

Nuova Atlantide

Rivista di Scienze della Natura, Umane e della Complessità
Organo Ufficiale dell'Associazione World Complexity Science Academy
Organo Ufficiale di www.cyberbrain.eu
RIVISTA DELLA COLLANA EDITORIALE TEORIA DEI SISTEMI E COMPLESSITÀ

Dir. e Red.: Via Mure Seminario Vecchio 1/A, 45100 Rovigo
mail: info@cyberbrain.eu_ mail: demred1@teletu.it
Anno XXVI° – n° 2 – MAG/AGO 2011
Aut. Trib. Rovigo n° 7/86 del 26/09/1986
Quadrimestrale

Direttore Responsabile: Demetrio PietroErrigo
Direttore Editoriale: Maria Rita Astolfi

Consiglio di Redazione:

Chiara Trofino (CapoRedattore)

Serena Affuso
Mariarosalba Angrisani
Simone D'Alessandro
Emilia Ferone
Giulio Marini
Giovanna Porcaro Sabatini
Andrea Pitasi
Roberta Tedeschi
Roberta Vacca

marketing/pubblicità: Giulia Mancini

Editore

Aracne editrice S.r.l.
Via Raffaele Garofalo 133 /a-b
00173 Roma
06 93781065

Tipografia

ERMES. Servizi Editoriali Integrati S.r.l.
00040 Ariccia (RM), via Quarto Negroni 15

La proprietà artistica è riservata
E' vietata la riproduzione, anche parziale, con qualsiasi mezzo effettuata.
La responsabilità del contenuto dei singoli articoli è propria degli Autori.

“Nuova Atlantide”
 Rivista di Scienze della Natura, Umane e della Complessità,
 Rivista della collana editoriale Teoria dei Sistemi e Complessità,
 Organo Ufficiale della World Complexity Science Academy (www.wcsaglobal.org)
 e Organo Ufficiale del website www.cyberbrain.eu, viene fondata nel settembre del 1986.

*Fin da subito punta sulla qualità scientifica degli apporti, avvalendosi di una procedura di referaggio costituita da un pieno meccanismo di “blind peer reviewing” per il quale sono attivati i membri del Comitato Scientifico e referees esterni esperti in sistemica e scienze interdisciplinari.
 Le lingue ufficiali della Rivista sono l’Italiano e l’Inglese.*

BLIND PEER REVIEWING STANDARDS

Espressione del voto in decimi per ogni criterio¹.

Titolo del volume:	
CRITERIO	VOTO
1) Originalità innovativo / riconfigurativa	
2) Potenza e ricchezza teorica e concettuale	
3) Coerenza ed eleganza teorica, metodologica, applicativa del volume nel suo complesso	
4) Coerenza ed attendibilità metodologica	
5) Potenzialità di generare spin-off teorici, applicativi e/o riconfigurativi	
6) Chiarezza e univocità terminologico – concettuale	
7) Appropriatezza, trasparenza e riproducibilità delle fonti bibliografiche	
8) Ampiezza globale e cosmopolita della fonti bibliografiche e dei modelli concettuali di riferimento.	
9) Capacità di sistematizzare saperi pluridisciplinari	
	Tot.
ULTERIORI COMMENTI E VALUTAZIONI	

L’SB della Rivista, e per essa il suo Direttore, valuterà nel seguente modo i punteggi complessivi assegnati dal referee anonimo:

Da 0 a 39: giudizio negativo

Da 40 a 49: appena sufficiente per la pubblicazione anche se con riserva.

Da 50 a 69: accettato per la pubblicazione.

Da 70 a 90: pienamente accettato, se ne consiglia la pubblicazione con tempestività.

La decisione finale relativa alla pubblicabilità del testo spetta al Direttore Responsabile della Rivista.

WCSA is a cultural association whose mission is purely scientific. It aims to conceive, plan, organize, evaluate and promote basic and applied scientific research, both on a theoretical and on a practical level. WCSA is engaged in spreading scientific research and knowledge in whatever way and form, especially in the field of interdisciplinary, systemic and complexity sciences. Thus, to make systemic science able to provide relevant scientific and intellectual contributions, e.g. from engineering to biology, from pedagogy to economics, from mathematics to sociology, from cybernetic to architecture, etc., as long as they operate through a systemic approach. WCSA is also focused on strategic problem solving concerning the fundamental evolutionary challenges that human society is currently facing in the energetic, ecologic and biotechnological domains by applying a creative and innovative pluralism at every research stage. WCSA mission involves a strong support to both Italian and foreign scholars' education in every field related to the systemic approach, also promoting the exchange and cooperation among researchers. The Academy is focused on providing a deontological code concerning research and scientific or humanistic studies.

Indice

<i>I diritti ed il Rischio</i> (D.P. Errigo)	7
<i>Serendepity: global emergencies and immergencies</i> (M.R. Astolfi)	11
<i>Ecologia, sviluppo sostenibile ed etica aspecista</i> (V. Pocar)	15
<i>A fatal consensus (A consensual but unfeasible model)</i> (M.S. Pérez Schael)	37
<i>Scope and aim of Non-financial Reporting for Third Sector Organizations: some theoretic paradigms and considerations upon the Italian case</i> (G. Antonucci)	49
<i>A systemic approach to the Risk Management</i> (Michele Infante)	73
<i>Analisi delle bolle speculative e crisi sistemiche</i> (G. Ercolanese)	85
<i>Fear, laziness and pride</i> (A. Pitasi)	101
<i>Il patrimonio cibernetico della sistemica</i> (M. Ruzzeddu)	105
<i>Il metodo simulativo e le scienze della complessità nella ricerca sociale</i> (Alberto Trobia)	121
<i>La Social network analysis e la complessità</i> (V. Milia)	153
WCSA - MEETINGS INFORMATIONS	
<i>Modulistica</i>	179

Il metodo simulativo e le scienze della complessità nella ricerca sociale

Alberto Trobia

Alberto Trobia

(alberto.trobia@poste.it).

Dal 1/10/2002 è professore associato non confermato di Sociologia generale (SPS/07) c/o la Facoltà di Scienze della Formazione dell'Università degli Studi di Palermo, dove insegna Sociologia generale e Metodologia e tecniche della ricerca sociale; dal 17/02/1999 al 30/09/2002 è stato Ricercatore di "Sociologia giuridica, della devianza e mutamento sociale" (SPS/12) c/o il Dipartimento Studi Politici e Sociali - V. Tomeo, dell'Università di Messina; dall'a.a. 2000/2001 è supplente di "Sociologia" e "Metodologia e tecniche della ricerca sociale" c/o il D.U.S.S. di Caltanissetta; dall'a.a. 1998/99 all'a.a. 1999/2000 è stato supplente di "Sociologia della devianza" c/o il Diploma Universitario in Servizio Sociale dell'Università di Messina. Associate Professor of Sociology and Social Research Methods at the University of Palermo since 2002. His research focuses on mixed methods, with an emphasis on text analysis, network analysis and agent-based simulation. He is also interested in popular culture (particularly cinema and popular music) and leisure. He has got a degree in Political Sciences (1994) and a Ph.D. in Sociology (2000).

Premessa

La simulazione al computer è una delle maggiori aree di sviluppo nel recente campo delle *scienze sociali computazionali* (*computational social sciences*), insieme ad altre tecniche d'indagine, quali la *network analysis*, il *data mining* o l'*analisi geospaziale* (GIS), al confine fra sociologia, scienze della complessità e informatica (cfr. la Fig. 1) [per una panoramica su queste tecniche, cfr. Cioffi-Revilla, 2010a; Castellani e Hafferty, 2009; Miller e Page, 2007; Malsch, 2001].



Figura 1 – Le scienze sociali computazionali: una cartografia
Fonte: Castellani e Hafferty, 2009, p. 246.

Abstract

Nelle pagine che seguono, introduco il lettore alla simulazione nelle scienze sociali, definendo questa tecnica d'indagine, classificandone le varie articolazioni, riassumendone il metodo generale, e chiarendone lo statuto metodologico e il posto rispetto ai classici dilemmi della teoria sociale. Uno spazio particolare è dedicato alla simulazione multi-agente, che si è dimostrata molto feconda nelle scienze sociali, producendo risultati robusti e in alcuni casi di grande rilievo, in uno stretto dialogo con le scienze della complessità. La parte finale è dedicata alla questione della validazione dei modelli e ad un bilancio metodologico.

La simulazione può essere inquadrata in una prospettiva che, in altra sede [Trobias, 2005, p. 138], ho avuto modo di definire *connessionista*, utilizzando questo termine in un'accezione nuova e non del tutto coincidente con l'omonima branca dell'intelligenza artificiale. Una prospettiva che: 1) tenta di risolvere (connettere) alcune opposizioni fondamentali (ad esempio, l'opposizione tra struttura e azione) all'interno di una data disciplina; 2) cerca di mettere assieme discipline diverse e tradizionalmente lontane (come, ad esempio, la biologia e l'economia politica); 3) e, infine, fa ricorso al concetto di *emergenza*, avendo a che fare con sistemi *complessi*, *generatori* di non linearità, come quelli che si studiano nell'ambito del connessionismo basato su reti neurali. Fra questi sistemi, oltre al cervello, si possono annoverare anche gran parte dei sistemi economici e sociali. La prospettiva connessionista è strettamente apparentata con quella che Castellani e Hafferty [2009] chiamano la *Scuola britannica della complessità* (*British-based School of Complexity*): un *network* di studiosi che ha avanzato la proposta di una sociologia post-disciplinare [Urry, 2000, 2003], sul solco d'una tradizione che è iniziata con la teoria dei sistemi, fortemente orientata alla riflessione metodologica, e fondata sulle teorie della complessità [Castellani e Hafferty, 2009, pp. 162-171].

Nelle pagine che seguono, introduco il lettore alla simulazione nelle scienze sociali, definendo questa tecnica d'indagine, classificandone le varie articolazioni, riassumendone il metodo generale, e chiarendone lo statuto metodologico e il posto rispetto ai classici dilemmi della teoria sociale. Uno spazio particolare è dedicato alla simulazione multi-agente, che si è dimostrata molto feconda nelle scienze sociali, producendo risultati robusti e in alcuni casi di grande rilievo, in uno stretto dialogo con le scienze della complessità. La parte finale è dedicata alla questione della validazione dei modelli e ad un bilancio metodologico.

1. Definizione, tipi di simulazione e metodologia

La simulazione è un particolare tipo di *modellizzazione*. Per Scardovi [1997, p. 793], si tratta di «una metodologia transdisciplinare, che ha per principio logico il canone ipotetico deduttivo, per ipotesi di lavoro il mo-

dello, per esperimento la simulazione, per laboratorio il calcolatore». Essa consiste nell'«esecuzione o manipolazione dinamica del modello di un sistema per un determinato scopo» [Barton, 1970, p. 6]. Nel modello sono specificati gli elementi del sistema, le relazioni fra le sue parti e le regole di funzionamento. Esso contiene una "rappresentazione" della realtà: una versione "artificiale", più astratta e meno complessa [Hanneman e Patrick, 1997]; utile, tuttavia, a comprendere alcuni aspetti del mondo reale. Secondo Parisi [2001], una simulazione è una teoria "attiva" del mondo reale.

I modelli simulativi impiegati nelle scienze sociali non sono concepiti necessariamente per riprodurre in modo fedele i fenomeni sociali reali. Essi servono piuttosto a comprenderne i "meccanismi"² [Sawyer, 2003]. Gilbert e Conte [1995, p. 3], riferendosi all'approccio simulativo nelle scienze sociali, osservano che la domanda da porsi non è: «che cosa è accaduto?», né: «che cosa accadrà?», quanto piuttosto: «quali sono le condizioni sufficienti perché si verifichi un certo fenomeno?». Di qui la nozione di approccio *generativo* [Epstein, 2006; Squazzoni, 2008, pp. 31-35]³. In questo senso, si può dire che le simulazioni producono risultati che non sono generalizzabili, bensì *trasferibili* [Neresini, 1998, pp. 70-72]. Come sostiene Parisi [1999, p. 69], «studiare il possibile può aiutarci a capire il reale perché creando il possibile si allarga il campo di fenomeni con i quali mettere alla prova le nostre ipotesi e le nostre teorie sul reale».

Le funzioni della simulazione, nelle scienze sociali, sono diverse [Moretti, 1999, pp. 147-149]: la simulazione è un linguaggio formale per esprimere una teoria senza ambiguità, e un mezzo per studiarne le conseguenze [Latané, 1996] e precisarne le condizioni di validità [Hanneman e Patrick, 1997]; allo stesso tempo, è uno strumento che consente di costruirne di nuove⁴; è una tecnica per lo studio dei sistemi complessi, che riesce – ad esempio – a trattare i cosiddetti fenomeni emergenti⁵; infine, è uno strumento per effettuare esperimenti, anche in situazioni o regioni dello spazio dei parametri inaccessibili nella realtà [Bankes, 2002; Lempert et al., 2003], o nel caso sia eticamente impraticabile o pericoloso effettuare uno studio su persone reali [Parisi, 2001; Gilbert e Troitzsch, 2005, pp. 4-6]. I modelli simulativi possono essere classificati seguendo diversi criteri. Uno di questi è, ad esempio, il livello di astrazione / specificità. Ma si può distinguere anche tra modelli analo-

gici e digitali, con attori umani o senza [Bruschi, 1971, pp. 214-216]; nonché tra modelli intellettivi ed emulativi, stocastici e deterministici, parametrizzati ed euristici, enumerativi e Monte Carlo [Carley, 1996, pp. 7-10]. La distinzione essenziale, tuttavia, è quella tra modelli orientati alla *previsione* e modelli orientati alla *spiegazione* [Moretti, 1999, p. 19]. I primi si concentrano sugli esiti prodotti dall'esecuzione del modello nel tempo, per effetto di un cambiamento dei parametri iniziali. I secondi sono interessati all'individuazione dei "meccanismi" elementari che sottostanno a un fenomeno sociale. L'idea è che, se si riescono a riprodurre in un computer gli esiti d'un fenomeno sociale reale, è perché tali "meccanismi" fondamentali, di tipo generativo, sono stati individuati, almeno fino a prova contraria [Epstein, 2000, 2006]. Questo secondo approccio si rivela molto utile nel testare una teoria [Conte, 1997]. Per poter istruire il computer, infatti, «le teorie devono essere necessariamente formulate in modo chiaro, esplicito, completo, dettagliato perché altrimenti il programma non si può scrivere oppure semplicemente non gira. In altre parole vaghezze, incompletezze, contraddizioni, vengono subito a galla» [Parisi, 1999, p. 68]. In questo senso, la simulazione ha un valore, per così dire, "maieutico". Essa consente, nella fase di costruzione del modello, «di estrarre la conoscenza consapevole o no che, in un certo mondo, hanno sia gli attori che ne fanno parte, sia gli studiosi. In molti casi, e non solo nei più semplici, la costruzione del modello di simulazione è di per sé produttiva di indirizzi per la soluzione di problemi noti o latenti» [Terna, 2003, p. 350].

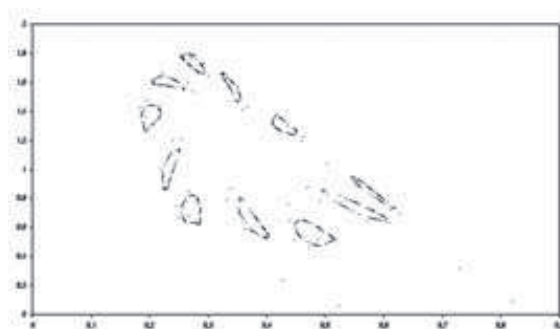
Tecnica di simulazione	Numero di livelli	Numero degli agenti	Complessità degli agenti	Comunicazione tra gli agenti
<i>Sistemi dinamici e sistemi mondo</i>	1	1	Bassa	No
<i>Microsimulazione</i>	2	Molti	Alta	No
<i>Modelli sequenziali (Queuing models)</i>	1	Molti	Bassa	No
<i>Simulazione multilivello</i>	2+	Molti	Bassa	Dipende
<i>Automi cellulari e artificial life</i>	2	Molti	Bassa	Sì
<i>Modelli multi-agente</i>	2+	Molti	Alta	Sì
<i>Modelli evolutivi (Learning models)</i>	2+	Molti	Alta	Dipende

Tabella 1 – Un confronto fra tecniche di simulazione nelle scienze sociali

Fonte: Gilbert e Troitzsch, 2005, p. 13, con modifiche

Una classificazione più articolata delle tecniche simulate è stata proposta da Gilbert e Troitzsch [2005], prendendo in considerazione alcune caratteristiche fondamentali quali: il numero dei livelli d'interazione e spiegazione, il numero di agenti, la loro complessità, e infine la possibilità che essi comunichino o meno fra loro. Con riferimento a tali variabili, dunque, avremo: 1) i sistemi dinamici (*system dynamics*) e i sistemi mondo (*world systems*); 2) la microsimulazione; 3) i modelli sequenziali (*queuing models*); 4) i modelli multilivello (*multi-level models*); 5) gli automi cellulari (*cellular automata*); 6) i modelli multi-agente; 7) e i modelli evolutivi (*learning models*) (cfr. la Tab. 1).

Si possono individuare dieci fasi idealtipiche nella costruzione di un modello simulativo [Trobia, 2001, pp. 224-229], di cui le prime cinque costituiscono tutte assieme il momento della *modellizzazione* e le altre cinque il momento della *verifica ed esecuzione*: 1) l'identificazione delle caratteristiche essenziali della realtà da includere nel modello (le cosiddette "prestazioni essenziali" [Moretti, 1999, p. 155]), preferendo modelli parsimoniosi, semplici ed eleganti; 2) la definizione del livello di astrazione del modello (micro, meso, macro), che comporta anche la scelta del numero e del tipo di unità d'analisi e delle relazioni che fra queste devono intercorrere; 3) la scelta dell'architettura (*system dynamics*, microsimulazione, modelli multi-agente, ecc.) (cfr. la Tab. 1); 4) la scelta dell'ambiente e del linguaggio di programmazione (STELLA, VENSIM, SWARM, REPAST, NET-LOGO, MASON, ecc.); 5) la costruzione del modello, la scrittura del codice, e la scelta dei parametri iniziali (in quest'ultimo caso, si può ricorrere o a dati reali ottenuti attraverso fonti primarie e secondarie, o alla generazione di distribuzioni di valori casuali derivati dalla curva di Gauss o da una distribuzione di Poisson, oppure ancora basati su simulazioni Monte Carlo, *bootstrapping*, ecc. [cfr., ad esempio, Mooney e Duval, 1993]); 6) la validazione, che potrebbe richiedere tempi molto lunghi (cfr. oltre); 7) l'analisi degli *output*, sia in termini statistici sia in termini iconici o di animazioni computerizzate (cfr. la Fig. 2) [Byrne, 1997]; 8) la sperimentazione con parametri diversi; 9) l'eventuale affinamento del modello; 10) e, infine, la pubblicazione dei risultati.



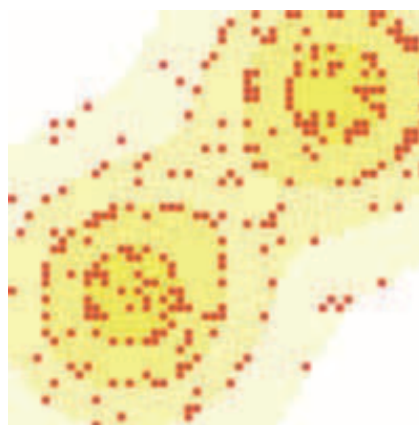
System dynamics (Excel)



Automati cellulari (Applet Java)



Sistemi mondo (Stella)



Modelli multi-agente (NetLogo)

Figura 2 – Output grafici di alcuni tipi di modelli simulativi

Quest'ultima fase necessita di requisiti peculiari, in quanto molto spesso gli scritti sono accompagnati da

grafici con molti colori, animazioni ed altri formati multimediali. La sede naturale per questo tipo di lavori, pertanto, è la rivista elettronica pubblicata in rete. Una delle più importanti è il *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* (JASSS)⁶.

2. Lo statuto epistemologico della simulazione e le grandi fratture delle scienze sociali

Il metodo simulativo si colloca al centro di alcune fratture paradigmatiche che caratterizzano da sempre le scienze sociali: statica vs dinamica, positivismo vs interpretativismo, qualità vs quantità, azione vs struttura, micro vs macro, con l'obiettivo esplicito di ricomporle.

Anzitutto, quale che sia la tecnica di simulazione impiegata, tutti i modelli ricevono degli *input* e producono degli *output*. Gli *input* sono spesso dati provenienti dal mondo reale, ottenuti attraverso fonti di tipo secondario o ricerche sul campo. Gli *output* sono gli esiti del comportamento del modello nel tempo. In questo senso, «le simulazioni permettono di studiare ogni fenomeno umano da un punto di vista genetico, storico, cercando di capirlo prima di tutto nella sua genesi e attraverso la ricostruzione (simulazione) di come esso è divenuto nel tempo quello che è adesso. Perciò non ci sono più scienze dell'uomo storiche e scienze dell'uomo non storiche, ma c'è una sola scienza dell'uomo e delle società umane che studia il diventare nel tempo e il cambiare nel tempo dei fenomeni riguardanti gli esseri umani» [Parisi, 2001, p. 259]. Questo recupero della dimensione diacronica offre alle scienze sociali un'opportunità unica, ed è uno degli elementi che possono contribuire a unificarne alcune fratture fondamentali: «il metodo della simulazione può aiutare a conciliare la visione ideografica del pensiero sociologico, con la visione nomologica, poiché prende in considerazione la fluidità storica, ma sempre partendo da un modello generale sottostante» [Moretti, 1999, p. 29]. Ciò avviene, ad esempio, attraverso l'esplorazione di scenari diversi, la produzione di effetti imprevisti, ecc. [Lempert et al., 2003; Cioffi-Revilla, 2010b].

Da un punto di vista epistemologico, la simulazione, in quanto estensione del conoscere per modelli, può es-

sere considerata l'essenza stessa del metodo scientifico [Scardovi, 1996]. Quest'ultimo si è tradizionalmente avvalso di tre grandi famiglie di linguaggi e strumenti d'indagine: la matematica, la statistica e il calcolo al computer (*computation*) [Cioffi-Revilla, 2010a, p. 259]. Il metodo simulativo fa ricorso essenzialmente alla terza, occupando un posto a parte nella tassonomia degli approcci alla ricerca empirica nelle scienze sociali [Ricolfi, 1997, pp. 35-38]. Le scienze sociali computazionali, di cui sono stati pionieri, tra gli altri, Simon, Deutsch, Guetzkow e Schelling, si sono affermate, intorno alla metà del Novecento, con l'avvento dei primi computer. Esse riguardano «lo studio integrato e interdisciplinare, attraverso strumenti di computazione avanzata, dei sistemi sociali, intesi come strutture di elaborazione dell'informazione» [Cioffi-Revilla, 2010a, p. 260]. Il paradigma computazionale, nelle scienze sociali, si propone una duplice finalità [*ibid.*]: teorica (facendo riferimento, e cercando di superare, la prima cibernetica di Ashby, Wiener, Shannon e von Bertalanffy) e metodologica.

Il metodo simulativo è certamente apparentato sia con il positivismo, sia con l'epistemologia genetica, sia con l'interpretativismo, sia con il realismo [Halfpenny, 1997; Trobia, 2001a, pp. 213-216; Lansing, 2002; Sawyer, 2003], mirando a realizzare una sostanziale unità metodologica fra scienze della natura e scienze dell'uomo [Gintis, 2007]. La simulazione, dunque, «non impone alcun approccio teorico al ricercatore: può assistere approcci fenomenologici o sistemici, epistemologie realiste o relativiste. [...] Tuttavia, esso chiede sempre al ricercatore di specificare le sue idee con sufficiente precisione, in modo da consentire la traduzione del modello in un programma per computer» [Gilbert, 1997, § 1.3].

Le tecniche simulate si propongono anche come un ponte possibile fra approcci qualitativi e approcci quantitativi [cfr. Neresini, 1998; Manzo, 2004, pp. 194-196]. Ciò è possibile perché, ad esempio, utilizzano un linguaggio, quello dell'informatica, che sta a metà strada tra quello naturale e quello matematico [Halpin, 1999], garantendo un'alta compatibilità fra discipline diverse. In primo luogo, i linguaggi di programmazione sono più espressivi e meno astratti della maggior parte delle tecniche matematiche. In secondo luogo, i programmi per computer riescono a trattare meglio e più facilmente processi paralleli o senza un ordine predefinito, com'è il caso dei processi sociali. In terzo luogo, i pro-

grammi per computer possiedono una struttura modulare che agevola la correzione e il frequente aggiornamento del modello. In ultimo, grazie ai computer risulta di gran lunga più facile costruire modelli simulativi con agenti (che – come vedremo – sono entità computazionali) anche molto eterogenei fra loro, e più o meno dotati di razionalità [Gilbert e Troitzsch, 2005; Taber e Timpone, 1996].

Un tentativo concreto di far dialogare approcci qualitativi e approcci quantitativi riguarda, poi, la costruzione di modelli derivati – ad esempio – dai risultati di ricerche etnografiche [Agar, 2003, 2005], oppure dall'integrazione tra simulazione e prospettive teoriche quali la *grounded theory* o l'interazionismo simbolico [cfr., ad esempio, Strübing, 1998].

La simulazione, infine, permette anche di affrontare il problema della classica frattura tra individualismo e collettivismo, riduzionismo e olistico, micro e macro livelli di spiegazione, utilizzando un approccio alternativo sia all'analisi dei casi sia all'analisi delle variabili [Gilbert, cit. in Manzo, 2004, p. 194]. La possibilità di ricomporre la faglia micro/macro ruota attorno alla nozione di *emergenza*. Quest'ultima è una proprietà di tutti i sistemi complessi [Waldrop, 1992], e si presenta quando l'interazione fra un certo numero di elementi, a un certo livello, produce entità di natura diversa a un livello superiore, analiticamente imprevedibili [Mihata, 1997]. «Più precisamente, un fenomeno si dice emergente, quando richiede nuove categorie per essere descritto» [Gilbert e Troitzsch, 2005, p. 11]. Quando, ad esempio, si fondono due molecole di idrogeno e una di ossigeno si forma l'acqua. Essa è un effetto emergente, che ha proprietà nuove. Si pensi all'umidità, che è una proprietà dell'acqua e non dei due gas dei quali è composta.

Il concetto di emergenza pone almeno tre questioni. La prima riguarda i suoi tipi e livelli. Si può parlare di emergenza *diacronica* o *evolutiva*, *formale* o *stratificata*, *rappresentazionale*, e infine *adattiva* [Castelfranchi, cit. in Gilbert e Conte, 1995, pp. 9-12]. Il problema principale qui è quello di riuscire a distinguere tra l'emergenza prodotta, ad esempio, da una colonia d'insetti, e quella che si viene a determinare per effetto dell'interazione fra gli individui. La seconda questione è se emergenza e riproduzione siano associate (come vuole Giddens [1984]) oppure distinte (come vuole Archer [1995]). La terza questione riguarda la risoluzione di alcuni impor-

tanti aspetti computazionali, che hanno essenzialmente a che fare con la traduzione delle nozioni di autopoesi e autorganizzazione. Per quanto riguarda il primo punto, la differenza è che, mentre assumiamo che gli insetti agiscano inconsapevolmente (essi seguono semplicemente il loro istinto e nel far questo danno luogo a una colonia), gli individui invece sono in grado di riconoscere, ragionare su, e reagire con le istituzioni che hanno prodotto, e cioè con le stesse proprietà emergenti [Gilbert, 1995, p. 151]. Tali istituzioni, che prendono la forma di linguaggi, sistemi di norme, governi, chiese, accordi economici, ecc., sono tipiche delle società umane, e le distinguono da quelle animali o di altro genere. Gli attori sociali riescono a distinguere schemi di azione collettiva, e le loro azioni sono a loro volta influenzate dall'esistenza e dal riconoscimento di questi schemi [Gilbert e Troitzsch, 2005, pp. 11-12]. L'emergenza di tali istituzioni riflessive è detta *emergenza di secondo livello* (*second-order emergence*) [Gilbert, 1995]. Quanto al secondo punto, le simulazioni sin qui condotte mostrano che emergenza e riproduzione non sono necessariamente processi distinti e non richiedono teorie diverse: i fenomeni macro, simili agli stati d'equilibrio dell'economia, emergono e vengono riprodotti attraverso le stesse dinamiche a livello micro [Sawyer, 2003, p. 339]. Infine, per ciò che concerne il terzo punto, lo strumento che si è dimostrato meglio in grado di trattare i fenomeni complessi ed emergenti è proprio quello della simulazione al computer [Gilbert, 1995].

Di recente, è stata introdotta anche la nozione di *immergenza* [cfr., ad esempio, Conte et al., 2007]. «Con essa si intende enfatizzare come non sia solamente opportuno studiare l'emergere del macro dal micro, ma anche il caso contrario. Secondo i sostenitori dell'immergenza, le proprietà sociali del livello macro, quali le norme, ad esempio, arrivano a determinare nuove proprietà cognitive nel comportamento dell'agente, influenzando, ad esempio, l'adozione di scopi, oppure divenendo struttura di significato su cui poggia l'elaborazione dell'azione individuale, con il risultato che queste proprietà macro possano essere riprodotte, amplificate e supportate intenzionalmente o meno da parte degli agenti stessi che le hanno generate» [Squazzoni, 2008, pp. 50-51].

3. Origini e sviluppo della simulazione nelle scienze sociali

I primi studi simulativi nelle scienze sociali sono stati pubblicati tra la fine degli anni Cinquanta e l'inizio degli anni Sessanta. Halpin [1999] fa risalire la prima pubblicazione sul tema a Guetzkow e Bowes [1957]. Nel 1962, lo stesso Guetzkow cura il primo *reader* inerente la simulazione, che tra gli altri include un importante saggio di Coleman, sancendo ufficialmente la nascita del nuovo filone d'indagine [Guetzkow, 1962]. Gran parte di questi primi lavori rientrano nell'ambito della scienza della politica, delle relazioni internazionali e delle politiche di sicurezza [cfr., ad esempio, Orcutt et al., 1961; Benson, 1961, 1962; Coleman, 1962; Brody, 1963; Guetzkow et al., 1963; Bodrow e Schwartz, 1968; Alker e Brunner, 1969; Barton, 1970; Phillips, 1971; Schelling, 1971, 1978; per una ricostruzione, cfr. Pepinsky, 2005 e Johnson, 1999].

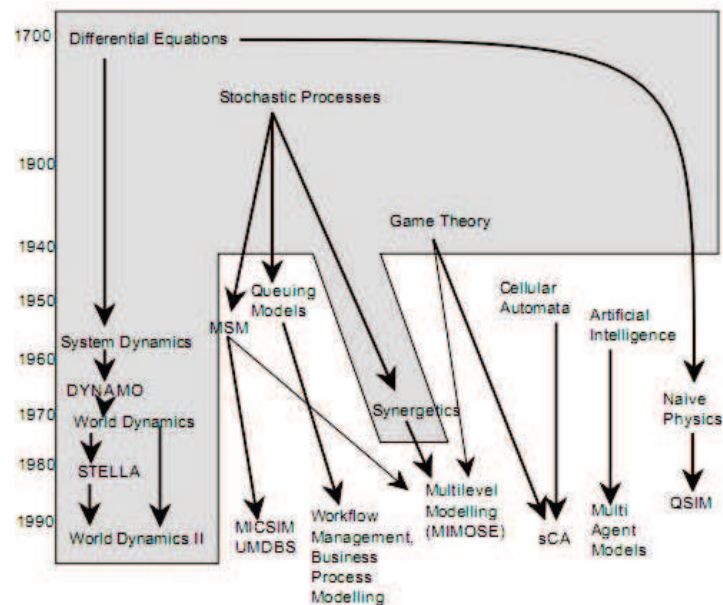


Figura 3 – Lo sviluppo della simulazione nelle scienze sociali (in grigio gli approcci basati su equazioni)

Fonte: Gilbert e Troitzsch, 2005, p. 7

Prima dell'avvento dei computer, gli studi simulativi si muovono quasi esclusivamente nell'ambito della cosiddetta *microsimulazione*, una tecnica sviluppata per investigare le conseguenze sulla popolazione delle politiche di Welfare [Troitzsch et al., 1996; per una breve

introduzione, cfr. Gilbert e Troitzsch, 2005, Cap. 4]. La microsimulazione sfrutta fonti secondarie di tipo statistico (dati ufficiali, risultati di inchieste e sondaggi, studi di *panel*, serie storiche tratte da ricerche longitudinali), per costruire modelli predittivi. I suoi risultati, tuttavia, sono stati spesso oggetto di discussione. Questi modelli possiedono più sapere tecnico che teoria, e – giacché hanno avuto origine e si sono sviluppati nell’ambito delle scienze economiche – spesso non risultano adeguati a trattare questioni di natura squisitamente sociologica. Essi, inoltre, soffrono di alcuni dei difetti tipici delle vecchie tecniche di indagine statistica (linearità, rigido determinismo, etc.) [Troitzsch et al., 1996].

Halpin [1999] individua due importanti tradizioni che hanno influenzato la nascita degli studi simulativi attuali nelle scienze sociali (la Fig. 3 mostra una mappa aggiornata di queste tecniche). La prima deriva dalla teoria dei sistemi dinamici (*system dynamics*) [Forrester, 1973]. A questa tradizione, che per molto tempo ha costituito il paradigma simulativo per antonomasia, appartengono le simulazioni, basate su equazioni, che riguardano i fenomeni demografici, dove la relativa semplicità dei processi sottostanti (tassi di nascita, tassi di mortalità, etc.) insieme al carattere relativamente caotico osservato nelle dinamiche della popolazione rendono la simulazione una prospettiva promettente [Hanneman, 1988]. La seconda tradizione proviene dalla teoria dei giochi, dalla psicologia sociale, dalla teoria dell’organizzazione e delle relazioni internazionali. A questa tradizione si rifanno i modelli con “agenti” più o meno “intelligenti” [Gilbert, 2008; Weiss, 1999; Conte, Gilbert e Sichman, 1998]. Hanneman e Patrick [1997, § 4.2] sintetizzano in questi termini le due tradizioni: «alcuni modellisti, coerenti con la tradizione proveniente dalle scienze matematiche, fisiche e demografiche e dalla teoria dei sistemi, costruiscono modelli basati su sistemi di equazioni che descrivono le relazioni ipotizzate fra le variabili prese in considerazione. Altri modellisti, più vicini alla teoria dei giochi, alla sperimentazione in laboratorio e alla ricerca su piccoli gruppi, costruiscono modelli basati su agenti che interagiscono fra loro. La distinzione fra l’approccio modellistico basato su agenti e quello basato su variabili è interessante, richiamando alcune grandi fratture nelle scienze sociali: macro vs micro, e struttura vs azione». La prospettiva macro è oggi promossa dalla cosiddetta *socionica* [Müller, Malsch e

Schultz-Schaeffer, 1998; Malsch, 2001; Fischer, Florian e Malsch, 2005], che si propone di trasformare le teorie e i concetti della sociologia in programmi per computer, vuole studiare il legame esistente tra la questione della scalabilità dei sistemi (tipica della matematica frattale) e il problema micro-macro, e infine intende suggerire l'uso della sociologia per lo sviluppo dell'informatica.

L'interesse degli scienziati sociali per la simulazione è letteralmente esploso negli anni Novanta⁸, dopo un lungo periodo di disinteresse (e spesso di sospetto) da parte della comunità sociologica [Halpin, 1999]. In questi anni, è avvenuto tuttavia un importante cambiamento di prospettiva: gli scienziati sociali, infatti, hanno cominciato ad avvalersi della simulazione non più solo a scopi predittivi, ma anche e soprattutto per comprendere e spiegare alcuni meccanismi fondamentali della socialità [Halpin, 1999; Gilbert e Troitzsch, 2005, p. 6]. I fattori che hanno promosso il successo della simulazione negli ultimi anni sono numerosi [Cioffi-Revilla, 2010a; Halpin, 1999; Gilbert e Troitzsch, 2005]: la disponibilità di computer sempre più potenti, capaci di effettuare gli impegnativi calcoli necessari a far "girare" una simulazione; lo sviluppo di *software* più intuitivi per la programmazione dei modelli; una maggiore disponibilità di dati, anche di tipo longitudinale; l'organizzazione di numerosi convegni internazionali e la nascita di associazioni come l'ESSA (*European Social Simulation Association*)⁹, la NAACSOS (*North American Association for Computational Social and Organizational Sciences*)¹⁰, e la PAAA (*Pacific Asia Association for Agent-Based Social Systems Sciences*)¹¹; la nascita di alcune riviste specializzate (ad esempio, il *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, *Computational and Mathematical Organization Theory*, *Social Science Computer Review*, *Advances in Complex Systems*, e in Italia *Sistemi Intelligenti*); e, infine, i numeri monografici di tradizionali e prestigiose riviste sociologiche.

4. La simulazione multi-agente

I modelli multi-agente (*Multi-Agent Systems* o *Agent-based modeling*) sono i modelli simulativi che fino ad ora hanno prodotto i risultati migliori nelle scienze sociali, e attualmente sono i più diffusi [Gilbert, 2008; Squazzoni, 2008]. Sono modelli molto eterogenei: i più semplici

non sono altro che un'evoluzione dei cosiddetti *automi cellulari*², mentre i più complessi si basano sul concetto di *intelligenza artificiale distribuita* (DAI), e consistono «nello studio, nella costruzione, e nell'applicazione di sistemi [...] in cui diversi agenti intelligenti e interagenti perseguono un qualche insieme di obiettivi o svolgono un certo set di compiti» [Weiss, 1999, p. 1]. I modelli DAI concentrano la propria attenzione sull'intelligenza in quanto proprietà sia del sistema sia delle sue parti.

Un modello ad agenti è «un metodo computazionale che consente di usare il computer per indagare un dato fenomeno sociale macro attraverso la rappresentazione di regole di comportamento micro seguite da agenti che interagiscono all'interno di vincoli ambientali macro, siano essi di tipo geografico, spaziale, strutturale e/o istituzionale» [Squazzoni, 2008, p. 19]. I MAS sono caratterizzati da [Epstein, 2000, p. 178]: *eterogeneità, autonomia, razionalità limitata degli agenti* (in termini di informazioni disponibili o di capacità computazionale), *interazioni locali*, e uno *spazio esplicito* (ad esempio, un paesaggio di risorse rinnovabili, una griglia *n*-dimensionale o una rete sociale dinamica). Esistono, essenzialmente, tre tipi di modelli ad agenti [Squazzoni, 2008, pp. 35-38]: le *simulazioni empiriche*, che si occupano di fenomeni concreti e spesso cercano di suggerire soluzioni o politiche d'intervento sociale; i *modelli astratti*, che all'opposto mirano ad una comprensione generale dei fenomeni sociali; e, infine, i *modelli di medio raggio*, che stanno a metà strada tra i primi due.

L'elemento più problematico delle società artificiali riguarda senza dubbio la nozione di *agente* [Wooldridge e Jennings, 1995; Russell e Norwig, 1995, Cap. 2; Huhns e Singh, 1998], che non va confusa con quella adottata nella teoria sociologica. Tale concetto viene adottato in un vasto numero di discipline, nell'ambito delle quali assume significati diversi. Gli agenti computerizzati, che possono essere qualsiasi cosa: un codice genetico, un neurone, una persona, un gruppo, un'azienda, uno stato o un ecosistema, hanno tipicamente le seguenti caratteristiche [Wooldridge e Jennings, 1995; Squazzoni, 2008, pp. 22-23]: *eterogeneità, autonomia, reattività* (sono in grado di rispondere a stimoli ambientali), *proattività* (sono capaci di azioni autodirette, anche sulla base di processi inferenziali del tipo *if-then* e della conoscenza o rappresentazione interna dell'ambiente e degli altri agenti), *abilità sociali* (sono in grado di comunicare),

memoria. A queste caratteristiche essenziali vengono talvolta aggiunte caratteristiche quali credenze, desideri, motivi, e persino emozioni [Gilbert e Troitzsch, 2005, pp. 173-177]. Ovviamente, gli agenti non possiedono realmente queste caratteristiche, essi sono progettati per simularle. Secondo Weiss [1999, p. 1], «un agente è un'entità computazionale, quale può essere un *software* o un automa, in grado di percepire il, e agire sul, proprio ambiente. Tale entità è autonoma, nel senso che il suo comportamento, almeno in parte, dipende dalla propria esperienza», e non è guidato dall'uomo o da altri sistemi esterni all'agente. Nel caso della DAI, le azioni degli agenti sono in genere dirette al perseguimento di un obiettivo collettivo, che può essere raggiunto attraverso la *cooperazione*, quando questo è unico (in questo caso, gli agenti vengono programmati per “comunicare” e “negoziare” con gli altri agenti); oppure attraverso la *competizione*, quando gli obiettivi sono più di uno e confliggenti (in questo caso, gli agenti vengono programmati con *routine* di *rational decision-making*, che prendono in prestito alcuni strumenti della teoria dei giochi). Naturalmente, esistono anche delle soluzioni intermedie.

Nell'ambito dei modelli multi-agente, si distingue fra agenti *reattivi* e agenti *cognitivi* [Sawyer, 2003, pp. 329-330]:

- i primi non possiedono alcuna rappresentazione interna del mondo (sia con riferimento agli altri agenti, sia con riferimento all'ambiente fisico). Non hanno fini espliciti, e non sono in grado di ragionare in termini di rapporto mezzi/fini. Essi sono anche detti *behavioral agents*, in quanto rispondono direttamente, senza altre mediazioni, agli stimoli che provengono dall'ambiente;
- i secondi hanno credenze e conoscenze riguardanti sia l'ambiente fisico, sia gli altri agenti. Possiedono fini espliciti e sono capaci di “ragionare” su come raggiungerli. Inoltre, sono in grado di comunicare tra loro. Essi vengono così definiti anche agenti *intenzionali* o *deliberativi*.

Terna [2003, p. 360] preferisce distinguere tra agenti “senza mente” e agenti “con mente”, a seconda che essi possiedano o meno delle capacità di adattamento. Tali capacità possono essere molto limitate o tali da produr-

re processi cognitivi di alto livello (in genere, attraverso il ricorso alle reti neurali) [cfr., ad esempio, Parisi, Cecconi e Cerini, 1995]. Il tipo di agente impiegato in una simulazione e la strutturazione dell'ambiente nel quale si muove, determina anche la qualità dei risultati ottenuti (cfr. la Tab. 2). Il fatto che gli agenti siano in grado di interagire fra loro e con l'ambiente, li rende capaci di "adattarsi" e "imparare" dall'esperienza. L'ambiente assume, dunque, un ruolo molto importante e il comportamento dell'agente deve essere visto come emergente dalle interazioni che sviluppa con esso. Poiché, inoltre, gli agenti non hanno una conoscenza completa dell'ambiente, la stessa azione eseguita due volte può produrre risultati diversi e viceversa (*principio di equifinalità*) [Sawyer, 2003, p. 328].

I modelli ad agenti più sofisticati sono in grado di generare "mentalismi" (coscienza e memoria sociale, razionalità e intelligenza collettiva), sistemi di potere, strutture sociali persistenti, culture e artefatti cognitivi. In questo caso, gli agenti sono in grado di condividere, acquisire, scambiarsi e centralizzare beni. E si possono auto-organizzare secondo una prospettiva evolutiva (o meglio, coevolutiva), o attraverso processi di adattamento basati sulla selezione e mutazione dei caratteri biologici e culturali, ereditati e appresi [Parisi, 1999, 2001; Weiss, 1999]¹³.

	Ambiente non strutturato	Ambiente strutturato
Agenti senza mente	risultati aggregati complessi, e rischio di poca plausibilità dei risultati	risultati aggregati complessi e plausibili
Agenti con mente	risultati aggregati complessi e plausibili	risultati aggregati complessi e plausibili, eventualità di risultati di rilievo a livello micro-individuale

Tabella 2 – Tipo di risultati in base alla complessità degli agenti e dell'ambiente

Fonte: Terna, 2003, p. 369

L'intelligenza degli agenti ha a che vedere con l'ottimizzazione delle loro *performance*. Essa non comporta alcuna onniscienza, onnipotenza o infallibilità [Weiss,

1999, p. 2]. Gli agenti, infatti, possiedono una conoscenza incompleta dell'ambiente; hanno dei vincoli alla propria azione; controllo e informazione sono distribuiti e non centralizzati [Jennings, Sycara e Wooldridge, 1998]. «Le capacità richieste all'agente sono in linea con le caratteristiche proprie dei modelli a razionalità limitata, in quanto a *set* informativo e capacità computazionali» [Terna, 2003, pp. 365-366]. L'agente non deve essere dotato di un bagaglio di conoscenze, bensì di strumenti che gli permettano di accrescere le proprie informazioni interagendo con l'ambiente e con gli altri agenti [Moretti, 1999, p. 103].

Gli agenti impiegati nelle simulazioni sono definiti da tre elementi essenziali: memoria, obiettivi (*goals*), e regole condizionali del tipo *if-then*¹⁴. «La memoria è necessaria perché l'agente possa ricordare l'esperienza passata e pianificare sulla base di questa. Gli *obiettivi* sono definiti in funzione delle mete, le quali possono essere estremamente semplici, come la sopravvivenza in un ambiente ostile dove il cibo e le riserve di energia sono scarsi, oppure più complesse e in competizione fra loro. Il *set di regole* definisce il comportamento dell'agente. La parte condizionale di ogni regola viene confrontata con il contenuto della memoria e con gli *input* che giungono ai sensori ambientali. Se la condizione viene soddisfatta, allora viene compiuta l'azione corrispondente. Essa può essere "interna", e in questo caso riguarda solo lo stato della memoria dell'agente, oppure "esterna", e in questo caso riguarda l'ambiente circostante. Per esempio, la trasmissione nell'ambiente di un messaggio rivolto ad un altro agente» [Gilbert, 1993, p. 3].

Una volta definiti questi tre elementi, il programma di simulazione può esser fatto "girare". Esso passa in rassegna ogni agente, aggiornandone lo stato interno in risposta ai messaggi mandati da altri agenti o alle mutate condizioni ambientali, verificando la possibilità di applicare una certa regola e decidendo su eventuali azioni da far compiere all'agente stesso; infine, comunicando messaggi ed effetti di tale azione all'ambiente circostante, che risponderà di conseguenza. Il ciclo viene ripetuto fino a quando la simulazione viene fermata dal ricercatore o si è raggiunto un equilibrio, o tutti gli agenti sono "morti" [*ibid.*].

Il fenomeno prodotto è una computazione collettiva. «La convergenza verso norme sociali, verso distribuzioni di strategie (nei giochi a n-persone), o verso configu-

razioni stabili di tipo culturale o perfino di insediamento [...], sono esempi di *computazioni sociali*» [Epstein, 2000, p. 189]. Tuttavia, i modelli multi-agente, come altre tecniche simulative, oltre a perseguire obiettivi di natura quantitativa, si pongono esplicitamente in una prospettiva qualitativa. Basti pensare al fatto che spesso l'*output* principale di questo tipo di modelli è costituito da animazioni computerizzate, che vengono lette e interpretate dal ricercatore¹⁵. Harvey e Reed [1996, p. 309] hanno parlato, a tal proposito, di “metodo pittorico”, in quanto basato su corrispondenze visive piuttosto che sul ragionamento deduttivo. Questi modelli, inoltre, sono interdisciplinari. Essi possono mettere assieme la psicologia con la sociologia, l'economia con la genetica, l'antropologia con la biologia, abbattendo le barriere tra discipline diverse, come vuole un'ottica *connessionista*.

Ambiente	Sito web	Difficoltà
Swarm	http://www.swarm.org/index.php/Swarm_main_page	*****
RePast	http://repast.sourceforge.net/	****
Ascape	http://ascape.sourceforge.net/	****
AgentSheets	http://www.agentsheets.com	*
StarLogo	http://education.mit.edu/starlogo/	**
NetLogo	http://ccl.northwestern.edu/netlogo/	**
MASON	http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/	****

Tabella 3 – Principali ambienti di programmazione per modelli multiagente

Gli ambienti di programmazione più diffusi per la costruzione di modelli multiagente sono: SWARM, REPAST, ASCAPE, AGENTSHEETS, STARLOGO, NETLOGO, e MASON (cfr. la Tab. 3). Il più complesso in assoluto è SWARM, con il quale, però, è possibile ottenere i risultati migliori. Esso è il punto di riferimento per tutti gli altri ambienti di programmazione, ma per poterlo utilizzare al meglio è necessario conoscere il linguaggio di programmazione *Objective-C* o Java, che sono piuttosto difficili da imparare; sicché l'accesso a SWARM è in genere proibitivo per la maggior parte dei sociologi. Lo stesso vale, anche se in misura minore, per REPAST e ASCAPE, che richiedono la conoscenza del linguaggio Java, di cui rappresentano un'estensione in termini di strumenti e librerie dedicate. AGENTSHEETS, invece, è un programma commerciale, che permette una introduzione ai modelli simulativi molto semplice e intuitiva, anche se talora a scapito del-

References

- AGAR, M.H. (2003) "My kingdom for a function: Modeling misadventures of the innumerate", in *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 6, n. 3, <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/3/8.html>>.
- , (2005) "Agents in Living Color: Towards Emic Agent-Based Models", in *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 8, n. 1, <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/8/1/4.html>>.
- ALKER, H.R. JR., BRUNNER, R.D. (1969) "Simulating international conflict: a comparison of three approaches", in *International Studies Quarterly*, vol. 13, n. 1, pp. 70-110, <<http://college.usc.edu/labs/alker/documents/simulatingintlconflict.PDF>>.
- ARCHER, M.S. (1995) *La morfogenesi della società. Una teoria sociale realista*, trad. it. Milano Franco Angeli, 1997.
- ARNOLD, E. (2008) *Explaining Altruism: A Simulation-Based Approach and its Limits*, Frankfurt, Ontos Verlag.
- AXELROD, R. (1995) "A Model of the Emergence of New Political Actors", in Gilbert, N., Conte, R. (a cura di), *Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Life*, London, UCL Press.
- , (1997) *The complexity of cooperation. Agent-based models of competition and cooperation*, Princeton Princeton University Press.
- BALCI, O. (1994) "Validation, verification, and testing techniques throughout the life cycle of a simulation study", in *Annals of Operations Research*, n. 53, pp. 121-173.
- BANKES, S.C. (2002) "Tools and techniques for developing policies for complex and uncertain systems", in *Proceedings of the*
- la flessibilità modellistica. STARLOGO e NETLOGO, rappresentano una sofisticata evoluzione dei cosiddetti *automi cellulari*. Fra i due, NETLOGO è il più evoluto, pur essendo il suo linguaggio piuttosto accessibile, il che ne ha decretato il successo fra gli studiosi di scienze sociali¹⁶. MASON, infine, è l'ambiente di programmazione più recente, e raccoglie in qualche modo le migliori esperienze degli ambienti di programmazione qui citati, ma – come altri ambienti – non è molto facile da usare.
- L'aspetto più interessante della simulazione multi-agente per la sociologia e le altre scienze sociali riguarda la possibilità d'integrazione tra micro e macro analisi, tra individualismo e collettivismo [Squazzoni, 2008, pp. 193-196; Macy e Willer, 2002; Epstein, 2000, 2006; Sawyer, 2001, 2003; Saam, 1999], in particolare seguendo il percorso micro-macro-micro proposto dalla cosiddetta sociologia analitica [Barbera, 2004; Hedström, 2005; Squazzoni, 2008, p. 22], e utilizzando un approccio alternativo sia all'analisi dei casi sia all'analisi delle variabili [Gilbert, cit. in Manzo, 2004, p. 194]. Sembra, così, finalmente attualizzarsi «il tentativo di rendere più ricca l'analisi statistica dei dati combinandola sistematicamente con una sociologia dell'azione teoricamente fondata» [Manzo, 2004, p. 196]. L'approccio multi-agente è stato definito da Epstein [2000, p. 180] *generativo*. «Un modello fondato su agenti fornisce una dimostrazione computazionale del fatto che una certa microspeficazione è *sufficiente a generare* la macrostruttura desiderata» [*ibid.*, corsivo nel testo]¹⁷. I modelli multi-agente operano su due livelli diversi [Weiss, 1999, p. 5]: da una parte, utilizzando un approccio *bottom-up*, cercano d'individuare le caratteristiche degli agenti che possono generare un certo comportamento collettivo; dall'altra, utilizzando un approccio *top-down*, cercano d'individuare quali condizioni ambientali, quali vincoli all'azione (nella forma di convenzioni, norme, leggi, ecc.) e quali strutture sociali danno luogo a quali interazioni fra gli agenti a livello individuale. Essi, tuttavia, non si occupano della genesi e dell'evoluzione di tali regole, e questo ne costituisce forse il limite principale. Un altro limite sta nella difficoltà di modellizzare negli agenti emozioni, sistemi di credenze, ecc. Questi obiettivi, infatti, pongono una serie di questioni tecniche e metodologiche ancora oggetto di studio [Jennings, Sycara e Wooldridge, 1998; Weiss, 1999].
- Fra le applicazioni più importanti e feconde, nell'am-

National Academy of Science of the USA 2002, vol. 99, supp. 3, pp. 7263-7266, <<http://www.pnas.org/content/99/suppl.3/7263.full.pdf>>.

BARBERA, F. (2004) *Meccanismi sociali. Elementi di sociologia analitica*, Bologna il Mulino.

BARTON, R.F. (1970) *A primer on simulation and gaming*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.

BAILEY, K.D. (1994) *Sociology and the New Systems Theory. Toward a Theoretical Synthesis*, Albany, State University of New York Press.

BENSON, O. (1961) "A Simple Diplomatic Game", in J.N. Rosenau (a cura di), *International Politics and Foreign Policy*, New York, Free Press of Glencoe Inc., pp. 501-511.

—, (1962) "Simulation in international relations and diplomacy", in H. Borko (a cura di), *Computer Applications in the Behavioral Sciences*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, pp. 574-595.

BODROW, D.B., SCHWARTZ, J.L. (a cura di) (1968) *Computers and the Policy-Making Community*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.

BOSSE, T., GERRITSEN, C. (2008) "Agent-Based Simulation of the Spatial Dynamics of Crime: On the Interplay between Criminal Hot Spots and Reputation", in *Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, AAMAS '08*, ACM Press, pp. 1129-1136, <<http://www.few.vu.nl/~cg/AAMAS08crim-final.pdf>>.

BOWLES, S., GINTIS, H. (2004) "The evolution of strong reciprocity: cooperation in heterogeneous populations", in *Theoretical Population Biology*, vol. 65, n. 1, pp. 17-28.

bito delle scienze sociali, si possono segnalare i contributi riguardanti il lavoro cooperativo e la comunicazione mediata dal computer (CMC) [Weiss, 1999], i comportamenti di voto [ad esempio, Kollman, Miller e Page, 1992], la contrattazione collettiva [Sandholm, 1999], la teoria dell'organizzazione [Carley e Gasser, 1999; Pluchino, Rapisarda e Garofalo, 2010], l'ordine sociale, i dilemmi dell'azione collettiva e della cooperazione, la teoria dei giochi [Squazzoni, 2008, Cap. 2; Bowles e Gintis, 2004; Gotts, Polhill e Law, 2003; Macy e Skvoretz, 1998; Axelrod, 1995, 1997], la genesi, diffusione ed evoluzione delle norme [Conte e Dellarocas, 2001; Conte, 1997], l'altruismo [Sullivan, Luke e Hrolek, 2010; Arnold, 2008; Németh e Takács, 2007; Parisi et al., 1995], la devianza e la criminalità [Gerritsen, 2010; van Baal, 2004], le società primitive e la socialità elementare [Mark, 1998; Epstein e Axtell, 1996; Doran e Palmer, 1995], le relazioni familiari e di parentela [Chattoe, 2002], i comportamenti collettivi e le teorie dell'impatto sociale [Squazzoni, 2008, cap. 3; Latané, 1996; Schelling, 1978], l'epidemiologia [Agar, 2003, 2005], i modelli di congestione del traffico [ad esempio, Helbing e Nagel, 2004] o di evoluzione urbana [Bura et al., 1995; Penn e Dalton, 1994]. Esistono poi moltissimi contributi in ambito economico¹⁸. Una delle costanti rilevate da tutti questi modelli, già peraltro messa in luce dalla teoria dei giochi, è che la microrazionalità non è una condizione sufficiente per l'equilibrio macroscopico [cfr., ad esempio, Epstein, 2000; Sawyer, 2003; Evans, Heuvelink e Nettle, 2003]. «Forse la questione principale non è quanta razionalità vi sia (a livello microscopico), ma quanto poca ne basti per generare l'equilibrio macroscopico» [Epstein, 2000, p. 195, corsivo nel testo].

5. Validità e attendibilità dei modelli simulativi

Il problema più importante da affrontare nell'ambito del metodo simulativo è certamente quello del controllo e della validazione dei modelli, nonché del *software* (cioè del codice) impiegato per effettuare le simulazioni. Nel campo della simulazione, questo problema presenta alcuni aspetti peculiari e controversi. Va peraltro registrata una grande confusione in letteratura, sia concettuale sia

- BRODY, R.A. (1963) "Some systemic effects of the spread of nuclear weapons technology: a study through simulation of a multi-nuclear future", in *Journal of Conflict Resolution*, vol. 7, n. 4, pp. 665-760.
- BRUSCHI, A. (1971) *La teoria dei modelli nelle scienze sociali*, Bologna, il Mulino.
- BURA, S., GUÉRIN-PACE, F., MATHIAN, H., PUMAIN, D., SANDERS, L. (1995) "Cities Can Be Agents too: A Model for the Evolution of Settlement Systems", in Gilbert e Conte (1995), pp. 86-102.
- BYRNE, D. (1997) "Simulation - A way forward?", in *Sociological Research Online*, vol. 2, n. 2, <<http://www.socresonline.org.uk/socresonline/2/2/4.html>>.
- , (2001) "What is Complexity Science? Thinking as a Realist About Measurement and Cities and Arguing for Natural History", in *Emergence*, vol. 3, n. 1, pp. 61-76.
- , (2005) "Complexity, Configurations and Cases", in *Theory, Culture and Society*, vol. 22, n. 5, pp. 95-111.
- CARLEY, K.M. (1996) *Validating Computational Models*, Pittsburgh, Carnegie Mellon University, Department of Social and Decision Sciences, *working paper*, <<http://www.casos.cs.cmu.edu/publications/papers/>>.
- CARLEY, K.M., GASSER, L. (1999) "Computational Organization Theory", in Weiss, G. (a cura di), *Multiagent Systems. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, Cambridge, MA., MIT Press, pp. 299-330.
- CARLEY, K.M., NEWELL, A. (1994) "The Nature of the Social Agent", in *Journal of Mathematical Sociology*, vol. 19, n. 4, pp. 221-262.

terminologica, probabilmente dovuta alle origini recenti di questo campo di studi. In questo paragrafo, cerco di proporre una minima sistematizzazione della materia.

Anzitutto, la validazione (che può avere a che fare con la *verità*, la *bellezza* o la *giustizia*¹⁹ dei modelli [Lave e March, 1993; Taber e Timpone, 1996, Cap. 5]) non può essere limitata alla simulazione finale, ma va estesa a tutte le fasi della ricerca: la definizione del comportamento di un certo *target* (*teorizzazione*), la conversione della teoria in un modello matematico (*formalizzazione*), e la traduzione del modello in uno specifico programma per computer o nel codice di uno specifico ambiente di programmazione (SWARM, NETLOGO, MASON, ecc.) (*implementazione*). Un modello, dunque, potrebbe non risultare valido:

- a causa della teoria;
- a causa di una cattiva traduzione della teoria in un modello;
- a causa di una cattiva traduzione del modello in un programma o in un codice;
- a causa di errori nella stima dei parametri;
- a causa di errori nella rilevazione empirica dei dati che servono a stimare i parametri e a testare la validità d'esito del modello.

Le procedure di validazione dovrebbero consentire al ricercatore di scoprire se i risultati ottenuti sono effetto della teoria, del modello, del programma o dei parametri che sono stati scelti per far girare la simulazione. Quest'ultima dovrebbe essere ritenuta valida solo nel caso in cui i risultati fossero determinati dalla teoria; il programma, infatti, è un mero esecutore di istruzioni, le quali sono suggerite dal modello che implementa la teoria. Qualora invece un certo risultato dovesse dipendere da scelte idiosincratice o da errori commessi in una o più fasi della modellizzazione, tale risultato sarà inconsistente. Come si vedrà più avanti, tuttavia, quest'ultima considerazione non trova d'accordo tutti gli studiosi. La simulazione, per alcuni, infatti, serve anche a scoprire qualcosa cercando qualcos'altro (*serendipity*).

In termini generali, nelle scienze sociali, la *validità* è un giudizio circa il grado di rappresentanza semantica fra le risultanze empiriche della ricerca e il mondo reale, o il grado col quale un certo strumento consente di rilevare ciò che intende rilevare [Corbetta, 2003]. Non

CASTELLANI, B., HAFFERTY, F.W. (2009) *Sociology and Complexity Science: A New Field of Inquiry*, Berlin-Heidelberg, Springer.

CHATTOE, E. (2002) "Computer Simulation of Family Practices", in A. Carling, S. Duncan, R. Edwards (a cura di) *Analyzing Families: Morality and Rationality in Policy and Practice*, London, Routledge, pp. 268-282.

CIOFFI-REVILLA, C. (2002) "Invariance and universality in social agent-based simulation", in *Proceedings of the National Academy of Science of the USA 2002*, vol. 99, suppl. 3, pp. 7314-7316, <<http://www.pnas.org/content/99/suppl.3/7314.full.pdf>>.

—, (2010a) "Computational Social Science", in *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, vol. 2, n. 3, pp. 259-271.

—, (2010b) "MASON RebeLand: An Agent-Based Model of Politics, Environment, and Insurgency", in *International Studies Review*, vol. 12, n. 1, pp. 31-46.

COLEMAN, J.S. (1990) *Foundations of Social Theory*, Cambridge, MA., The Belknap Press of the Harvard University Press.

CONTE, R. (1997) "Il metodo simulativo", in L. Ricolfi (a cura di), *La ricerca qualitativa*, Roma, Carocci, pp. 285-315.

CONTE, R., DELLAROCAS, C. (a cura di) (2001) *Social order in multi-agent systems*, Boston, Kluwer.

Conte, R., Gilbert, N., Sichman, J.S. (a cura di) (1998) *Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation*, Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag.

CONTE, R., ANDRIGHETTO, G., CAMPENNI, M., PAOLUCCI, M. (2007) "Emergent and immergent effect in complex social systems", in *Proceedings of AAAI Symposium, Social and*

esiste una soluzione univoca al problema della validità, e bisogna ricorrere a varie "traduzioni" di tale concetto (cfr. la Tab. 4).

Tipo di validità	Requisiti	Procedure di controllo ²⁰
Validità interna (internal validity, validation)	Il modello traduce correttamente la teoria? Il modello è logicamente coerente? Il software presenta errori?	Debugging Validità di superficie Analisi della sensibilità (robustezza)
Validità di contenuto	Quanto è semplice, chiaro ed accurato il modello? I parametri iniziali sono corretti?	Grounding Calibrazione
Validità di processo (validità strutturale)	Il modello riproduce i meccanismi della realtà?	Validità di superficie Test di Turing Utilità di ipotesi e presupposti Validità d'esito intermedia
Validità per criterio (validità predittiva, validità d'esito, outcome validity, validità replicativa)	Il modello è in grado di replicare la realtà? Il modello è in grado di anticipare la realtà?	Calibrazione Verifica: - la realtà viene replicata - le previsioni sono confermate
Validità esterna (verification)	In che misura è fertile il modello? In che misura è generalizzabile il modello?	Armonizzazione

Tabella 4 – La validità nei modelli simulativi

La validità interna (*internal validity* o *validation*) riguarda la coerenza logica del modello, e se esso traduce correttamente la teoria o le ipotesi che lo informano [Balci, 1994]. Nel caso dei modelli simulativi, si tratta di capire anche se il software che implementa il modello è stato sviluppato senza errori. Esso, infatti, potrebbe fornire un'errata traduzione del modello formale e quindi essere causa di un suo cattivo funzionamento. Il modello formale, a sua volta, potrebbe aver fallito nel catturare tutte le articolazioni della teoria. E, infine, il programmatore potrebbe aver commesso degli errori non solo di traduzione, ma anche di programmazione vera e propria. Il fallimento di una simulazione, dunque, non conduce automaticamente al rigetto della teoria sottostante [Phelan, 1997]. Il programma, e non la teoria, potrebbe essere sbagliato. Questi problemi vengono affrontati adottando tre strategie di controllo della validità interna: la prima consiste in un attento *debugging* del programma (cosa non sempre facile da realizzare);

Organizational Aspects of Intelligence, Washington DC, <http://www.istc.cnr.it/doc/70a_2139p_FS0705ConteR.pdf>.

- CORBETTA, P. (2003) *La ricerca sociale: metodologia e tecniche. Vol. II. Le tecniche quantitative*, Bologna, il Mulino.
- DORAN, J., GILBERT, N. (1994) *Simulating Societies: The Computer Simulation of Social Life*, London, UCL Press.
- DORAN, J., PALMER, M. (1995) "The EOS Project: Integrating Two Models of Palaeolithic Social Change", in Gilbert e Conte (1995), pp. 103 - 125.
- EPSTEIN, J.M. (2000) "Modelli computazionali fondati su agenti e scienza sociale generativa", in *Sistemi intelligenti*, n. 2, pp. 177-221.
- , (2006) *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling*, Princeton, NJ, Princeton University Press.
- EPSTEIN, J.M., AXTELL, R. (1996) *Growing Artificial Societies. Social Science from the Bottom Up*, Cambridge, MA., MIT Press.
- EVANS, D., HEUVELINK, A., NETTLE, D. (2003) *The evolution of optimism. A multi-agent based model of adaptive bias in human judgement*, working paper presentato all'AISB '03 - "Symposium on Scientific Methods for the Analysis of Agent-Environment Interaction", Università del Galles, Aberystwyth, 9 Aprile 2003, <<http://www.dylan.org.uk/OptimismAISB.pdf>>.
- FISCHER, K., FLORIAN, M., MALSCH, T.H. (2005) *Sociomics: Scalability of Complex Social Systems*, New York, Springer.
- FORNERO, G. (1994) "Intelligenza artificiale e filosofia", in Fornero, G., Restaino, F. (a cura di), *La filosofia contemporanea*, vol. X, tomo IV, in Abbagnano, N.

la seconda consiste in una pura e semplice verifica della validità di superficie (*face validity*)²¹; la terza consiste in un'analisi della sensibilità. Quest'ultima consiste nell'esaminare gli effetti generati da piccoli cambiamenti nei parametri del modello. Se piccoli cambiamenti nei parametri danno luogo a grandi differenze di *output*, vi può essere il sospetto che i risultati ottenuti siano dovuti ai valori ad essi attribuiti. Si dirà allora che il modello non è *robusto*, e bisognerà ritornare alle fasi precedenti per riformularlo. A volte, tale riformulazione può anche essere drastica.

La *validità di contenuto*, invece, ha a che fare con la chiarezza, parsimonia e accuratezza del modello, di cui occorre trovare un *trade-off* virtuoso. Il problema è quello di decidere che cosa sia necessario includere nel modello (le cosiddette *prestazioni essenziali del sistema* [Moretti, 1999, p. 155]) e che cosa, invece, non lo sia. Un protocollo d'azione consiste nell'iniziare con un modello molto scarno, da rimpolpare man mano che vengono consolidati i risultati ottenuti, o che il ricercatore si accorge di elementi mancanti, ma rivelatisi necessari, o che si fanno nuove scoperte, ecc. L'elezione di questo criterio, tuttavia, può risultare spesso problematica, per una sorta di "paradosso della conoscenza", sicché se il modello viene costruito per conoscere una realtà che non si conosce, è difficile che vi si possano includere tutti gli elementi essenziali [Bailey, 1994, pp. 220-223]. Può essere comunque d'aiuto il ragionamento logico o la conoscenza della letteratura scientifica relativa al fenomeno da studiare.

La *validità di processo* (*process validity*), il terzo tipo di validità cui si fa ricorso nei modelli simulativi, verifica la corrispondenza (e plausibilità²²) tra i *meccanismi* del modello e i *processi* che avvengono nel mondo reale, ed è peculiare del metodo simulativo. Seguendo Taber e Timpone [1996], la validità di processo può essere esplorata in tre modi diversi.

In primo luogo, si può ricorrere alla semplice validità di superficie o esteriore. In pratica, bisogna rispondere alla seguente domanda: «il modo in cui un certo processo è stato modellizzato è (o potrebbe essere) convincente per gli esperti del settore?» Se sì, il modello è valido. In aggiunta a questo metodo, Carley e Newell [1994] hanno proposto l'utilizzo del cosiddetto *Test di Turing*: se un osservatore esterno non riesce a distinguere i risultati prodotti da una simulazione da quelli prodotti da un fenomeno reale, allora il modello è valido. Entram-

(a cura di), *Storia della Filosofia*, Torino, UTET.

FORRESTER, J.W. (1973) *World Dynamics*, Cambridge, MA, Wright-Allen Press.

GALLINO, L. (1992) *L'incerta alleanza. Modelli di relazioni tra scienze umane e scienze naturali*, Torino, Einaudi.

GERRITSEN, C. (2010) *Caught in the Act: Investigating Crime by Agent-Based Simulation*, Ph.D. Thesis, Amsterdam, VU University, <<http://www.few.vu.nl/cg/ProefschriftCharlotteGerritsen.pdf>>.

GIDDENS, A. (1984) *La costituzione della società. Lineamenti di teoria della strutturazione*, trad. it. Milano Comunità, 1990.

GILBERT, N. (1993) "Computer Simulation of Social Processes", in *Social Research Update*, n. 6, <<http://www.soc.surrey.ac.uk/sru/SRU6.htm>>.

—, (1995) "Emergence in social simulation", in Gilbert, N., Conte, R. (a cura di), *Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Life*, London, UCL Press.

—, (1997) "A Simulation of the Structure of Academic Science", in *Sociological Research Online*, vol. 2, n. 2, <<http://www.socresonline.org.uk/2/2/3.html>>.

—, (2008) *Agent-Based Models*, London, Sage.

GILBERT, N., CONTE, R. (a cura di) (1995) *Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Life*, London, UCL Press.

GILBERT, N., TROITZSCH, K.G. (2005²) *Simulation for the Social Scientist*, Buckingham, Open University Press.

GINTIS, H. (2007) "A framework for the unification of the behavioral sciences", in *Behavioral and Brain Sciences*, vol. 30,

bi questi metodi, tuttavia, forniscono delle indicazioni piuttosto deboli.

In secondo luogo, si possono testare i singoli presupposti (o ipotesi) del modello. Bisogna dire che è molto probabile che, una volta testato, un certo presupposto risulti falso, poiché i modelli sono solo "caricature" della realtà. Se ciò dovesse avvenire, si deve decidere quanto seriamente esso è determinante nella costruzione del modello. Un'analisi della sensibilità può essere utile per capire quali parti del modello producono quale comportamento [Taber e Timpone, 1996, p. 76].

In terzo luogo, per esaminare la validità di processo, si può ricorrere alla *validità d'esito intermedia*. I processi interni di un modello, infatti, possono essere ridotti a subprocessi, i quali a loro volta possono essere ridotti a ulteriori subprocessi, e questo teoricamente fino ai livelli più elementari. Ogni subprocesso produce dei sottoesiti che possono essere testati. In questo caso, dei *flow-chart* accurati sono indispensabili per il ricercatore. Taber e Timpone [*ibid.*], tuttavia, intravedono un pericolo in questo metodo, sostenendo che le tecniche di misura adottate possono influenzare i risultati ottenuti, soprattutto quanto i dati vengono rilevati a livelli di disaggregazione sempre più profondi. In altre parole, il "rumore" prodotto dagli strumenti di misurazione standard può distorcere le misurazioni effettuate a questi livelli

Il quarto tipo di validità è quella *per criterio*. In questo caso, è appunto un criterio *esterno* a definire la bontà del modello. Nella maggior parte dei casi, tale criterio è la sua capacità predittiva.

La *validità predittiva* o *validità d'esito* (*outcome validity*) o *validità replicativa*²³ misura il grado di corrispondenza tra l'*output* del modello (cioè le sue predizioni) e i dati del mondo reale. Nelle scienze sociali, essa viene considerata la *validità tout court*. Gli esiti dei modelli computazionali, in realtà, corrispondono spesso a delle "postdizioni", in quanto questi vengono confrontati con eventi già occorsi [*ibid.*, p. 73]. Purtroppo, a dispetto di ciò che si può pensare, non è chiaro come si possano testare le predizioni di un modello: un semplice confronto fra i suoi esiti globali e i dati empirici, infatti, può non essere sufficiente. Un modello può essere molto complesso, fatto di molte parti, parametri, variabili e relazioni; diventa perciò molto difficile stabilire quale elemento abbia determinato cosa. E non esistono nemmeno standard precisi che definiscano delle soglie di accettabilità. Il mini-

pp. 1-61.

- GOTTS, N.M., POLHILL, J.G., LAW, A.N.R. (2003) "Agent-Based Simulation in the Study of Social Dilemmas", in *Artificial Intelligence Review*, vol. 19, n. 1, pp. 3-92.
- GRIBAUDI, M. (1996) "L'analisi di rete: tra struttura e configurazione", in *Rassegna italiana di sociologia*, n. 1, pp. 31-55.
- GUETZKOW, H.S. (a cura di) (1962) *Simulation in Social Science: Readings*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.
- GUETZKOW, H.S., BOWES, A. (1957) "The Development of Organizations in a Laboratory", in *Management Science*, vol. 3, n. 4, pp. 380-402.
- GUETZKOW, H. ALGER, C.F., BRODY, R.A., NOEL, R.C., SNYDER, R.C. (a cura di) (1963) *Simulation in International Relations: Developments for Research and Teaching*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.
- HALFPENNY, P. (1997) "Situating Simulation in Sociology", in *Sociological Research Online*, vol. 2, n. 3, <<http://www.socresonline.org.uk/2/3/9.html>>.
- HALPIN, B. (1999) "Simulation in sociology", in *American Behavioral Scientist*, vol. 42, n. 10, pp. 1488-1508.
- HANNEMAN, R. (1988) *Computer-Assisted Theory Building: Modeling Dynamic Social Systems*, Beverly Hills, CA, Sage.
- HANNEMAN, R.A., PATRICK, S. (1997) "On the Uses of Computer-Assisted Simulation Modeling in the Social Sciences", in *Sociological Research Online*, vol. 2, n. 2, <<http://www.socresonline.org.uk/2/2/5.html>>.
- HARVEY, D.L., REED, M. (1996) "Social Science as the Study of Complex Systems", in Kiel, L.D ed Elliott, E. (a cura di),

mo richiesto, ad ogni modo, dovrebbe essere una certa, buona corrispondenza fra gli esiti globali del modello e i dati del mondo reale. Se neanche questa condizione minima dovesse essere rispettata, è ragionevole supporre che il modello non sia una buona rappresentazione del/ dei fenomeno/i oggetto di studio. Esso andrebbe modificato o addirittura scartato. Un ulteriore problema è dato dal fatto che la validità d'esito è difficilmente praticabile nel caso dei modelli non predittivi, cioè dei modelli orientati alla spiegazione, e ciò non pare accettabile. In ogni caso, anche ammesso che le previsioni siano confermate, non è detto che ciò avvenga in ragione della validità del modello. «Ciò accade sia quando i dati confermano le ipotesi, sia quando le falsificano. Nel primo caso, le sorprese possono riguardare [...] non il contenuto delle previsioni esplicite, ma di quelle implicite [effetti imprevisi della teoria]. Nel secondo caso, la prima difficoltà sta [...] nell'attribuzione del risultato alla programmazione oppure al modello. Naturalmente, i veri problemi interpretativi insorgono una volta che il programma sia stato controllato attentamente per scovare eventuali errori di programmazione» [Conte, 1997, p. 296].

Fra le strategie di controllo della validità predittiva, vi è il ricorso al confronto fra le *performance* di modelli concorrenti (i quali, ad esempio, implementano versioni diverse di una teoria), per verificare quale meglio produca le "postdizioni" migliori, e a parità di risultati quale meglio descriva i processi reali che producono quei risultati [Taber e Timpone, 1996, p. 75].

La *validità esterna* (*verification*), infine, riguarda la sorpresa, cioè la capacità di produrre un'ampia varietà di esiti e implicazioni, di produrre risultati inattesi e controintuitivi, e la possibilità di generalizzare il modello ad altri fenomeni sociali [*ibid.*, p. 80; Lave e March, 1993].

I livelli cui si applicano i criteri di validazione sono almeno otto: *superficie* (*face*), *parametri*, *processi*, *pattern*, *punti*, *distribuzioni*, *valori* e *teoria* [Carley, 1996, pp. 10-11]. Tali livelli possono essere divisi in due gruppi (cfr. la Tab. 5): il primo, che comprende processi, parametri, e superficie, riguarda il *funzionamento interno* del modello²⁴; il secondo, che comprende valori, distribuzioni, punti e *pattern*, riguarda i *risultati*²⁵; mentre solo il livello teorico ha a che fare con entrambi questi aspetti.

Passando all'*attendibilità* (*reliability*), invece, essa misura la tenuta del modello nel tempo, in termini di coerenza e precisione, anche quando viene sottoposto a nume-

Chaos Theory in the Social Sciences, Ann Arbor, University of Michigan Press.

- HEDSTRÖM, P. (2005) *Anatomia del sociale. Sui principi della sociologia analitica*, trad. it. a cura di F. Barbera, Milano, Bruno Mondadori, 2006.
- HEDSTRÖM, P., SWEDBERG, R. (1998) (a cura di) *Social Mechanisms*, Cambridge, Cambridge University Press.
- HEGSELMANN, R., FLACHE, A. (1998) "Understanding Complex Social Dynamics: A Plea For Cellular Automata Based Modelling", in *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 1, n. 3, <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/1/3/1.html>>.
- HELBING, D., NAGEL, K. (2004) "The physics of traffic and regional development", in *Contemporary Physics*, vol. 45, n. 5, pp. 405-426.
- HUHNS, M.N., SINGH, M.P. (1998) "Agents and Multiagent Systems: Themes, Approaches, and Challenges", in Huhns, M.N. e Singh, M.P. (a cura di), *Readings in Agents*, San Francisco, CA., Morgan Kaufmann, pp. 1-23.
- JENNINGS, N.R., SYCARA, K., WOOLDRIDGE, M. (1998) "A Roadmap of Agent Research and Development", in *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, n. 1, pp. 7-38.
- JOHNSON, P.E. (1999) "Simulation Modeling in Political Science", in *American Behavioral Scientist*, vol. 42, n. 10, pp. 1509-1530.
- KLIEMT, H. (1996) "Simulation and rational practice", in Hegselmann, R., Mueller, U., Troitzsch, K.G. (a cura di), *Modelling and simulation in the social sciences from the philosophy of science point of view*, Dordrecht, Kluwer, pp. 13-27.
- KOLLMAN, K., MILLER, J., PAGE, S.

rosi cicli di variazioni stocastiche degli *input* (ad esempio, attraverso il metodo Monte Carlo). Per testare l'attendibilità di un modello, si fa in genere ricorso alla statistica inferenziale [Halpin, 1999; Gilbert e Troitzsch, 2005]. In pratica, ci si chiede qual è la probabilità di ottenere gli stessi risultati replicando l'esperimento un sufficiente numero di volte, e cercando di rifiutare l'ipotesi nulla di risultati dovuti al caso. La statistica è utile per generare distribuzioni casuali di valori da attribuire a parametri o a variabili ignote o non misurabili, e per sintetizzare e comparare i risultati ottenuti, attraverso l'analisi della varianza, la regressione lineare e non-lineare, la correlazione, i test per il confronto delle medie, ecc. Un aspetto dell'attendibilità è la *sicurezza* del modello, cioè la sua resistenza a manomissioni, corruzioni e "forzature" (*crushing*).

Difficilmente, nei modelli simulativi, è possibile soddisfare completamente e contemporaneamente tutti i requisiti di validità e attendibilità [Taber e Timpone, 1996, p. 73]. E d'altra parte ciò non sarebbe nemmeno utile. Come sostiene Phelan [1997], non è detto che i metodi simulativi debbano necessariamente registrare un'esatta corrispondenza con il mondo reale; talvolta è sufficiente che essi siano in grado di generare risultati controintuitivi o nuovi (*serendipity*). Già questa caratteristica garantisce in qualche modo la validità del modello, soprattutto quando i fini sono di tipo esplorativo. Il metodo simulativo, in questo caso, diventa un ausilio prezioso alla logica della scoperta. La validità euristica dei modelli che non necessariamente "rappresentano" un fenomeno reale è stata riconosciuta per la prima volta da Doran e Gilbert [1994], e da allora ha riscosso diversi consensi nella comunità scientifica. La conclusione provvisoria cui è pervenuta la letteratura più recente, è che vi sono diversi tipi e gradi di validazione. Non tutti i modelli hanno bisogno d'essere validati, e il grado di validazione dipende sempre dagli scopi che essi intendono perseguire [Carley, 1996]. Carley sostiene, inoltre, che la validità non deve essere considerata come un pre-requisito per la diffusione di un modello computazionale, dei suoi risultati o delle sue predizioni [*ibid.*, p. 6]. Esso, infatti, pur non essendo valido, può dare luogo a utili processi di estensione e verifica della teoria che lo informa [Hanneman, 1988]. La Figura 4 riassume il processo di validazione di un modello simulativo nei suoi passaggi essenziali. Si tratta, come s'è visto, d'un cammino spesso accidentato e non privo di ostacoli, che non sempre corrisponde al modello ideale qui illustrato.

(1992) "Adaptive Parties in Spatial Elections", in *American Political Science Review*, n. 86, pp. 929-937.

LANSING, J.S. (2002) "«Artificial Societies» and the Social Sciences", in *Artificial Life*, vol. 8, n. 3, pp. 279-292.

LATANÉ, B. (1996) "Dynamic Social Impact. Robust predictions from simple theory", in Hegselmann, R., Mueller, U., Troitzsch, K.G. (a cura di), *Modelling and simulation in the social sciences from a philosophy of science point of view*, Dordrecht, Kluwer, pp. 287-310.

LAVE, C.A., MARCH, J.G. (1993) *An Introduction to Models in the Social Sciences*, New York, University Press of America.

LEMPERT, R.J., POPPER, S.W., BANKES, S.C. (2003) *Shaping the Next One Hundred Years: New Methods for Quantitative, Long-Term Policy Analysis*, Santa Monica, CA, Rand Corporation.

MACY, M.W., SKVORETZ, J. (1998) "The evolution of trust and cooperation between strangers: A computational model", in *American Sociological Review*, vol. 63, n. 5, pp. 638-660.

MACY, M.W., WILLER, R. (2002) "From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling", in *Annual Review of Sociology*, vol. 28, pp. 143-166.

MALSCH, T.H. (2001) "Naming the Unnamable: Socionics or the Sociological Turn of/to Distributed Artificial Intelligence", in *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, vol. 4, n. 3, pp. 155-186.

MANZO, G. (2004) "Appunti sulla simulazione al computer. Un metodo attraente per la ricerca sociologica", in C. Corpasanto (a cura di), *Metodologia e tecniche non intrusive nella ricerca sociale*, Milano, Franco An-

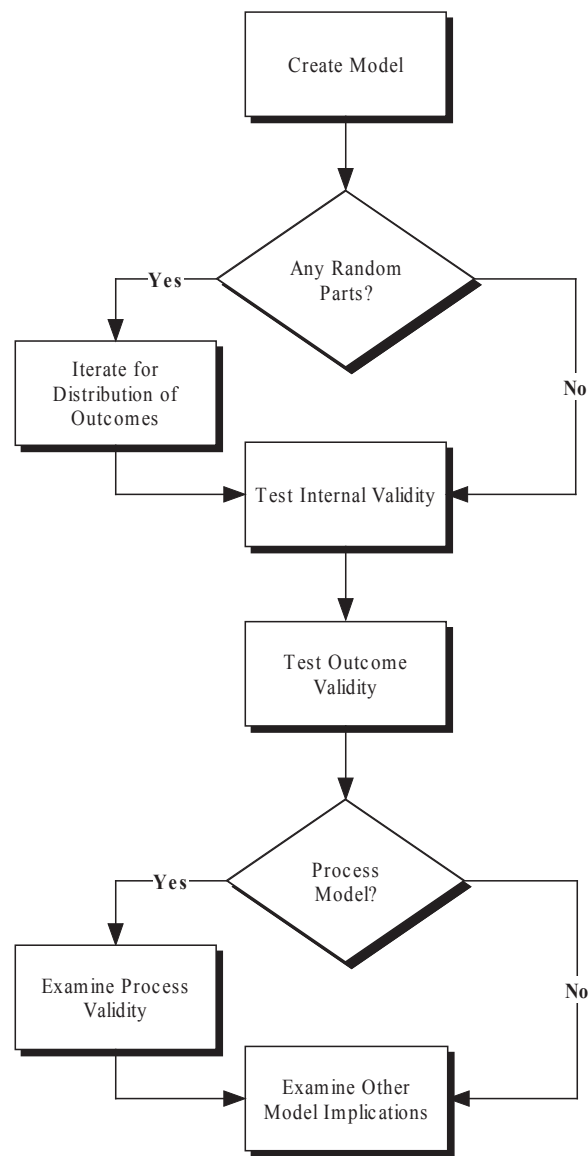


Figura 4 – Il processo di validazione di un modello simulativo: uno schema generale

Fonte: Taber e Timpone, 1996, p. 72

I modelli più difficili da validare, in ogni caso, sono quelli non-lineari, quelli evolutivi, quelli che cambiano la loro stessa struttura e quelli adattivi, che "imparano" dall'ambiente, quelli progettati per generare caos deterministico o facendo ricorso a reti neurali e algoritmi genetici. Tutti questi modelli sono estremamente sensibili alle condizioni iniziali, ed è difficile stabilirne i parametri iniziali con la precisione necessaria ad ottenere una corrispondenza con i dati reali. E anche se tali parametri dovessero essere trovati, si porrebbe il problema dell'arbitrarietà di tale scelta. Infatti, o si sceglie un set di parametri che genera dei risultati che corrispondono al mondo reale, ri-

geli pp. 183-197.

MARK, N. (1998) "Beyond Individual Preferences: Social Differentiation from First Principles", in *American Sociological Review*, vol. 63, n. 3, pp. 309-330.

MIHATA, K. (1997) "The Persistence of Emergence", in R.A. Eve, S. Horsfall, M.E. Lee (a cura di), *Chaos, Complexity and Sociology*, Thousand Oaks, CA, Sage, pp. 30-38.

MILLER, J., PAGE, S. (2007) *Complex Adaptive Systems: An Introduction to computational Models of Social Systems*, Princeton, Princeton University Press.

MOONEY, C.Z., DUVAL, R.D. (1993) *Bootstrapping. A Nonparametric Approach to Statistical Inference*, Newbury Park, CA, Sage.

MORETTI, S. (1999) *Processi sociali virtuali. Simulazione e ricerca sociologica*, Milano, Franco Angeli.

MÜLLER, H.J., MALSCH, T.H., SCHULTZ-SCHAEFFER, I. (1998) "Socionics: Introduction and Potential", in *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 1, n. 3, <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/1/3/5.html>>.

NÉMETH, A., TAKÁCS, K. (2007) "The Evolution of Altruism in Spatially Structured Populations", in *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 10, n. 3, <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/10/3/4.html>>

NERESINI, F. (1998) "Ricerca qualitativa e simulazione", in Melucci (a cura di) (1998), pp. 55-77.

ORCUTT, G., GREENBERG, M., KORBEL, J., RIVLIN, A. (1961) *Microanalysis of Socioeconomics Systems: A Simulation Study*, New York, Harper and Row.

PARISI, D. (1999) *Mente. I nuovi modelli della Vita Artificiale*, Bolo-

nunciando alle prescrizioni della teoria su come stimarli (ad esempio, attraverso processi stocastici); oppure si decide di seguire la teoria, rinunciando alla verosimiglianza. Raramente le due cose risultano compatibili.

6. Un bilancio metodologico

In sede di bilancio, va detto che i risultati empirici delle simulazioni pongono ancora numerosi interrogativi. Per Arnold [2008], non è sempre chiaro quali siano gli obiettivi, gli standard e i risultati conseguiti da queste tecniche d'indagine; anzi, esse talora si dimostrano addirittura inutili o incapaci di produrre ricadute rilevanti sulla ricerca empirica. Per tale ragione, egli invoca il rispetto di almeno tre requisiti di scientificità: *adeguatezza*, rispetto ai fattori rilevanti di spiegazione di un fenomeno; *robustezza*, con riferimento alla reiterazione dei modelli nel tempo; *non-banalità* dei risultati [*ibid.*, pp. 196-197]. In alcuni casi, come hanno rilevato Macy e Willer [2002], vengono perfino dimostrate conclusioni esattamente opposte, in genere determinate dai diversi approcci modellistici adottati e dal modo in cui sono concepite le interazioni sociali. Per Squazzoni [2008, pp. 57-58], il problema di molti modelli è che essi soffrono la mancanza di una teoria sociologica sottostante: tradiscono una visione puramente strumentale della razionalità; escludono le basi cognitive dell'azione; si basano su una visione ristretta della cooperazione; traducono l'interdipendenza tra gli agenti esclusivamente in termini di *payoff*; e, infine, escludono alcuni fattori sociali rilevanti come la fiducia, la reputazione, l'impegno, ecc.

Non tutte queste critiche appaiono condivisibili. Anzitutto, la letteratura sulla simulazione sociale ha ormai individuato alcuni punti fermi, ed è giunta ad alcune conclusioni unanimi. Fra questi, è possibile rintracciare quelli che potremmo definire degli "universali sociologici", i quali hanno orientato le ricerche più recenti e consentito l'accumulazione di un *corpus* di conoscenze oggi abbastanza stabile ed articolato:

- la reiterazione di semplici schemi d'azione individuali può portare all'emergenza di istituzioni sociali complesse;
- è impossibile, in via di principio, predire gli esiti di alcuni cambiamenti sociali;

- gna, il Mulino.
- , (2001) *Simulazioni. La realtà rifatta nel computer*, Bologna, il Mulino.
- PARISI, D., CECCONI, F., CERINI, A. (1995) "Kin-directed altruism and attachment behaviour in an evolving population of neural networks", in Gilbert e Conte (1995), pp. 238-251.
- PENN, A., DALTON, N. (1994) "The Architecture of Society: Stochastic Simulation of Urban Movement", in J. Doran e N. Gilbert (a cura di), *Simulating Societies: The Computer Simulation of Social Life*, London, UCL Press, pp. 85-126.
- PEPINSKY, T.B. (2005) "From Agents to Outcomes: Simulation in International Relations", in *European Journal of International Relations*, vol. 11, n. 3, pp. 367-394.
- PHELAN, S.E. (1997) *Using Artificial Adaptive Agents to Explore Strategic Landscapes*, Ph.D. Thesis, La Trobe University, <http://faculty.unlv.edu/phelan/Research/Phelan_Using%20Artificial%20Adaptive%20Agents.pdf>.
- PHILLIPS, B.S. (1971) *Metodologia della ricerca sociale*, trad. it. Bologna, il Mulino, 1972.
- PLUCHINO, A., RAPISARDA, A., GAROFALO, C. (2010) "The Peter principle revisited: A computational study", in *Physica A*, n. 389, pp. 467-472.
- RICHARDSON, K., CILLIERS, P. (2001) "Special Editors Note: What is Complexity Science? A View from Different Directions", in *Emergence*, vol. 3, n. 1, pp. 5-22.
- RICOLFI, L. (1997) "La ricerca empirica nelle scienze sociali: una tassonomia", in Id. (a cura di), *La ricerca qualitativa*, Roma, Carocci, pp. 19-43.
- RUSSELL, S.J., NORWIG, P. (1995) Ar-

- la varietà qualitativa di strategie interazionali e di convenzioni è un vantaggio per raggiungere un livello soddisfacente di cooperazione;
- anche di fronte a potenti processi sociali di omologazione, si mantengono sempre in vita delle minoranze più o meno numerose;
- la teoria dell'impatto sociale, ben nota agli psicologi sociali, secondo la quale l'agente è vulnerabile all'influenza "passiva" del contesto sociale, chiede di essere completata da una teoria dell'influenza sociale "attiva", cioè dei comportamenti che gli "altri" mettono in atto per modificare l'azione del soggetto;
- esistono concetti, modelli e strumenti competitivi con quelli della razionalità. Si pensi al valore funzionale delle conoscenze false, e al dato secondo il quale le strategie di minimizzazione dei costi non necessariamente assicurano la capitalizzazione;
- le mispercezioni e le miscredenze possono essere "funzionali" per certi gruppi e certe società, o nella genesi delle ideologie.

Certo, va riconosciuto come, da un lato, sia ancora necessario sviluppare modelli più ambiziosi, generalizzabili ed eclettici dal punto di vista disciplinare, nonché "buone pratiche" e criteri di validazione più articolati [Cioffi-Revilla, 2002]. La simulazione, inoltre, non è ancora una strategia di ricerca del tutto matura, con una comunità di studiosi ancora divisa tra lo sviluppo del metodo e la sua concreta applicazione nella ricerca empirica [Castellani e Hafferty, 2009, p. 160]. Il riferimento è anche ai problemi epistemologici che la simulazione solleva, i quali sono stati oggetto d'un interesse intermittente e superficiale²⁶. Byrne [2005] e Richardson e Cilliers [2001], ad esempio, hanno rimproverato alla simulazione multi-agente l'eccessiva fiducia nelle micro-spiegazioni semplicistiche del comportamento e dei fenomeni sociali. Byrne [2001] e Agar [2003] hanno sottolineato la distanza tra questo tipo di spiegazioni e la spiegazione sociologica classica. E numerosi autori hanno cominciato a riflettere sul tipo di domande cui la simulazione può rispondere, sul rapporto tra realtà e simulazione, e infine sul tipo di decisioni (anche di natura politica) che si possono far derivare da modelli astratti ed artificiali [cfr. Castellani e Hafferty, 2009, p. 169; Squazzoni, 2008, p. 197 e ss.].

Gli sviluppi della simulazione, comunque, promettono di conseguire risultati rilevanti nel campo delle

tificial Intelligence. A Modern Approach, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall.

SAAM, N.J. (1999) "Simulating the Micro-Macro Link: New Approaches to an Old Problem and an Application to Military Coups", in *Sociological Methodology*, n. 29, pp. 43-79.

SANDHOLM, T.W. (1999) "Distributed Rational Decision Making", in Weiss, G. (a cura di), *Multiagent Systems. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, Cambridge, MA., MIT Press, pp. 201-258.

SAWYER, R.K. (2001) "Simulating Emergence and Downwards Causation in Small Groups", in Moss, S., Davidsson, P. (a cura di), *Multi-Agent-Based Simulation*, Berlin, Springer, pp. 49-67.

—, (2003) "Multiagent Systems and the Micro-Macro Link in Sociological Theory", in *Sociological Methods & Research*, vol. 31, n. 3, pp. 325-363.

SCARDOVI, I. (1997) "Simulazione, modelli di", in *Enciclopedia delle Scienze Sociali*, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana, pp. 787-793.

SHELLING, T. (1971) "Dynamic Models of Segregation", in *Journal of Mathematical Sociology*, n. 1, pp. 143-186.

—, (1978) *Micromotives and Macrobehavior*, New York, Norton.

SQUAZZONI, F. (2008) *Simulazione sociale. Modelli ad agenti nell'analisi sociologica*, Roma, Carocci.

STRÜBING, J. (1998) "Bridging the gap: On the Collaboration between Symbolic Interactionism and Distributed Artificial Intelligence in the Field of Multi-Agent Systems Research", in *Symbolic Interaction*, vol. 21, n. 4, pp. 441-463, <http://www.uni-tuebingen.de/filadmin/Uni_Tuebingen/Fakultaeten/SozialVerhalten/

scienze sociali, all'insegna del rigore, della cumulabilità del sapere, della saldatura di storiche fratture teoriche ed epistemologiche, del dialogo con altre discipline, e dell'applicabilità dei risultati conoscitivi ottenuti (ad esempio, nella implementazione di specifiche *policies*). E non è poco.

Note

1 Le fonti di complessità di molti sistemi economici e sociali sono: la presenza d'interazioni dirette e locali fra attori eterogenei e dotati di razionalità adattiva a livello micro; l'assenza di un controllo centralizzato; la presenza di dinamiche sistemiche macro lontane dall'equilibrio; l'influenza di meccanismi selettivi di tipo evolutivo [Arthur, Durlauf e Lane, cit. in Squazzoni, 2008, p. 44].

2 Uso qui il termine "meccanismo" con esplicito riferimento alla prospettiva della cosiddetta sociologia analitica [Barbera, 2004]. Mi riferisco, in particolare, alla versione più estesa di questa prospettiva [Coleman, 1990; Hedström e Swedberg, 1998], che considera tre linee di ricerca complementari: come le condizioni sociali influenzano la situazione individuale (meccanismo macro-micro o situazionale); come gli attori in situazione agiscono e producono effetti individuali (meccanismo micro-micro o di formazione della azione); come l'insieme delle azioni individuali si ricomponesse in uno stato macro (meccanismo micro-macro o trasformatore).

3 La nozione di modello *generativo*, in contrapposizione a quella di modello *strutturale*, che ritroviamo nell'ambito della sociologia analitica già a partire da un lavoro di Boudon del 1973, risale a Barth [cit. in Gribaudi, 1996, p. 46]: «I modelli generativi ricoprono tre funzioni importanti. Essi forniscono un tipo di comprensione e di spiegazione che i modelli formali, anche i più attenti e pertinenti, non possono raggiungere. Per studiare una forma è forse sufficiente descriverla. Per spiegarla è necessario scoprire e descrivere i processi che l'hanno generata. Essi forniscono gli strumenti per descrivere e studiare il cambiamento nelle forme sociali nei termini dei cambiamenti delle variabili di base che generano le forme. Infine, essi facilitano l'analisi comparativa come un equivalente metodologico della sperimentazione. I modelli che descrivono le forme permettono unicamente di costituire delle serie tipologiche, e di sottolineare delle differenze e delle similitudini, o di specificare le trasformazioni logicamente illimitate attraverso le quali una forma può essere trasformata in un'altra. La pertinenza di un modello generativo è invece provata sulla base della sua capacità o della sua incapacità nel generare le forme osservate; un tale modello contiene delle ipotesi implicite sui sistemi 'possibili' o 'non possibili', ipotesi che possono essere falsificate da dei dati comparativi».

4 Kliemt [1996] distingue tra *thin simulation*, in cui la teoria si costruisce insieme alla simulazione, e *thick simulation*, in cui la teoria viene prima della simulazione.

5 Il compito principale delle *scienze della complessità* è quello di spiegare come fenomeni relativamente stabili, aggregati e macroscopici, di natura adattativa, siano prodotti dalla interazione locale e nonlineare fra una moltitudine di entità di livello inferiore [Waldrop, 1992].

6 <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/JASSS.html>

7 Epstein [2000, pp. 205-213] ha criticato il ricorso a questo termine, in quanto connotato da un uso precedente in senso antiscientifico.

8 Un evento chiave, poi, è stata la pubblicazione, nel 2005, di un intero numero dell'*American Journal of Sociology* dedicato alla simulazione.

9 <http://www.essa.eu.org>

10 <http://www.casos.cs.cmu.edu/naacos/>

11 <http://www.paaa.econ.kyoto-u.ac.jp/>

12 Gli *automi cellulari* (che stanno alla base dei cosiddetti modelli di *vita artificiale*) sono costituiti da una griglia a n dimensioni, in genere due, rettangolare o quadrata,

Institut_fuer_Soziologie/Do-
kumente/Pdf_Dateien/Strue-
bing/Struebing_1998_Bridg-
ing_the_Gap.PDF>.

SULLIVAN, K., LUKE, S., HROLENOK, B. (2010) "Can You Do Me A Favor?", in *AAMAS 2010 Workshop on Trust in Agent Societies*, <<http://cs.gmu.edu/~sean/papers/aamas10-favor.pdf>>.

TABER, C.S., TIMPONE, R.J. (1996) *Computational Modeling*, Thousand Oaks, CA, Sage.

TERNA, P. (2003) "La simulazione come strumento d'indagine per l'economia", in *Sistemi Intelligenti*, n. 2, pp. 347-376.

TERNA, P., BOERO, R., MORINI, M., SONNESSA, M. (a cura di) (2006) *Modelli per la complessità. La simulazione ad agenti in economia*, Bologna, il Mulino.

TROBIA, A. (2001) *La sociologia come scienza rigorosa. Modelli simulativi, intelligenza collettiva, forme del mutamento*, Milano, Franco Angeli.

—, (2005) "Società artificiali: le tecniche simulate multi-agente in una prospettiva connessionista", in Id., *La ricerca sociale quali-quantitativa*, Milano, Franco Angeli, pp. 138-160.

TROITZSCH, K.G. (2004) "Validating Simulation Models", in *Proceedings of 18th European Simulation Multiconference on Networked Simulations and Simulation Networks*, SCS Publishing House, pp. 265-270.

TROITZSCH, K.G., MUELLER, U., GILBERT, N., DORAN, J. (a cura di) (1996) *Social Science Microsimulation*, Berlin-Heidelberg-New York, Springer-Verlag.

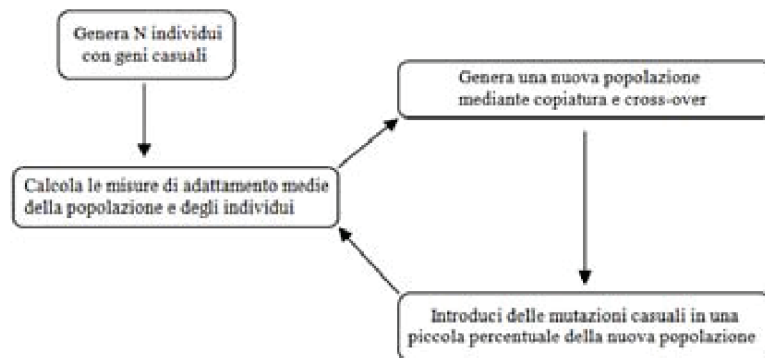
URRY, J. (2000) *Sociology Beyond Societies*, London, Routledge.

—, (2003) *Global Complexity*, Oxford, Blackwell Publishing.

VAN BAAL, P. (2004) *Computer Simulations of Criminal Deterrence: From Public Policy to Local Inter-*

nella quale ogni cella può assumere un certo numero finito di stati. Gli stati di una cella cambiano in base a semplici regole, cui tutte le celle sottostanno, e allo stato delle celle vicine. Ad ogni unità di tempo (o *tick*), i valori di tutte le celle vengono aggiornati, fino a che la simulazione non è interrotta o raggiunge un equilibrio stabile. Scopo del ricercatore è quello di studiare l'evoluzione del sistema, essendo impossibile prevederene gli esiti in anticipo. Gli automi cellulari, infatti, producono spesso strutture *emergenti*, irreversibili e dissipative, dotate di caratteristiche e proprietà nuove. L'imprevedibilità delle forme del mutamento dipende dalla non-linearità delle dinamiche di interazione, le quali oltre a determinare delle strutture ordinate, possono anche condurre ai comportamenti tipici del *caos deterministico*. L'interesse della sociologia e di molte altre discipline per gli automi cellulari è dovuto, in primo luogo, al fatto che essi riescono a spiegare alcune caratteristiche della socialità elementare e il carattere emergente dei fenomeni sociali, permettendo di affrontare il problema della relazione micro-macro. L'ordine, le strutture sociali o l'aggregazione e diffusione di opinioni, così come alcuni processi discriminatori, possono tutti emergere da micro regole locali [uno studio classico è quello di Epstein e Axtell, 1996]. Gli automi cellulari, comunque, sono in grado di simulare anche i macro *feedback*, non escludendo il ruolo di repertori culturali, norme o istituzioni centralizzate nella formazione dei fenomeni sopra citati. Gli automi cellulari, in secondo luogo, oltre a produrre spiegazioni "quantitative" e previsioni del comportamento sociale, sono anche in grado di ricostruire la "qualità" e la forma di alcuni importanti "meccanismi" sociali [Hegselmann e Flache, 1998]. Infine, essi sono in grado di rivelare le conseguenze inattese di una teoria e dei suoi assiomi.

13 Per l'evoluzione d'un modello simulativo, si può far ricorso ai cosiddetti *algoritmi genetici*. Un algoritmo genetico è essenzialmente un modello simulativo dell'evoluzione *biologica*, che può essere impiegato anche per spiegare fenomeni appartenenti ad altri domini della realtà. Questi modelli, in sostanza, sfruttano l'evoluzione come metafora, facendo ricorso ai concetti di *mutazione* e *selezione genetica* [per un'introduzione, cfr. Trobia, 2001, pp. 95-101; Gilbert e Troitzsch, 2005, pp. 230-255]. Lo schema tipico per la costruzione d'un algoritmo genetico è mostrato nella figura sotto [Gilbert e Troitzsch, 2005, p. 236].



14 La modellizzazione degli agenti viene effettuata utilizzando le tecniche già sviluppate nell'ambito della intelligenza artificiale classica: euristica, regole di produzione, logica dei predicati, e sistemi a oggetti come *frames* e reti semantiche. Per un approfondimento su queste tecniche, cfr. Fornero [1994]. Le principali differenze con l'intelligenza artificiale classica riguardano il fatto che gli agenti non sono "isolati", nel senso che stanno in un ambiente che evolve e interagiscono con altri agenti "intelligenti" [Moretti, 1999, p. 105].

15 Cfr., ad esempio, il sito: <http://www.collidoscope.com/modernca/welcome.html>.

16 Per una breve introduzione tecnica a NetLogo, cfr. Trobia, 2005, pp. 149-160.

17 La cosa importante da notare è che la microsificazione può non essere in grado di generare il fenomeno studiato: «è precisamente quest'ultima possibilità – la falsificabilità empirica – che qualifica il modello computazionale fondato su agenti come uno strumento *scientifico*» [Epstein, 2000, p. 188, corsivo nel testo].

action to Individual Behaviour, Den Haag, BJU Boom Juridische uitgevers.

WALDROP, M.M. (1992) *Complessità. Uomini e idee al confine tra ordine e caos*, trad. it. Torino, Instar Libri, 1996².

WEISS, G. (a cura di) (1999) *Multiagent Systems. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, Cambridge, MA., MIT Press.

WOOLDRIDGE, M., JENNINGS, N.R. (1995) "Intelligent Agents: Theory and Practice", in *Knowledge Engineering Review*, vol. 10, n. 2, pp. 115-152.

18 Per una prima rassegna, Terna [2003], Terna et al. [2006], Squazzoni, [2008, Cap. 4]. Si veda, inoltre, il sito dell'ACE (*Agent-Based Computational Economics*): <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/ace.htm>.

19 Il criterio della giustizia è il meno universalmente accettato fra i tre qui citati. E però, bisogna pensare che alcuni modelli simulativi sono concepiti per orientare le politiche pubbliche. Cercare di sviluppare un modello nuovo o migliorarne uno già esistente per attuare delle politiche più giuste diventa un dovere etico del ricercatore o dello scienziato [Taber e Timpone, 1996, pp. 81-82; Lave and March, 1993; Gallino, 1992]. La riflessione in questo campo non ha ancora portato alla elaborazione di precisi protocolli per la determinazione di una misura, di un metro di valutazione per decidere della giustizia di un modello. Questo terreno rimane uno dei più inesplorati nella storia dell'impresa scientifica.

20 Le procedure di validazione, in senso stretto, sono essenzialmente quattro: *grounding*, *calibrazione*, *verifica* e *armonizzazione* [Carley, 1996]. L'obiettivo principale della prima è quello di giustificare non solo le semplificazioni operate nel disegnare il modello, ma anche la scelta dei valori dei parametri iniziali (*initialization* o *bootstrapping*), e di fare delle prime, semplici valutazioni circa la *performance* del modello. La seconda riguarda l'aggiustamento del modello, in modo che possa generare dei dati con un buon livello di realistica. In alcuni casi, si parla anche di *adattamento* (*fitting*), quando un modello (in forma di equazione matematica, di algoritmo o di codice per computer) interpola più o meno adeguatamente i dati della realtà. Alcuni autori, tuttavia, sostengono che qui si nasconde un pericolo, in quanto si rischia di "manomettere" la simulazione, rendendola tautologica: ogni modello con un sufficiente numero di parametri, infatti, può essere "aggiustato" in modo tale che possa generare dei dati confrontabili con quelli reali. La terza procedura, cioè la verifica, strettamente connessa alla precedente, ha a che fare con la capacità di predizione del modello. L'armonizzazione, infine, si riferisce alla corrispondenza e triangolazione fra la teoria, il modello e la realtà.

21 Per la *face validity* si può far ricorso al giudizio d'una commissione di esperti, sulla scorta di quanto avviene nella costruzione di alcune scale di atteggiamento o nel cosiddetto metodo Delphi. «Tale metodo consiste nel consultare, uno a uno, un certo numero di esperti e nell'invitare successivamente ciascuno di essi a riconsiderare i giudizi espressi nel confronto con quelli formulati dagli altri, resi noti in forma anonima. Una reiterazione da interrompere quando si sia realizzata una relativa convergenza diagnostica e prognostica» [Scardovi, 1996, p. 788].

22 In questo caso, si parla di *validità strutturale* [Troitzsch, 2004].

23 Che consiste nel far girare la simulazione quando sono già noti gli esiti attesi.

24 La validità di superficie o esteriore (*face validity*) richiede che il modello si avvicini intuitivamente alla realtà. Si ha una validità di parametro (*parameter validity*), invece, quando i parametri del modello corrispondono a quelli reali, o meglio a valori dei parametri osservati nell'ambito di ricerche sul campo, longitudinali, *survey*, ecc. Vi è, poi, la validità di processo, che si verifica quando i processi descritti dal modello corrispondono a processi reali. Questi tre livelli sono gerarchicamente ordinati: i modelli che hanno una validità di processo, hanno anche una validità di parametro e di superficie; ma non viceversa.

25 La *pattern validity* richiede che i *pattern* di risultati prodotti dal modello computazionale corrispondano a *pattern* reali. La validità di punto (*point validity*), invece, implica che il comportamento del modello in riferimento alle variabili dipendenti, prese una alla volta, presenti le stesse medie del dato reale. Vi è, poi, la validità distribuzionale (*distributional validity*), la quale vuole che la distribuzione dei risultati generati dal modello computazionale abbia le stesse caratteristiche distribuzionali dei dati reali (medie, deviazioni standard e forme dei risultati devono cioè essere simili). Infine, la validità di valore (*value validity*) prevede che i risultati specifici provenienti dal modello computazionale corrispondano punto per punto ai dati reali. Anche questi quattro livelli sono gerarchicamente ordinati: i modelli che possiedono una validità di valore, hanno anche una validità distribuzionale, di punto e di *pattern*; ma non viceversa.

26 Il *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* ha dedicato un numero monografico (vol. 8, n. 4) alla questione nel 2005.

* Tutti i siti *web* sono stati visitati l'ultima volta il 13/12/2010.