

Creare mondi artificiali: una nota su *Sugarscape* e due commenti

Pietro Terna

Questa nota è dedicata ad introdurre l'importante libro di Epstein e Axtell (1996) dedicato al modello di simulazione sociale noto come *Sugarscape*. Seguono due commenti: il primo, a proposito del così detto individualismo metodologico; il secondo, sulla possibilità di definire uno schema robusto per lo sviluppo dei modelli di simulazione fondati su agenti, qual è il caso di *Sugarscape*. Sarebbero molto gradite repliche ai due commenti: è utile sostenere la discussione su questi temi proprio ora, quando si gettano le basi per un uso più ampio delle tecniche di simulazione "dal basso" o con agenti.

1. *Sugarscape*

Epstein e Axtell (1996, Cap. 1, *Introduzione*) annotano:

Herbert Simon ama affermare che le scienze sociali sono, nei fatti, le scienze *hard*. In primo luogo, molti processi sociali crucialmente importanti sono complessi. Non sono scomponibili in modo ordinato in sub-processi separati - economico, demografico, culture, territoriale - le cui analisi distinte possano essere aggregate per fornire una analisi adeguata del processo sociale come un tutt'uno. Finora questo è esattamente il modo in cui il campo delle scienze sociali è organizzato, in comparti che sono più o meno delle isole e con riviste di economia, demografia, scienza politica e così via (...)

Le scienze sociali sono anche difficili perché certi tipi di sperimentazione controllata sono difficoltosi. In particolare è difficile sottoporre a test le ipotesi relative ai legami tra comportamenti individuali e regolarità a livello macro. Se gli individui agiscono in questo o quel modo - cioè, seguono specifiche regole - allora la società come un tutto avrà certe proprietà. Come opera l'eterogeneo livello micro dei comportamenti individuali nel generare le regolarità della società al livello macro?

Un'altra preoccupazione di fondo di molti scienziati sociali è che l'agente razionale - un individuo perfettamente informato con capacità di calcolo illimitata che massimizza una certa funzione esogena di utilità (non soggetta a evoluzione) - ha poche relazioni con un essere umano (...)

In relazione a ciò, è pratica *standard* nelle scienze sociali dimenticare l'eterogeneità degli agenti del mondo reale nella costruzione dei modelli. Ciò può essere fatto sia esplicitamente, come nel caso dell'agente rappresentativo nei modelli macroeconomici (Kirman, 1992) o implicitamente, come accade quando modelli molto aggregati sono usati per rappresentare processi sociali. Mentre tali modelli possono offrire significativi spunti interpretativi, annullano ogni conseguenza della eterogeneità. Pochi scienziati negherebbero che tali conseguenze possano essere molto importanti, ma non esiste nessuna metodologia specifica per lo studio sistematico di popolazioni altamente eterogenee.

Infine è corretto affermare che le scienze sociali, e specialmente la teoria dei giochi e la teoria dell'equilibrio economico generale, si sono sempre occupate di trovare equilibri statici, essenzialmente ignorando le dinamiche temporali. Di nuovo, pur d'accordo sul punto, molti scienziati sociali affermerebbero che non esiste una metodologia specifica per studiare le dinamiche proprie del disequilibrio nei sistemi sociali.

Sugarscape è un mondo di agenti definito dal basso - dunque in modo alternativo rispetto a quello tradizionale descritto nell'introduzione - in cui operano agenti eterogenei dal punto di vista delle capacità (visione) ed esigenze (metabolismo) individuali.. In *Sugarscape* lo zucchero, variamente distribuito sul territorio, è l'unica risorsa (c'è anche una variante con la presenza di zucchero e spezie, per poter osservare gli scambi).

Il libro che lo presenta è stato recensito assai positivamente, ad esempio in Gessler (1997) e in Tesfatsion (1998); esiste anche una stroncatura, comparsa su un mensile di divulgazione informatica di buon livello tecnico, il *Dr.Dobb's Journal* (settembre 1997, p.119, senza firma). Val la pena soffermarsi sulla stroncatura, che proviene da un ambiente informatico e che mette quasi in ridicolo il lavoro sostenendo che la tesi del libro, secondo cui entità elementari che interagiscono con semplici regole locali possono determinare comportamenti molto complicati, è ormai diventata familiare . Doppio commento: non è così scontato che lo sia; l'uso, nella recensione, del termine "complicati", è improprio; per questo, si veda il riferimento a Kaneko (1998). Il recensore ostile afferma inoltre che ogni investigazione in questo campo è significativa solo se scientifica; nel testo sarebbero invece presentate situazioni che suggeriscono interpretazioni (agenti che emigrano, commerciano, ...), ma gli autori non indicano quante combinazioni di parametri hanno tentato per ottenere ciò. Manca, sempre secondo la stroncatura, un lavoro strutturato, nel campo dei modelli di agenti, paragonabile a quello svolto nella direzione degli automi cellulari; dunque, secondo l'anonimo recensore, questa è "*cargo-cult science*" (espressione attribuita a Feynman).

Debolezza della critica: il nuovo campo della simulazione fondata su agenti è quasi per definizione poco strutturato; la ricerca sperimentale, via simulazione, sull'emergenza dei fenomeni e delle istituzioni, nonché sui comportamenti in presenza di interazione, non può fondarsi su operazioni di *reverse engineering* (nato un certo risultato a livello aggregato, determinare quali agenti e con quali regole lo producono) che sono di fatto impossibili allo stato attuale delle conoscenze e forse in assoluto.

Ben diverso spessore hanno invece: un'annotazione di difficile replicabilità degli esperimenti, questione affrontata nel secondo dei commenti contenuti in questa nota; un'indicazione di incertezza metodologica generale, certo non imputabile agli autori di *Growing Artificial Societies*.

Lavori in questa direzione non mancano, si veda ad esempio Rasmussen e Barret (1995); tuttavia sono circoscritti a rigorose ed importanti questioni in ordine alla simulabilità e computabilità dei fenomeni, muovendo dalla premessa che la simulazione è una originale forma di unione tra costruzione di modelli e computazione, necessaria per rispondere alla domanda su come, dato un sistema composto da molti sottosistemi interagenti, si possano formulare i sottosistemi e le loro interazioni per riprodurre in modo appropriato la dinamica globale del sistema; in termini di *Artificial Life*, sempre seguendo Rasmussen e Barret, su come si possano generare comportamenti simili alla vita usando regole locali di basso livello. Dalla impostazione rigorosa alla realizzazione a struttura chiusa e definita dei modelli di simulazione fondati su agenti - come nel caso degli automi cellulari - il cammino è ancora lungo, ammesso che sia possibile. Concludendo la discussione aperta prendendo spunto dalla recensione ostile, si annota ancora che *Sugarscape* è comunque la somma di un automa cellulare e di un modello fondato su agenti.

Una ulteriore precisazione può essere ancora dedicata allo schema operativo necessario per costruire modelli fondati su agenti. Una risposta compare in *Sugarscape*; ancora più recentemente è posta alla base della modellistica su agenti realizzata utilizzando la biblioteca di funzioni ed i protocolli che costituiscono l'ambiente *Swarm* (vedere il terzo paragrafo): l'utilizzazione di *software* a oggetti, in cui la simulazione sia guidata dagli eventi (endogeni o esogeni). Questa

impostazione astratta si traduce nella scrittura di programmi in cui il verificarsi di un evento (ad esempio il trascorrere simulato del tempo in un certo intervallo) provochi azioni sotto forma di messaggi inviati agli agenti, i quali a loro volta producono eventi e così via. Solo in questo modo è possibile realizzare in modo relativamente semplice strutture di simulazione dagli andamenti largamente imprevedibili, con complicate ramificazioni di azioni e reazioni tra le varie componenti.

Sugarscape è un mondo supposto in forma di toroide, per semplificarne la rappresentazione piana. Mondo, agenti, cibo, regole e azioni sono regolabili in modo parametrico; tutto il sistema è scritto utilizzando il *Pascal* a oggetti. La complessità del mondo descritto è via via crescente di capitolo in capitolo, come sono via via più interessanti e ricche di significato le caratteristiche del sistema e le istituzioni emergenti. Ogni agente è dotato di una struttura fissa, determinata casualmente, che consiste in un metabolismo e nella capacità di vedere; gli agenti non vedono in diagonale, il che determina (voluti) limiti alla loro razionalità; sono dotati della capacità di conservare il cibo raccolto in eccesso rispetto al fabbisogno.

L'agente muore se le sue scorte di cibo si annullano; al fine di condurre esperimenti sulla distribuzione del reddito, si suppone anche che un agente muoia in un tempo finito e sia sostituito da un nuovo agente. Il mondo iniziale è dunque molto semplice, ma consente di verificare gli effetti che le condizioni ambientali (quantità di zucchero e tasso di rinnovamento dello stesso nel territorio; regole locali di ricerca del cibo) determinano sulle migrazioni e sulla distribuzione degli agenti (per spazio, ricchezza, ...).

Con l'introduzione delle riproduzione sessuata, con la possibilità di trasmissione culturale e quella di combattimenti (il tutto, ovviamente, molto stilizzato) emergono tribù e segregazioni culturali. Inoltre, introducendo un altro tipo di cibo (le spezie, oltre allo zucchero) e differenze nel metabolismo zucchero-spezie degli agenti, nasce un mercato fondato su scambi bilaterali tra agenti vicini, con i prezzi che oscillano intorno ad un valore di equilibrio, ma realisticamente senza mai raggiungere condizioni ottimali; il tutto con livelli di volatilità che dipendono da condizioni molto indirette, come la trasmissione culturale tra generazioni. Infine, la presenza di malattie infettive consente lo studio dell'interazione tra epidemie e processi sociali.

Come si rileva da questa sintesi, che ha soprattutto lo scopo di destare la curiosità dei lettori che non conoscano *Sugarscape*, da un mondo molto semplice, come ambiente e come regole, nascono comportamenti complessi, il che ci introduce direttamente al primo commento. Non prima però di avere offerto una precisazione tecnica a chi è interessato agli aspetti informatici: nel modello gli agenti sono esempi di classi di oggetti; l'ambiente può invece essere interpretato come un automa cellulare, dotato di regole semplici o complesse per la produzione del cibo sul territorio. Una utilizzazione congiunta, dunque, di due tecniche (agenti e automi cellulari) in apparenza alternative.

2. Primo commento: individualismo metodologico e modelli fondati su agenti, con il rischio di incomprensioni

Epstein e Axtell (1996, Cap. 1, par. "Oltre l'individualismo metodologico") affermano:

Il nostro punto di partenza nella costruzione di modelli fondati su agenti è l'individuo: attribuiamo delle regole di comportamento agli agenti e quindi facciamo procedere il sistema nel tempo, per scoprire quale struttura emerga a livello macroscopico. Questa scelta contrasta notevolmente con la rappresentazione fortemente aggregata della macroeconomia, della sociologia, di certi campi della scienza politica, in cui aggregati sociali, come classi e stati, sono definiti *ab initio*. In questo senso il nostro lavoro può essere a ragione etichettato

come “individualismo metodologico”. Comunque, noi condividiamo le posizioni di alcuni dei componenti del filone individualista se ed in quanto si ritenga che le strutture collettive o “istituzioni” che emergono possano avere effetti di retroazione nella popolazione di agenti, alterando il comportamento degli individui. I modelli fondati su agenti ci consentono di studiare le interazioni tra individui e istituzioni.

Come circoscriviamo il campo dell’individualismo metodologico e con quali contrapposizioni tra gli studiosi? Scegliamo una definizione neutrale, da Zamagni (1987), Cap. 1, par. 1.9, p.65:

La posizione secondo cui tutte le proposizioni circa i gruppi sono riconducibili a proposizioni circa il comportamento dei singoli facenti parte di quei gruppi e le loro interazioni, è oggi nota come *individualismo metodologico*, un’espressione coniata da Schumpeter (...).

Su questa posizione si concentrano critiche sia degli organicisti metodologici, che negano che sia possibile comprendere un sistema sociale o economico studiando i singoli individui che lo compongono; sia, all’opposto, di coloro che rifuggono dalle metodologie che comportano la scelta riduzionista della costruzione del così detto agente rappresentativo. Inoltre esiste la disputa relativa all’uso di agenti semplici come struttura e regole oppure, in alternativa, molto strutturati in termini di regole, capacità di ottimizzazione, conoscenza dei modelli dell’economia - paradossalmente, come nota Sargent (1993), non noti all’econometrico che li studia - e dei dati necessari per applicarli.

Le incomprensioni si manifestano quando chi nega interesse allo studio dell’agente rappresentativo sulla base dell’ipotesi che non si possa prescindere dallo studio della strutture (delle classi, delle istituzioni, ...) si contrappone anche a chi - costruendo modelli di agenti semplici - a sua volta rifiuta quella scelta riduzionista e cerca una alternativa alla definizione degli agenti così detti neo-classici, tanto complicati quanto necessario per spiegare la realtà economica dall’interno degli agenti stessi.

Si può invece lavorare nella direzione di ammettere esplicitamente il ruolo *ex ante* di istituzioni e strutture preesistenti e di considerare essenziale l’eterogeneità degli agenti (in linea di principio, semplici), per sperimentare la non linearità degli effetti aggregati dei loro comportamenti (cioè: il *tutto* che non necessariamente corrisponde alla somma delle *parti*) in presenza di interazione, con l’emergenza della complessità: è in ciò che consiste l’originalità della sperimentazione artificiale con modelli di simulazione fondati su agenti.

Individualismo metodologico e metodologie fondate su modelli di agenti non sono dunque coincidenti. Con i modelli fondati su agenti si studia l’emergenza di strutture, istituzioni e comportamenti a priori imprevisi o imprevedibili, sulla base di diversi livelli costruttivi e interpretativi appartenenti a schemi a più livelli, con interazione all’interno di ogni livello e tra livelli diversi: nulla vieta che un agente sia a sua volta costituito di parti; che il modello preveda l’interazione tra entità a loro volta costituite da agenti e così via. Quest’ultima è anzi la strada che rende fruttuoso l’impiego di queste metodologie in campo organizzativo.

Riassumendo con Kirman (1992):

La somma dei comportamenti di semplici individui economicamente plausibili può generare complesse dinamiche, mentre per costruire un singolo individuo il cui comportamento mostri la stessa dinamica può essere necessario fondarlo su caratteristiche ben poco naturali. Inoltre se si rifiuta (n.d.r. sulla base del modello) una particolare ipotesi di comportamento, non è chiaro se si sta realmente rifiutando l’ipotesi in questione o l’ipotesi addizionale che esista un solo individuo (n.d.r. rappresentativo).

Studiando l'emergenza di fenomeni si considera quindi la complessità come un processo a due vie, in cui l'interazione non lineare degli agenti produce effetti sociali e strutture sociali già emerse in precedenza o emergenti (via evoluzione, selezione genetica, co-determinazione) influenzano struttura e comportamento degli agenti.

Una definizione operativa di complessità, molto utile in questo contesto, è riportata in Kaneko (1998):

(...) occorre distinguere con cura tra "complesso" e "complicato". Quest'ultimo è un sistema composto da una varietà di elementi, la cui suddivisione in parti sia difficile, ma in linea di principio possibile. Dall'altro lato, nei sistemi complessi, ci si deve confrontare con una situazione circolare in cui le parti possono essere capite solo tramite il tutto, benché il tutto, naturalmente, consista di parti.

In McIntyre (1998) si affronta il tema dell'emergenza della complessità, tenendo conto della prospettiva ontologica, in relazione a quel che la realtà è, rispetto alla prospettiva epistemologica, legata a ciò che della realtà conosciamo e sappiamo rappresentare. L'autore privilegia la spiegazione epistemologica, il che è corretto nella maggior parte dei casi, ma lascia aperto il problema del *reverse engineering* qui introdotto discutendo della recensione ostile a *Growing Artificial Societies*. Ogniquale sia impossibile partire dal risultato desiderato per costruire gli agenti che lo riproducono, e quindi si sia effettivamente in presenza di funzioni agente-sistema non invertibili, ci si trova probabilmente di fronte a problemi complessi in sé e non in quanto rappresentati con tecniche non appropriate.

Schematizzando, anche provocatoriamente: no al riduzionismo dell'individualismo metodologico, che tenta di riprodurre la complessità del sistema direttamente negli agenti, complicando gli agenti all'estremo, sovraccaricandoli di ipotesi e capacità; no all'organicismo, che considera non praticabile la strada degli agenti perché non ritiene che esistano a quella scala strutture adatte a riprodurre la complessità del reale; sì ad agenti costruiti con parsimonia di mezzi, cercando nell'interazione e in strutture *ex ante* o emergenti la strada per produrre situazioni complesse paragonabili a quelle reali, da leggersi alla scala più adatta, che non necessariamente è quella del singolo agente.

Sempre schematizzando, proviamo anche a discriminare in modo operativo tra modelli complicati (o artificialmente complessi) e complessi (ricordando la distinzione tra rappresentazione e ontologia come cause possibili della nostra percezione della complessità), sulla base della possibilità di affrontare o no il problema oggetto di studio invertendo le funzioni implicite o esplicite che determinano il funzionamento dell'ambiente simulato, partendo dal sistema per arrivare agli agenti. Qui la reversibilità, o la possibilità di *reverse engineering* nella costruzione degli agenti, diventa indice di non complessità del sistema.

3. Secondo commento: dalla replicabilità degli esperimenti ad una proposta di metodo

Modelli come *Sugarscape* sono tanto più utili quanto più è agevole replicare gli esperimenti che ne discendono, sia per verifica, sia per sondare prospettive diverse di analisi, anche variando i parametri del sistema (grandezze relative agli agenti, all'ambiente, alla numerosità degli agenti o di altre entità - ad esempio prive di regole di comportamento, quali oggetti inanimati - presenti nell'ambiente).

La replicabilità di questo tipo di esperimenti non è senza costi; ne ho esperienza diretta con l'uso di un mio *software* per la costruzione di modelli fondati su agenti costruiti con reti neurali, denominato CT: anche lavorando con molta accuratezza, non tanto la replica dell'esperimento, ma certo l'introduzione di modifiche è molto difficoltosa, soprattutto a distanza di tempo. Per questo CT sarà a breve completamente riscritto, seguendo le regole di un ambiente che possa

essere considerato uno *standard*; si tratta in questo caso della biblioteca di oggetti in *Objective C*, e dell'insieme dei protocolli da applicare per utilizzarli, denominati *Swarm* (<http://www.santafe.edu/projects/swarm>). Nel caso di *Sugarscape* replicare gli esperimenti è certamente possibile, ma gli autori non indicano esplicitamente la disponibilità dei programmi necessari; esiste invece una parte del modello riscritta utilmente con *Swarm*, per esigenze didattiche, da Minar (vedere <http://www.syslab.ceu.hu/~nelson/sugarscape-lecture/>).

Anche un modello scritto utilizzando una piattaforma *standard* può essere però molto difficile da utilizzare per chi non ne sia l'autore. Inoltre può diventare - con il tempo - difficile da modificare per lo stesso autore. Per superare queste difficoltà e per mettere a disposizione degli interessati uno schema molto generale, come guida di metodo per la costruzione di modelli di agenti, si introduce lo schema riportato nella Figura 1.

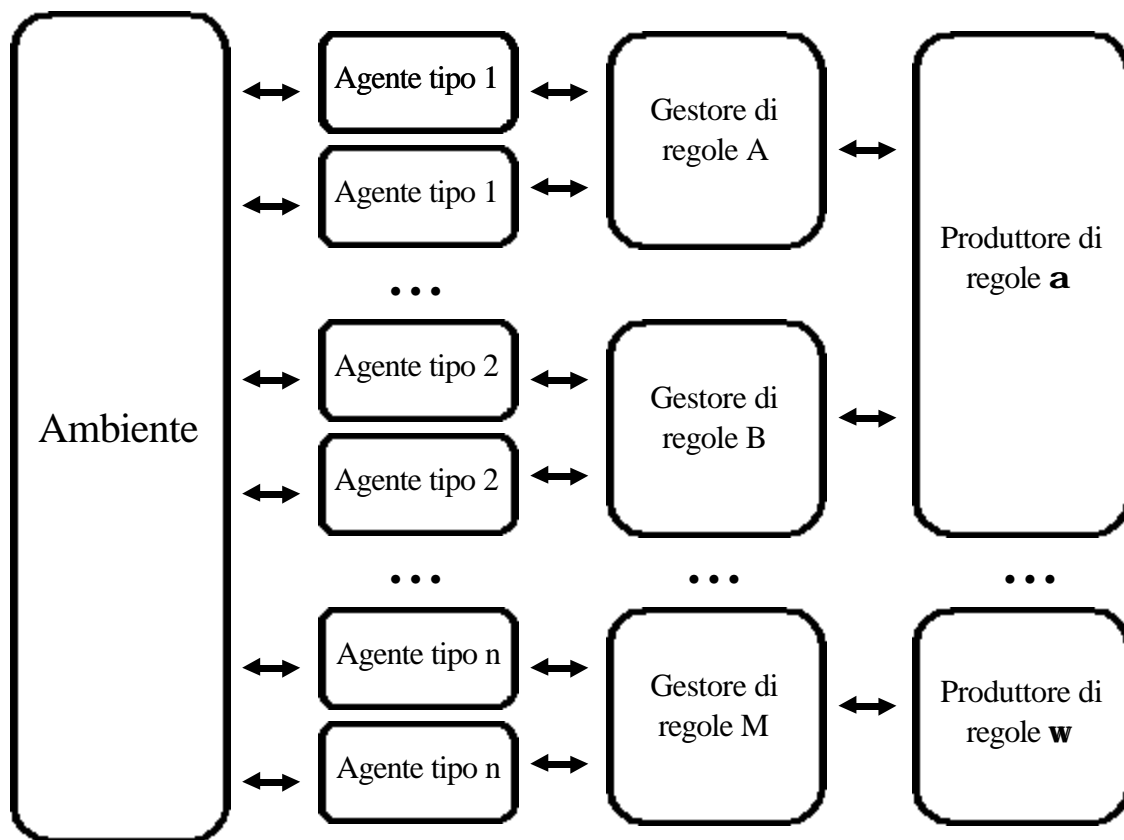


Fig. 1 - Schema *Environment Rules Agents* (ERA) per la costruzione di modelli

La caratteristica principale dello schema *Environment Rules Agents* (ERA) è quella di separare l'ambiente, con le sue regole, dagli agenti, che non comunicano direttamente tra loro (come costruito informatico), ma tramite l'ambiente; ad esempio, l'ambiente fornisce ad ogni agente le informazioni necessarie per costruire una lista dei propri vicini. Per le proprie azioni gli agenti ricevono istruzioni da oggetti esterni, da intendersi come rappresentazione di enti astratti quali insiemi di regole o di meta-regole, queste ultime viste come strumenti da utilizzare per modificare le regole. Si tratta di gestori di regole che infatti a loro volta comunicano con oggetti produttori di regole che modificano l'azione degli agenti, per esempio simulando l'apprendimento. Tutte le informazioni necessarie ad un gestore di regole provengono dall'agente oggetto dell'azione o da agenti speciali che operano nell'ambiente con funzioni statistiche; allo stesso modo le informazioni necessarie per l'azione dei produttori di regole provengono dai gestori di regole, che le ricevono dagli agenti

chiamati in causa dalle regole stesse. La rigidità della struttura, che rifiuta legami diretti tra livelli diversi (i quattro blocchi verticali della figura) e non consente collegamenti diretti all'interno dei livelli, aumenta il peso iniziale della struttura del codice informatico, ma si ripaga abbondantemente grazie alla maggior comprensibilità e agevolezza delle modificazioni.

L'architettura proposta deve ovviamente appoggiarsi su ambienti informatici ad oggetti, con particolare attenzione alla piattaforma *Swarm*. Una ulteriore motivazione per la sua adozione è la modularità, che consente facilmente di utilizzare quasi in modo intercambiabile *classifier system* o reti neurali o insiemi di regole o passi evolutivi o altro strumento, nei livelli dei gestori e dei produttori di regole.

Per finire, un esempio di applicazione dello schema, relativo ad un programma che gestisce l'apprendimento di n reti neurali. L'ambiente in questo caso è molto semplice: si tratta del collegamento ai *file* in cui sono contenuti i dati per le fasi di apprendimento e di verifica, nonché le indicazioni relative alle operazioni di normalizzazione dei dati stessi. Ogni rete neurale è un agente, che riceve dall'ambiente le informazioni citate, dispone di propri parametri per l'apprendimento e contiene le matrici dei pesi (che saranno diversi da agente ad agente). Il passo di applicazione di rete neurale via via formata sulla base dell'apprendimento è gestito (vedere Figura 1), per ogni agente, da un oggetto del tipo *Gestore di regole*, mentre un oggetto del tipo *Produttore di regole* si occupa del passo di retropropagazione dell'errore, per l'apprendimento.

Bibliografia

- EPSTEIN J.M. e AXTELL R. (1996), *Growing Artificial Societies - Social Science from the Bottom Up*, Cambridge MA, MIT Press.
- GESSLER N. (1997), *Growing Artificial Societies - Social Science from the Bottom Up* - Joshua M. Epstein and Robert Axtell. *Artificial Life*, 3, pp. 237-242.
- KANEKO K. (1998), Life as Complex System: Viewpoint from Intra-Inter Dynamics. *Complexity*, 6, pp.53-63.
- KIRMAN A. (1992), Whom or What Does the Representative Agent Represent?. *Journal of Economic Perspectives*, 6, pp.126-139.
- MCINTYRE L. (1998), Complexity: A Philosopher's Reflection. *Complexity*, 6, pp.26-32.
- RASMUSSEN S e BARRET C. L. (1995), Elements of a Theory of Simulation, in F. Moran e al. (a cura di), *Advances in artificial life: Third European Conference on Artificial Life*, Lecture notes in computer science 929, Berlino, Springer, (reperibile anche a <http://www.santafe.edu/sfi/publications/95wplist.html>).
- SARGENT T. J. (1993), *Bounded Rationality in Macroeconomics*, Oxford, Clarendon Press.
- TESFATION L. (1998), *Growing Artificial Societies - Social Science from the Bottom Up* - By Joshua M. Epstein and Robert Axtell, *Journal of Economic Literature*, pp. 233-234.
- ZAMAGNI S. (1987), *Economia politica - Teoria dei prezzi, dei mercati e della distribuzione*, Roma, NIS.