

- la prima modalità, letteraria-descrittiva, dei modelli verbali, è tipicamente rappresentata da un trattato che riporti – certo non in scala uno a uno – gli accadimenti di un determinato periodo, i legami di causa ad effetto individuati dall'autore, gli approfondimenti scelti e così via; si tratta di un modello, infinitamente flessibile, ma non computabile.;
- la seconda modalità, dei modelli fondati sulle equazioni, unisce rigore e possibilità di calcolo, ma con la necessità di stilizzare le situazioni rappresentate; ad esempio – in economia – con l'adozione del cosiddetto *agente rappresentativo*, che incorpora in sé le caratteristiche standard degli agenti che popolano un determinato ambiente economico ed è strutturato con le necessarie dosi di *complicazione* e razionalità correlate al mondo che si intende riprodurre; quanto più è complicato quest'ultimo, tanto più dovranno essere articolate le regole dell'agente rappresentativo, con l'ipotesi di perfetta razionalità olimpica o, molto raramente, di razionalità limitata, a sorreggere la sua adesione a quelle regole; inoltre le descrizioni del mondo faranno ampio uso delle *scatole nere* prima citate;

- la terza modalità è quella dei modelli di simulazione, costruendo gli artefatti sociali ed economici di cui abbiamo bisogno per meglio comprendere sia i comportamenti degli agenti, sia le conseguenze emergenti da quei comportamenti; grazie all'uso del computer, con quest'ultima modalità si accomunano l'infinita flessibilità della programmazione informatica con la sua implicita capacità di calcolo.

In termini contemporanei, per i modelli socioeconomici facciamo soprattutto riferimento alla simulazione fondata sugli agenti (*agent-based models*, i cosiddetti ABM o anche ACE, per *agent-based computational economics*), di cui si segnala una presentazione, tanto compatta quanto esauriente, di Axtell e Epstein (1999):

(p. 6, v. in linea) Compactly, in agent-based computational models a population of data structures representing individual agents is instantiated and permitted to interact. One then looks for systematic regularities, often at the macro-level, to emerge, that is, arise from the local interactions of the agents. The short-hand for this is that macroscopic regularities “grow” from the bottom-up. No equations governing the overall social structure are stipulated in multi-agent computational modeling, thus avoiding any aggregation or misspecification bias. Typically, the only equations present are those used by individual agents for decision-making. Different agents may have different decision rules and different information; usually, no agents have global information, and the behavioral rules involve bounded computational capacities—the agents are “simple”. This relatively new methodology facilitates modeling agent heterogeneity, boundedly rational natural way to implement agent-based models is through so-called object-oriented programming.

4. AGENTI CON COMPORTAMENTI OTTIMIZZANTI O SATISFICING

È possibile rivolgere a questo terzo tipo di modelli una critica apparentemente distruttiva: il mondo è “ad agenti”, perché riprodurlo tale e quale in un modello, senza cercare di compiere un'operazione di astrazione e sintesi? Non è un errore che porta al paradosso dell'inutilità della perfetta *Mappa dell'impero*? (In uno dei suoi “frammenti”, Borges narra di un testo immaginario secondo il quale esisteva una mappa che, data la perfezione cui era giunta l'Arte della Cartografia, «aveva l'Immensità dell'Impero e coincideva perfettamente con esso»). La risposta è che i modelli ad agenti non aspirano alla perfezione nel dettaglio della descrizione della realtà (anche se esistono modelli con centinaia di migliaia o milioni di agenti), ma hanno la loro specificità, la loro forza, nel consentirci di definire, secondo uno schema ben noto a priori, il comportamento degli agenti, sia nel modo in cui decidono, sia in quello secondo cui interagiscono. Il tutto, con la possibilità della completa eterogeneità dei soggetti e quella di approfondire per passi successivi le parti in cui il modello è mal specificato, là dove sono stati impiegate semplificazioni o aggregazioni (le scatole nere di cui si è detto): un esempio di semplificazione in una simulazione di borsa è conteggiare gli *ask* e i *bid* (proposte di vendita o acquisto) e aumentare (di un importo arbitrario) il prezzo se i *bid* superano gli *ask* o diminuirlo (sempre di un importo arbitrario) nel caso contrario; un esempio di

spiegazione aggregata nello stesso caso della borsa è quello di ipotizzare di conoscere, con riferimento ad un determinato titolo, le funzioni di domanda e offerta di ogni agente, per aggregarle e quindi calcolare un prezzo di mercato unico per tutti i contratti in un dato intervallo di tempo. Senza gli artifici delle semplificazioni e dell'aggregazione, si ricostruisce invece il sistema delle interazioni tic per tic e contratto per contratto, con il funzionamento del cosiddetto *book* del mercato, allo scopo di tenere in coda gli ordini (temporaneamente) senza controparte.

Ai soggetti simulati possiamo attribuire una completa tavolozza di comportamenti, da quello casuale (ad esempio i cosiddetti modelli *zero intelligence* della borsa), a capacità di scelta strategica e di calcolo ottimizzante, oppure di scelta *satisficing*, il neologismo che troviamo in Simon (1947), costruito unendo *satisfy* e *suffic* sin dalla prima pubblicazione del suo fondamentale, e quattro volte riscritto, *Administrative behavior*.

Nella sua Nobel *lecture*, Simon (1997) indica che (p. 498):

(...) decision makers can satisfice either by finding optimum solutions for a simplified world, or by finding satisfactory solutions for a more realistic world. Neither approach, in general, dominates the other, and both have continued to co-exist in the world of management science.

Con lo schema della simulazione è dunque possibile analizzare la realtà per produrre teorie: sempre nella Nobel *lecture* (p. 508): «Perhaps the closest approach to a method for extracting theoretically relevant information from case studies is computer simulation».

Nei modelli di simulazione, in particolare ad agenti, una volta specificati i comportamenti possiamo osservare gli effetti emergenti nell'ambiente simulato: se sono coerenti con quel che osserviamo nella realtà, stiamo *individuando come plausibile* una corrispondenza tra quanto accade e la spiegazione che abbiamo proposto definendo il comportamento degli agenti. Non disponiamo di metodi che ci consentano di automatizzare il *reverse engineering* dai risultati ai comportamenti, per cui occorre adottare congetture e utilizzare conoscenze sul dominio che si vuole esplorare, sotto forma di *a priori* che guidano le ipotesi da introdurre. Il tema diventa ancora più complesso se si ipotizza che gli agenti siano collegati da relazioni definite con strutture di rete (Fontana e Terna, 2015).

Uno schema con cui operare per sperimentare forme diverse di comportamento degli agenti – detto ERA, Environment, Rules, Agents e proposto in Gilbert e Terna (2000) – è riportato in Figura 1.

All'interno di un ambiente gli agenti operano seguendo regole incorporate in *gestori di regole*, facilmente sostituibili come i “mattoncini” di una costruzione Lego, allo scopo di sperimentare forme diverse di comportamento. Il *gestore* può contenere regole fisse (i cosiddetti *production systems*), che incorporano soluzioni a razionalità piena, quindi con

ottimizzazione globale, oppure a razionalità limitata, oppure ogni altra forma, anche casuale, di guida del comportamento. In modo più complesso, il comportamento può essere guidato da funzioni a rete neurale artificiale, in cui sia incorporato il risultato di un apprendimento, svolto in precedenza o in tempo reale (la rete neurale collega i dati che descrivono gli stati del mondo con le scelte/decisioni conseguenti); oppure da sistemi di regole che evolvono geneticamente, i cosiddetti sistemi a classificatore, definiti da John Holland; oppure direttamente con l'uso di algoritmi genetici. A gestire la formazione e la modificazione delle regole sono i *generatori di regole*, altri "mattoncini" dello schema ERA.

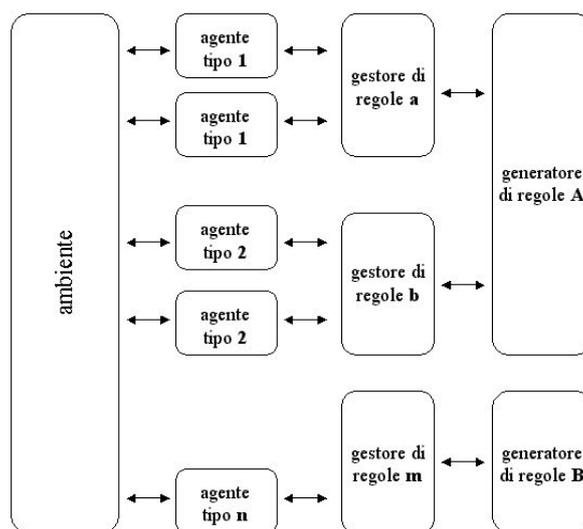


Figura 1 – Uno schema generale per i modelli basati su agenti

Nei casi in cui c'è acquisizione di nuova conoscenza negli agenti, si è molto prossimi allo schema dell'apprendimento con rinforzo (*reinforcement learning*), in cui (i) si acquisiscono le scelte che hanno effetto positivo rispetto agli obiettivi dell'agente e ad uno specifico contesto e (ii) si scartano quelle che hanno effetto negativo.

Un'ulteriore possibilità, che probabilmente avrebbe attratto l'attenzione di Simon, è quella di sostituire ad un *gestore di regole*, una persona. L'agente artificiale in quel caso agisce come *avatar* di una persona reale, di fatto inclusa nella simulazione. Ciò consente di costruire delle applicazioni che accomunano modelli ad agenti ed esperimenti. Delle persone che interagiscono con il modello possiamo: valutare gli effetti delle decisioni a grana finissima; comprendere come decidono e agiscono a seconda dei dati che hanno a disposizione.

5. L'INVESTIGAZIONE DI SIMON

Siamo vicinissimi a Simon, che vuol riprodurre *problem-solving* e *decision-making* delle persone tramite la simulazione.

Simon non ha costruito né descritto modelli di simulazione basati su agenti, salvo una possibile eccezione, in Simon (2000), di cui si dà conto dopo. Per avere una conferma, è molto interessante e anche emozionante visitare il sito web di Simon come era nel 2001, conservato a <http://www.psy.cmu.edu/psy/faculty/hsimon/hsimon.html> (Carnegie Mellon University); purtroppo a quell'indirizzo non tutti i collegamenti sono attivi. Utilizzando la *WayBack Machine* disponibile a <http://archive.org/web/> si ha la pagina come era nel 2001, ma con tutti i collegamenti attivi, all'indirizzo – interno alla macchina della memoria – <http://web.archive.org/web/20010204042300/http://www.psy.cmu.edu/psy/faculty/hsimon/hsimon.html>.

In quella pagina il concetto di simulazione è strettamente quello della riproduzione del comportamento umano, sottolineando: «Human beings use symbolic processes to solve problems, reason, speak and write, learn and invent. Over the past 45 years, cognitive psychology has built and tested empirical models of these processes as they are used to perform simple tasks and then more complex ones. The models take the form of computer programs that simulate human behavior». L'attenzione rivolta ai processi simbolici segnala la differenza, ancora così marcata in quel momento storico, tra cognitivismo e connessionismo, con il ruolo delle reti di neuroni ancora tenuto in secondo piano.

Due recentissimi lavori (Castellani e Novarese, 2016; Chen e Kao, 2016) analizzano l'uso della simulazione in Simon e il debito che abbiamo nei suoi confronti. Il primo lavoro si sofferma sull'importanza del concetto di razionalità limitata per la costruzione dei modelli basati su agenti, annotando che chi costruisce quei modelli sembra ignorare il contributo di Simon nel campo della simulazione; la spiegazione più diretta è trovata nella distanza che esiste tra l'impostazione della simulazione *à la* Santa Fe Institute, con l'attenzione rivolta all'interazione, e l'interesse concentrato sulla struttura cognitiva degli agenti e al loro modello comportamentale interno, in Simon. Il secondo lavoro (Chen e Kao, 2016) dà altrettanto conto della fondamentale influenza che Simon ha avuto sulla modellistica ad agenti, che però non ha mai praticato. Chiarissima l'affermazione (p. 113) «We conjecture that the burgeoning of ACE was too late for the time of Simon, who died in 2001»

6. RAZIONALITÀ LIMITATA E COMPORTAMENTI IN UN CONTESTO COMPLESSO

Soffermiamoci ancora sul tema della razionalità limitata, che deve essere considerata come effetto di carenza di informazioni e limiti di tempo, di competenze e cognitivi. Nella vita delle organizzazioni, la carenza di informazioni può essere l'effetto emergente di scelte, volte a ridurre (spesso erroneamente) la complessità dei compiti richiesti ai componenti dell'organizzazione stessa, proponendo *menu* preconfezionati di decisioni sulla base di sottoinsiemi di dati.

In parallelo, ma si va oltre gli obiettivi di questa nota, Simon sviluppa anche il concetto di razionalità procedurale, valutando come gli agenti utilizzino rassicuranti *routine* nella esecuzione dei compiti loro assegnati, semplificandoli. Per una discussione su razionalità limitata vs. procedurale si veda Barros (2010), ma prima di tutto il lavoro di Castellani e altri (2016), in questo stesso numero della rivista.

Il contenuto del doppio paradigma (razionalità limitata e razionalità procedurale) è molto realistico, certo più di quello dell'impostazione che vuole gli agenti perfettamente razionali e completamente informati, capaci di scelte ottimizzanti senza vincoli di calcolo e di tempo.

Se il contesto è complesso, e quindi non può essere analizzato in modo semplificato per parti, ma solo tenendo conto delle regolarità che emergono in modo differenziato ad ogni livello di analisi (Anderson, 1972, citato all'inizio), i comportamenti ottimizzanti possono essere impossibili da osservare, in quanto gli effetti delle scelte, con tutte le interazioni che determinano, diventano imprevedibili, come ha purtroppo dimostrato il cambiamento di stato dell'economia avvenuto nel 2008 e non ancora superato nel momento in cui si scrive questo articolo (inizio 2016).

In un contesto complesso, la vera contrapposizione non è allora quella tra razionalità piena e limitata, ma quella tra comportamento ottimizzante e *satisficing* (si veda ancora la citazione da p. 498 della Nobel *lecture*, riportata sopra). I comportamenti *satisficing* sono a loro volta impediti nella loro realizzazione dall'imprevedibilità degli effetti di interazione, ma se si adotta quella lente per individuare le azioni dei singoli soggetti si ha uno strumento molto potente per comprendere la struttura della società e di quello che accade.

In Simon (2000), lucidissimo dono del grande studioso ottantaquattrenne al primo numero di *Mind & Society*, il concetto di effetto *satisficing* è utilizzato due volte: a p. 26, con:

Attention to the limitations of human rationality persisted from classical up to quite modern times. Voltaire, in the *Dictionnaire Philosophique* (1746), was so bold as to proclaim that "the best is the enemy of the good," that if you are too preoccupied with attaining the optimum, you won't get even an acceptable result. In modern translation: "optimizing is the enemy of satisficing."

e a p.30 con l'affermazione «The general framework of a theory of rational decision, involving satisficing instead of optimizing criteria (...) has never been applied systematically to reconstructing the theory of markets», che è nient'altro che un invito a costruire dei modelli, formali (difficilissimi, con quell'impostazione) o di simulazione (meno difficili).

Quali modelli di simulazione? A p. 30 si citano «"zero intelligence" trading programs (sellers that will make any trade that meets a reservation price, and buyers that will make

any trade below a ceiling price)» con riferimento a Gode e Sunder (1997a), che descrive un processo di decisione che può essere definito ad agenti, soprattutto leggendo il parallelo lavoro dei due autori (1997b) riportato nei *proceedings* del Santa Fe Institute. Abbiamo dunque un pur fugace legame tra Simon, che si manteneva aggiornatissimo, e la simulazione fondata sugli agenti.

Infine, sulle *computer simulations*, sempre in Simon 2000, a p. 30 abbiamo:

The use of computer simulations will also enable economics to build a realistic theory of the firm that will go far beyond the traditional production function and short- and long-run cost curves into characteristics of organization structure and human motivation, and their consequences for the decision-making process.

Si tratta di un'impostazione che apre la strada a investigazioni sul funzionamento delle organizzazioni e delle imprese, ricordando che internamente a quelle strutture non operano i prezzi, ma complessi sistemi di incentivi, in molti casi distorsivi. La risposta naturale è quella dei modelli di simulazione con gli agenti, ponendo la massima attenzione alla costruzione di questi ultimi, in modo minimale – come gli *agent_zero* di Epstein (2013) – ma certo non banalmente meccanicistico.

Con Epstein pensiamo al singolo agente *zero* come ad una entità software costruita tenendo conto dei progressi delle neuroscienze e dotata di moduli ben distinti: emozionale/affettivo; cognitivo/deliberativo; sociale. Dall'interazione tra gruppi di questi agenti emergono dinamiche che interessano i conflitti sociali, la psicologia e la sanità, le norme, le reti sociali, l'economia.

7. UNA CONSIDERAZIONE SULL'ECONOMIA, QUASI UNA CONCLUSIONE

Riprendendo le considerazioni svolte in Boero e Terna (2011), annotiamo che l'economia ha tradizionalmente considerato il sistema dei prezzi come sintesi di tutte le informazioni utili e necessarie. La *mano invisibile*, da cui del resto Adam Smith si teneva prudentemente discosto, studiando invece fenomeni visibilissimi, oppure l'*as if* di Friedman, funzionano se i prezzi segnalano abbondanza e scarsità, se gli individui sono ottimizzanti, se tutto tende verso l'equilibrio.

In quel quadro manca la dimensione dell'interazione sociale, con l'innovazione e i comportamenti che si diffondono tramite reti di relazioni e le decisioni degli individui che sono il risultato di scelte compiute da persone inserite in contesti sociali.

Per affrontare questi temi l'economia ha bisogno d'interdisciplinarietà, soprattutto con la psicologia; ha bisogno di nuovi strumenti, dalla simulazione (basata su agenti), alla conduzione di esperimenti, alla collaborazione con le neuroscienze. In breve, deve sempre

più raccogliere l'eredità di Simon.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Anderson, P.W. (1972). More is different. *Science*, 177, 4047, pp. 393–396.

Axtell, R.L., Epstein, J.M. (1999). Coordination in transient social networks: an agent-based computational model of the timing of retirement. In H. J. Aaron (a cura di) *Behavioral dimensions of retirement economics*. Washington: Brookings Institution Press. <http://www.brookings.edu/ES/dynamics/papers/retirement/retirementpdf/Retirement.pdf>

Barros, G. (2010). Herbert A. Simon and the concept of rationality: Boundaries and procedures. *Brazilian Journal of Political Economy/Revista de Economia Política*, 30(3), pp. 455–472.

Boero, R., Terna, P. (2011). Dalla mano invisibile all'interazione sociale. *Sistemi intelligenti*, XXIII, 2, pp. 337–344.

Castellani, M., di Giovinazzo, V., Novarese, M. (2016). La mossa del cavallo. Simon tra economia comportamentale ed economia cognitiva. *Sistemi intelligenti*, DA PRECISARE, NUMERO CORRENTE.

Castellani, M., Novarese, M. (2016). *Simon's (Lost?) Legacy in Agent Based Computational Economics*. In Roger Frantz and Leslie Marsh (a cura di), *Minds, Models and Milieux*. Palgrave Macmillan, Houndmills, pp.145–150.

Chen, S.H., Kao, Y.F. (2016). *Herbert Simon and Agent-Based Computational Economics*. In Roger Frantz and Leslie Marsh (a cura di), *Minds, Models and Milieux*. Palgrave Macmillan, Houndmills, pp. 113–144.

Clarkson, G.P.E., Simon, H.A. (1960). Simulation of individual and group behavior. *American Economic Review*, 50(5), pp. 920–932.

Epstein, J.M. (2013). *Agent Zero: Toward Neurocognitive Foundations for Generative Social Science*. Princeton University Press, Princeton.

Fontana, F., Terna, P. (2015). From Agent-based models to network analysis (and return): the policy-making perspective. Department of Economics and Statistics Cognetti de Martiis. Working Papers 201507, University of Turin. URL <http://ideas.repec.org/p/uto/dipeco/201507.html>.

Gilbert, N., Terna, P. (2000). How to build and use agent-based models in social science. *Mind & Society*, 1(1), pp. 57–72.

Gode, D.K., Sunder, S. (1997b). What makes markets allocationally efficient? *The Quarterly Journal of Economics*, 112(2), pp. 603–630.

Gode, D.K., Sunder, S. (1997b). Double auction dynamics: structural consequences of nonbinding price controls. In *Proceedings of the Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity*.

Keynes, J.M. (1924, [1972]), *Collected Writings, Vol.X: Essays in Biography*, p.158n. Cambridge: Macmillan, for the Royal Economic Society.

Ostrom, T.M. (1988). Computer simulation: The third symbol system. *Journal of Experimental Social Psychology*, 24(5), pp. 381–392.

Arturo Rosenblueth, A., Wiener, N. (1945). The role of models in science. *Philosophy of Science*, 12(4), pp. 316–321.

Simon, H.A. (1947–1997, quarta edizione). *Administrative Behavior: a Study of Decision-Making Processes in Administrative Organization*. New York: Macmillan.

Simon, H.A. (1979). Rational decision making in business organizations. *The American Economic Review*, 69(4), pp. 493–513.

Simon, H.A. (2000). Bounded Rationality in Social Science: Today and Tomorrow. *Mind & Society*, 1, pp. 25–39.

Wiener, N. (1948). *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Cambridge MA: MIT Press.

Pietro Terna, via Gradisca 1, 10098 Rivoli. E-mail: pietro.terna@unito.it

COMPLEXITY, MODELS AND OPTIMIZING OR SATISFICING BEHAVIOR

by *Pietro Terna*

The article moves from the complexity concept in economics, to analyze the effects of the presence of different kinds of agents, with their behavior. Following the Simon heritage, we pay attention to satisficing choices vs. optimizing ones. Finally, we consider the agent-based simulation framework as a socioeconomic artifact, useful to explore factual or counterfactual worlds and their agents.

Keywords: complexity, optimization, satisficing behavior, agent-based model.