

# Simulazione, modelli ad agenti e scienze sociali

Pietro Terna, Riccardo Boero, Matteo Morini  
Michele Sonnessa

10 ottobre 2005



# Indice

<b>Premessa</b>	<b>xv</b>
<b>1 Introduzione «dall'esterno della disciplina economica»</b>	<b>1</b>
<i>Domenico Parisi</i>	
1.1. La scienza è disciplinare, ma la realtà non lo è . . . . .	1
1.2. Un nuovo metodo . . . . .	4
1.3. Una nuova scienza economica . . . . .	7
1.4. Le due sfide alla scienza economica standard . . . . .	13
<b>I Modelli ad agenti</b>	<b>21</b>
<b>2 Modelli ad agenti: introduzione</b>	<b>23</b>
<i>Pietro Terna</i>	
2.1. Modelli e simulazione . . . . .	23
2.2. Complessità . . . . .	24
2.3. Simulazione ad agenti . . . . .	24
2.4. Rappresentazione della realtà . . . . .	27
2.5. L'economia non è un progetto . . . . .	27
2.6. Complicato e complesso . . . . .	29
2.7. Un'attenzione speciale verso le scienze cognitive . . . . .	31
2.8. Struttura dei modelli . . . . .	31
2.9. La struttura del libro . . . . .	33
<b>3 Uso della simulazione in economia</b>	<b>35</b>
<i>Magda Fontana</i>	
3.1. Premessa . . . . .	35
3.2. Modelli di simulazione, modelli matematici, modelli linguistici . . . . .	36

3.2.1. La simulazione in pratica: un tentativo di classificazione . . . . .	38
3.3. Trasmettere i risultati . . . . .	43
3.4. La comunicazione all'interno di una disciplina: la simulazione in economia . . . . .	44
3.5. Conclusioni . . . . .	52
<b>4 Le critiche e la diffusione della nuova metodologia</b>	<b>55</b>
<i>Pietro Terna</i>	
4.1. Una domanda preliminare . . . . .	55
4.2. La rappresentazione della realtà . . . . .	56
<b>5 Una risposta alle critiche: le metodologie per la definizione dei modelli di simulazione</b>	<b>59</b>
<i>Matteo Richiardi, Roberto Leombruni</i>	
5.1. Introduzione . . . . .	59
5.2. Le simulazioni sono teoria . . . . .	61
5.3. Le simulazioni sono matematica . . . . .	63
5.4. Le simulazioni conducono a risultati generali . . . . .	65
5.5. Le simulazioni sono stimabili . . . . .	67
5.6. Le simulazioni hanno bisogno di standard metodologici condivisi . . . . .	68
5.6.1. Collegamento con la letteratura . . . . .	70
5.6.2. Struttura del modello . . . . .	70
5.6.3. Analisi del modello . . . . .	70
5.6.4. Replicabilità . . . . .	71
5.7. Conclusioni . . . . .	72
<b>6 Gli agenti dall'informatica alle scienze cognitive e alle applicazioni</b>	<b>73</b>
<i>Marco Remondino</i>	
6.1. I confini della metodologia . . . . .	73
6.2. Caratteristiche fondamentali degli agenti . . . . .	75
6.3. Struttura di un sistema multi agente . . . . .	77
6.4. Azione e reazione . . . . .	79
6.5. Ragionamento negli agenti . . . . .	80
6.6. Soluzioni ibride . . . . .	80
6.7. Agenti BDI, scienze cognitive e logica modale . . . . .	82
6.8. I mondi possibili e la logica modale . . . . .	83
6.9. Applicazione pratica del paradigma BDI . . . . .	85
6.10. L'interazione tra gli agenti e le applicazioni . . . . .	85
6.10.1. Scienze sociali . . . . .	85
6.10.2. Scienze ingegneristiche . . . . .	86
6.10.3. Mondi virtuali . . . . .	86

<b>II</b>	<b>Costruzione degli agenti</b>	<b>87</b>
<b>7</b>	<b>Costruzione degli agenti: introduzione</b>	<b>89</b>
	<i>Pietro Terna</i>	
7.1.	Agenti semplici e complessi . . . . .	89
7.2.	Una classificazione . . . . .	90
7.2.1.	Caso a) agenti «senza mente» operanti in un ambiente non strutturato . . . . .	90
7.2.2.	Caso b) agenti «senza mente» operanti in un ambiente strutturato . . . . .	90
7.2.3.	Caso c) agenti «con mente» operanti in un ambiente non strutturato . . . . .	91
7.2.4.	Caso d) agenti «con mente» operanti in un ambiente strutturato . . . . .	92
7.3.	Proprietà emergenti . . . . .	92
<b>8</b>	<b>Processi cognitivi e studio delle proprietà emergenti nei modelli ad agenti</b>	<b>95</b>
	<i>Riccardo Boero, Marco Castellani, Flaminio Squazzoni</i>	
8.1.	Processi cognitivi ed emergenza nei modelli ad agenti . . . . .	95
8.2.	ABM emergentisti, ovvero lo studio delle proprietà emergenti di primo ordine . . . . .	97
8.3.	ABM immergentisti, ovvero lo studio delle proprietà emergenti di secondo ordine . . . . .	101
8.4.	Conclusioni . . . . .	108
<b>9</b>	<b>Apprendimento: reti neurali, algoritmi genetici, sistemi a classificatore</b>	<b>111</b>
	<i>Gianluigi Ferraris</i>	
9.1.	Introduzione . . . . .	111
9.2.	Autonomia decisionale e capacità degli agenti . . . . .	113
9.3.	Le reti neurali artificiali . . . . .	115
9.4.	Gli algoritmi genetici . . . . .	117
9.5.	I sistemi a classificatore . . . . .	119
9.6.	Paradigma «mentale» e paradigma «individuale» nell'applicazione dei metodi evolutivi . . . . .	121
9.6.1.	Paradigma «mentale» . . . . .	121
9.6.2.	Paradigma «individuale» . . . . .	123
9.7.	Struttura dei modelli: lo schema ERA . . . . .	124
9.8.	Generalità dei metodi . . . . .	124
9.9.	Potenziamento dei metodi . . . . .	125
9.9.1.	Alfabeti estesi ed operatori speciali . . . . .	125
9.9.2.	Normalizzazione dei valori di <i>fitness</i> . . . . .	126
9.9.3.	Cooperazione fra diversi algoritmi . . . . .	127
9.10.	Utilizzare algoritmi genetici, sistemi a classificatore e reti neurali artificiali nei modelli . . . . .	128

9.11. Conclusioni . . . . .	130
<b>10 Costruire agenti intelligenti utilizzando la teoria dell'evidenza</b>	<b>131</b>
<i>Guido Fioretti</i>	
10.1. Introduzione . . . . .	131
10.2. La teoria dell'evidenza . . . . .	132
10.3. Esempio: un attacco aereo . . . . .	139
<b>11 Tempo, casualità e sincronizzazione degli eventi nei modelli</b>	<b>145</b>
<i>Gianluigi Ferraris</i>	
11.1. Introduzione . . . . .	145
11.2. Tempo reale e tempo simulato . . . . .	146
11.3. Simulare il caso . . . . .	148
11.3.1. Controllare il «caso» per replicare i risultati . . . . .	149
11.3.2. Una proposta di metodo per gestire i numeri casuali . . . . .	150
11.4. Contemporaneità e sequenzialità: il parallelismo . . . . .	151
<b>12 La struttura delle comunicazioni tra agenti</b>	<b>155</b>
<i>Guido Fioretti</i>	
12.1. Introduzione . . . . .	155
12.2. La componente gigante . . . . .	155
12.3. Il mondo piccolo . . . . .	157
12.4. Le reti scalabili . . . . .	160
12.5. Comunità in rete . . . . .	165
<b>III Strumenti</b>	<b>169</b>
<b>13 Strumenti: introduzione</b>	<b>171</b>
<i>Pietro Terna</i>	
13.1. Gli strumenti . . . . .	171
13.2. Scelte di approfondimento . . . . .	172
13.3. Swarm, JAS e la programmazione a oggetti . . . . .	175
13.4. Caratteristiche fondanti di NetLogo . . . . .	176
13.5. Un confronto . . . . .	176
<b>14 Swarm</b>	<b>179</b>
<i>Riccardo Boero, Matteo Morini</i>	
14.1. Introduzione . . . . .	179
14.2. L'ambiente di simulazione . . . . .	181
14.2.1. L'osservatore . . . . .	183
14.2.2. Il modello . . . . .	184
14.3. Primi passi . . . . .	185
14.3.1. Un agente semplice in un mondo semplice (ma duro) . . . . .	186
14.3.2. Molti agenti in un mondo complicato . . . . .	194
14.4. Un esempio: Heatbugs . . . . .	198
14.4.1. Il mondo degli insetti . . . . .	198

14.4.2. Gli insetti . . . . .	199
14.4.3. Visualizzazione della simulazione . . . . .	199
14.5. Conclusioni . . . . .	202
<b>15 JAS</b>	<b>205</b>
<i>Michele Sonnessa</i>	
15.1. Introduzione . . . . .	205
15.2. Installazione . . . . .	206
15.3. Primi passi con JAS . . . . .	208
15.4. Il modello di esempio HeatBugs . . . . .	211
15.5. Gli agenti HeatBug . . . . .	214
15.6. L'observer . . . . .	216
15.7. Le statistiche . . . . .	219
15.8. La biblioteca di funzioni sulle reti . . . . .	220
<b>16 NetLogo</b>	<b>225</b>
<i>Michele Sonnessa</i>	
16.1. Introduzione . . . . .	225
16.2. L'installazione . . . . .	226
16.3. L'ambiente di sviluppo . . . . .	226
16.4. Il linguaggio di programmazione . . . . .	227
16.5. I primi passi . . . . .	228
16.6. Un modello di esempio . . . . .	231
16.7. Le statistiche . . . . .	235
16.8. Conclusione . . . . .	236
<b>IV Modelli</b>	<b>239</b>
<b>17 Un simulatore di borsa costruito con Swarm</b>	<b>241</b>
<i>Pietro Terna</i>	
17.1. I simulatori di borsa ad agenti, verso una scelta radicale . . .	241
17.2. Il modello SUM . . . . .	243
17.3. I risultati con soli agenti artificiali . . . . .	243
<b>18 Una simulazione neo-keynesiana ad agenti eterogenei</b>	<b>247</b>
<i>Massimo Salzano</i>	
18.1. Introduzione . . . . .	247
18.2. Motivazione e rapporto con i lavori esistenti . . . . .	249
18.2.1. Il caso di agenti rappresentativi . . . . .	250
18.2.2. Il caso di agenti eterogenei . . . . .	251
18.2.3. Le modificazioni di fase e l'approccio <i>top-down</i> . . . .	254
18.3. Il contesto di simulazione . . . . .	256
18.3.1. L'ipotesi di agenti rappresentativi . . . . .	260
18.3.2. Il caso di agenti eterogenei . . . . .	261
18.4. Il modello di simulazione . . . . .	262

18.5. Gli strumenti per analizzare gli effetti di politica nel caso di sistemi complessi incerti e basati su agenti eterogenei . . . .	264
18.6. Risultati della simulazione . . . . .	266
18.6.1. L'emergenza di caratteristiche macroeconomiche dall'eterogeneità degli agenti . . . . .	266
18.6.2. «Computer-Assisted Reasoning» e gli effetti delle politiche fiscali . . . . .	270
18.7. Risultati differenti ottenuti dai modelli tradizionali e loro motivazioni. . . . .	273
18.8. Conclusioni e possibili estensioni del modello . . . . .	274
<b>19 L'impresa come contesto tipico per la complessità</b>	<b>279</b>
<i>Pietro Terna</i>	
19.1. Ricostruire l'impresa in simulazione . . . . .	279
19.2. Un doppio formalismo . . . . .	281
19.3. Obiettivi teorici e processo di decisione . . . . .	282
<b>20 I livelli della simulazione per l'impresa</b>	<b>285</b>
<i>Michele Sonnessa</i>	
20.1. Introduzione . . . . .	285
20.2. I modelli analitici dei sistemi dinamici . . . . .	286
20.3. La simulazione dei sistemi dinamici . . . . .	286
20.3.1. Rappresentazione del tempo . . . . .	287
20.4. Le più diffuse tecniche di simulazione . . . . .	288
20.5. Simulazione di processo . . . . .	288
20.5.1. Le funzionalità tipiche . . . . .	290
20.5.2. Un esempio . . . . .	291
20.6. System dynamics . . . . .	294
20.6.1. Le variabili . . . . .	295
20.6.2. I ritardi . . . . .	296
20.6.3. I modelli di causa-effetto . . . . .	297
20.6.4. Un esempio . . . . .	299
20.7. Simulazione basata su agenti . . . . .	302
20.7.1. La programmazione ad oggetti . . . . .	302
20.7.2. Dall'OOP ai modelli ad agenti . . . . .	303
20.7.3. Il linguaggio UML . . . . .	303
20.7.4. Il paradigma modello-osservatore . . . . .	304
20.7.5. Un esempio . . . . .	305
20.8. Conclusioni . . . . .	310
<b>21 jES (java Enterprise Simulator) e jES Open Foundation</b>	<b>311</b>
<i>Pietro Terna</i>	
21.1. Introduzione . . . . .	311
21.2. Dizionario del modello e classificazione delle componenti; le cose da fare e chi le fa . . . . .	312



21.3. Generazione degli ordini: OderGenerator e OrderDistiller, con <i>WD</i> e <i>WDW</i> . . . . .	313
21.4. Descrizione delle unità, con <i>DW</i> . . . . .	314
21.5. Esempi senza e con sequenza temporale esplicita (con OderGenerator e con OrderDistiller) . . . . .	315
21.5.1. Uso di unità semplici o complesse e prove sulla flessibilità, con generazione a caso delle ricette produttive	315
21.5.2. Distillazione degli ordini, con le relative ricette, da un repertorio, secondo sequenze prestabilite . . . . .	319
21.5.3. Distillazione di ordini con jESOF . . . . .	322
21.5.4. Un secondo esempio con jESOF: le formiche di Langton	326
<b>V Applicazioni</b>	<b>329</b>
<b>22 Esperimenti con agenti umani in un contesto di simulazione</b>	<b>331</b>
<i>Pietro Terna</i>	
22.1. Dalla simulazione ad agenti agli esperimenti . . . . .	331
22.2. Un esempio, relativo a una borsa simulata . . . . .	332
22.3. Aspetti tecnici . . . . .	334
<b>23 Ottimizzazione della produzione (applicazioni nel ciclo tessile)</b>	<b>337</b>
<i>Matteo Morini</i>	
23.1. Introduzione . . . . .	337
23.2. Il problema della pianificazione . . . . .	338
23.3. La produzione nell'industria tessile: un approfondimento . . . . .	340
23.3.1. Attrezzaggio delle unità produttive . . . . .	341
23.3.2. Costi dovuti a consegne ritardate . . . . .	342
23.3.3. Interferenze nelle attività di attrezzaggio e sorveglianza . . . . .	343
23.4. Valutazione mediante simulazione . . . . .	344
23.4.1. Sperimentare soluzioni . . . . .	345
23.4.2. Chi inventa le pianificazioni? Il «Golem»! . . . . .	346
23.4.3. Emergono le pianificazioni migliori . . . . .	347
<b>24 Organizzazione di sistemi aziendali</b>	<b>349</b>
<i>Pietro Terna</i>	
24.1. Il caso di una azienda meccanica con produzione tradizionale	349
24.2. Il caso di una azienda dell'abbigliamento, organizzata in modo non convenzionale . . . . .	352
<b>25 Razionalizzazione di interventi con azione sul territorio</b>	<b>355</b>
<i>Pietro Terna</i>	
25.1. Descrizione di un sistema di intervento di pronto soccorso . . . . .	355
25.2. La simulazione . . . . .	356

<b>26 Simulazioni ad agenti e industrie ad alta intensità di capitale</b>	<b>361</b>
<i>Massimo Daniele Sapienza</i>	
26.1. Introduzione . . . . .	361
26.2. Il mercato elettrico come sistema complesso . . . . .	364
26.3. Industry Evolution Model (Iem) . . . . .	366
26.4. Electricity Market Complex Adaptive System (Emcas) . . . . .	367
26.5. Conclusioni . . . . .	370
<b>27 Una sintesi: dall'analisi what-if all'evoluzione dell'impresa</b>	<b>373</b>
<i>Gianluigi Ferraris</i>	
27.1. Simulazioni e conoscenza aziendale . . . . .	374
27.2. Analisi what if e generazione di strategie . . . . .	376
27.3. Utilizzare al meglio un processo . . . . .	377
27.4. Evolvere processi, aziende, interi distretti . . . . .	378
27.5. La realizzazione di un modello di distretto: un esercizio . . . . .	380
<b>28 Imprese e reti di imprese, modellistica evolutiva</b>	<b>383</b>
<i>Pietro Terna</i>	
28.1. La formazione di un ciclo economico dovuta alla interazione tra imprese . . . . .	383
28.2. Un modello di coevoluzione tra il sistema del lavoro e quello delle imprese . . . . .	385
<b>29 Banche e imprese</b>	<b>391</b>
<i>Domenico Delli Gatti, Mauro Gallegati, Gianfranco Giulioni</i>	
29.1. Introduzione . . . . .	391
29.2. Il modello . . . . .	392
29.3. Simulazioni . . . . .	394
29.3.1. Gli oggetti . . . . .	395
29.3.2. La dinamica . . . . .	398
29.4. Conclusioni . . . . .	400
<b>30 Conclusioni</b>	<b>403</b>
<i>Francesco Luna</i>	
30.1. Conclusioni . . . . .	403
<b>Riferimenti bibliografici</b>	<b>411</b>
<b>Indice analitico</b>	<b>429</b>
<b>Notizie sugli autori</b>	<b>433</b>

# Costruire agenti intelligenti utilizzando la teoria dell'evidenza

## 10.1. Introduzione

La teoria della decisione basata sulla massimizzazione dell'utilità soggettiva attesa è oramai un'elegante ma poco funzionale edificio sommerso dalle critiche dell'economia sperimentale, la quale poco alla volta ha distrutto la pretesa di realismo di ognuno dei suoi assiomi. L'elegante edificio viene difeso presentandolo come teoria normativa, ma anche questo argomento è opinabile. Quelli che la teoria chiama «errori» decisionali potrebbero essere il risultato di euristiche evolute nel corso di millenni per permettere all'uomo di affrontare problemi malposti, alternative non ben definite, conseguenze poco chiare. Situazioni che si discostano di molto dalla forma in cui la teoria della decisione basata sull'utilità soggettiva attesa suppone che i problemi si presentino.

In molti casi, chi costruisce modelli ad agenti vuole che questi siano il più possibile intelligenti, che sappiano interagire in maniera creativa e che sappiano comprendere e reagire alle novità emergenti. Spesso, i costruttori di modelli ad agenti fanno uso di strumenti mutuati dall'intelligenza artificiale, quali le reti neurali o i sistemi a classificatori. Questi strumenti sono in grado di produrre risultati eccellenti, ma sono anche computazionalmente pesanti. Per chi volesse costruire un modello con un grandissimo numero di agenti e che sia anche leggero, il vecchio approccio algoritmico della teoria della decisione può ancora essere attraente.

La teoria della decisione non equivale necessariamente alla massimizzazione dell'utilità attesa e anzi in realtà si estende ben al di là di essa. In questo capitolo si vuole presentare un modo di affrontare il tema che, pur essendo algoritmico e quindi computazionalmente leggero, compie delle scelte profondamente radicali nel trattamento dell'incertezza e

costituisce una valida alternativa alle teorie della decisione fondate sull'utilità e sulla probabilità. Si tratta della *teoria dell'evidenza*, nota anche come «teoria di Dempster-Shafer» o «teoria delle funzioni di convincimento».

Proviamo a ragionare sulle ipotesi più o meno implicite che vengono fatte nel momento in cui si adottano concetti come utilità o probabilità. Perché mai dovremmo supporre che i decisori concepiscono *a priori* un insieme di possibilità e una gradazione di preferenze, che poi applicano ad ogni situazione che incontrano? E se i decisori *inventassero* possibilità e preferenze in maniera sempre diversa ad ogni nuovo problema che incontrano? E se le preferenze dipendessero dalle possibilità? Certo, non sarebbe possibile trasformare i convincimenti umani in probabilità che moltiplicano utilità. Ma la teoria dell'evidenza è lì a mostrarci che una matematica del ragionamento incerto è ancora possibile.

Per chiarire cosa significa rinunciare all'idea che le preferenze siano indipendenti dalle probabilità, si consideri l'antica favola della volpe e dell'uva. La volpe non riesce a raggiungere l'uva (cambiamento della valutazione delle probabilità delle conseguenze associate agli atti) e *di conseguenza* sostiene che l'uva non è matura (cambiamento della valutazione dell'utilità). Può non apparire razionale nell'immediato, ma come sarebbe la nostra vita se non fossimo sufficientemente flessibili da adattare gli scopi delle nostre azioni alle circostanze che incontriamo? Non siamo così coerenti come ci piace descriverci e probabilmente è bene che sia così.

## 10.2. La teoria dell'evidenza

La teoria dell'evidenza è un filone relativamente recente nella matematica del ragionamento incerto. Nata negli anni '70 dai lavori pionieristici di Arthur Dempster e Glenn Shafer [Shafer, 1976], la teoria dell'evidenza si è successivamente sviluppata con lentezza, ma continuità, trovando applicazione nella progettazione di sistemi esperti di aiuto alla decisione.

La teoria dell'evidenza si distacca in maniera radicale dalla teoria della probabilità perché non prende come situazione di riferimento quella di un giocatore che lancia un dado, ma piuttosto quella di una giuria che valuta diverse testimonianze o di un detective che esamina diversi indizi. Si tratta di una differenza fondamentale, perché il tipo di problema preso in considerazione è diverso.

Il giocatore che lancia un dado o una moneta *conosce* l'insieme delle possibili conseguenze del suo gesto: le sei facce del dado, le due facce della moneta, ecc. Di conseguenza, la teoria della decisione basata sulla probabilità deve assimilare ogni decisione a quella dello scommettitore, comprese le decisioni di investimento in nuove tecnologie o le valutazioni del rischio paese in particolari momenti storici – situazioni nelle quali è arduo supporre che i decisori siano in grado di immaginare tutte le possibili conseguenze delle loro azioni.

Piuttosto, potrebbe aver senso assimilare questo genere di decisioni economiche a quelle del detective che scopre nuovi indizi, o della giuria

il cui verdetto può essere ribaltato all'ultimo momento da un testimone-chiave che arriva appena in tempo. Ad esempio, un manager che prende decisioni d'investimento sulla base dei pareri di diversi esperti che gli prospettano una serie di scenari si trova in un contesto nel quale i concorrenti e gli sviluppi tecnologici e politici possono ribaltare la situazione in ogni momento. L'aspetto più interessante della teoria dell'evidenza è la sua capacità di dar conto di un decisore che non chiude il suo orizzonte su un insieme finito di possibilità, ma resta sempre aperto alla sorpresa. Per far ciò, la teoria dell'evidenza *non* associa all'insieme delle possibilità un insieme di operatori algebrici.

Secondo la teoria della probabilità l'insieme delle possibilità è un'algebra, ossia un insieme di elementi che possono essere combinati mediante gli operatori algebrici di inclusione, intersezione, complementazione. La teoria della probabilità assume che un decisore conosca un insieme di possibilità elementari, e che derivi da queste tutte le possibilità che possano essere costruite a partire da questi «mattoni», mediante unioni, intersezioni e complementazioni.

Al contrario, la teoria dell'evidenza non definisce alcun operatore sull'insieme delle possibilità. Vale a dire, la teoria dell'evidenza non dà per scontato che un individuo sia in grado di pensare tutte le unioni, intersezioni e complementazioni degli eventi elementari che prende in considerazione. Piuttosto, la teoria lascia che l'insieme delle possibilità evolva in concomitanza con l'evidenza empirica che via via si presenta al decisore, anche se quest'evidenza si riferisce a possibilità che non erano state immaginate in precedenza. Allo scopo di sottolineare questa differenza, la teoria dell'evidenza individua l'insieme delle possibilità prese in considerazione da un individuo come il suo «quadro del discernimento» (*frame of discernment*).

Cerchiamo di chiarire con un esempio che cosa implica il fatto che l'insieme delle possibilità non è un'algebra. Supponiamo che il re del paese  $X$  prenda in considerazione l'ipotesi di muovere guerra al re del paese  $Y$ . Supponiamo che gli strateghi presentino al re di  $X$  le seguenti possibilità:

- $A_1 = \{\text{L'esercito di } Y \text{ verrà sbaragliato in pochi giorni}\};$
- $A_2 = \{\text{L'esercito di } Y \text{ si difenderà bene, ma alla fine dovrà arrendersi}\}.$

Supponiamo poi che i servizi segreti forniscano al re di  $X$  dell'evidenza empirica a sostegno di  $A_1$  e  $A_2$  su una scala graduata da 0 a 1. Ad esempio,  $p(A_1) = 0,8$  e  $p(A_2) = 0,1$ .

Il re di  $X$  si accorge che manca ancora una massa di 0,1 per arrivare ad 1. Se egli usa la teoria della probabilità nella sua versione additiva, questo 0,1 deve essere distribuito equamente tra  $A_1$  e  $A_2$ . Avremo quindi  $p(A_1) = 0,85$  e  $p(A_2) = 0,15$ . Se il re usa la teoria della probabilità nella sua versione subadditiva, otterrà i seguenti intervalli di probabilità:  $0,8 \leq p(A_1) \leq 0,9$

e  $0, 1 \leq p(A_2) \leq 0, 2$ . In entrambi i casi, tutta l'evidenza disponibile viene focalizzata sulle due possibilità  $A_1$  e  $A_2$ .

La teoria della probabilità in realtà offre una via d'uscita a questo problema, che è quella di definire un evento residuale attraverso l'operazione di complementazione. Il re di  $X$  potrebbe definire un  $A_3 = \neg(A_1 \cup A_2)$  il cui significato è «tutto ciò che è diverso da  $A_1$  e da  $A_2$ », e assegnare  $p(A_1) = 0, 8$ ,  $p(A_2) = 0, 1$  e  $p(A_3) = 0, 1$ . Il problema è che così facendo, il re di  $X$  non è in grado di distinguere con maggior dettaglio gli sviluppi della guerra se questa si evolve verso direzioni impreviste.

Se invece il re di  $X$  usa la teoria dell'evidenza, la massa  $0, 1$  che mancava per arrivare a  $1$  non deve essere assegnata d'ufficio né ad  $A_1$ , né ad  $A_2$ . Questa massa rimane fluttuante sul quadro del discernimento senza legarsi ad alcuna possibilità. Eventualmente, la guerra potrebbe presentare degli sviluppi inattesi, i quali saranno successivamente inseriti nel quadro del discernimento e interagiscono con le possibilità che erano state prese in considerazione in precedenza.

Rimanendo all'interno dell'esempio guerresco, si consideri che – solo per citare le guerre più famose combattute dai tempi di Napoleone ad oggi – *ex ante* nessuno aveva pensato all'inverno russo, alle trincee delle Ardenne, alla bomba atomica, ai guerriglieri Vietcong od agli attentatori suicidi. Tutti questi sviluppi inattesi hanno avuto un'enorme importanza e sono stati presi in considerazione con il maggior dettaglio possibile dai decisori coinvolti. Di fatto, non sono stati trattati alla stregua di eventi residuali.

Cominciamo ora a fissare le idee, prendendo in considerazione un quadro del discernimento  $\Theta$ . Si supponga che il decisore riceva una *testimonianza* (*body of evidence*) sotto forma di numeri che corroborano in varia misura una serie di possibilità  $A_1, A_2, \dots, A_N$ . In altre parole una testimonianza è un insieme di numeri  $\{m(A_1), m(A_2), \dots, m(\Theta)\}$ , dove  $m(A_i)$  indica l'evidenza empirica che sostiene la possibilità  $A_i$ .

Poiché il quadro del discernimento non è un'algebra, il numero  $m$  assegnato a  $\Theta$  non si riferisce a nessuna possibilità in particolare. È piuttosto un'indicazione di quanto sia scarsa l'evidenza a sostegno delle possibilità che sono state elencate.

Sebbene ciò non sia strettamente essenziale per la teoria dell'evidenza, i numeri  $m$  vengono di solito normalizzati in modo tale che

$$[10.1] \quad \sum_{i=1}^N m(A_i) + m(\Theta) = 1$$

Normalizzare a  $1$  secondo la 10.1 significa che se il formato originale della testimonianza è, ad esempio:

$$\{5; 32; 12; 3\}$$

dividendo per  $5 + 32 + 12 + 3 = 52$  si ottiene

$$\{0, 096; 0, 615; 0, 231; 0, 058\}$$

la cui somma è pari all'unità.

Supponiamo che il decisore voglia valutare fino a che punto l'evidenza empirica a sua disposizione sostiene una serie di ipotesi, ognuna delle quali suggerisce un diverso corso di azioni. Ad esempio, un investitore potrebbe prendere in considerazione diverse ipotesi circa l'acquisto di azioni di diverse imprese:  $H_1 = \{\text{acquistare azioni dell'impresa 1}\}$ ,  $H_2 = \{\text{acquistare azioni dell'impresa 2}\}$ ,  $H_3 = \{\text{acquistare azioni dell'impresa 3}\}$ , ecc. Per decidere, questa persona ascolta la testimonianza di una società di *rating*. Questa fornisce una testimonianza  $\{m(A_1), m(A_2), \dots, m(\Theta)\}$  i cui elementi potrebbero riferirsi a diversi aspetti, come lo stato finanziario, la capacità di innovazione tecnologica, i rischi istituzionali dei Paesi in cui operano queste imprese, ecc.

Evidentemente, il nostro decisore è interessato a riassumere tutta l'evidenza empirica relativa alle ipotesi che prende in considerazione sul suo quadro del discernimento, ad es. tutta l'evidenza empirica relativa all'ipotesi che certe azioni si apprezzeranno del 5% durante i prossimi due anni. Indichiamo una generica ipotesi con la lettera  $H$ .

Data una testimonianza  $\{m(A_1), m(A_2), \dots, m(\Theta)\}$ , il convincimento (*belief*) del decisore nella giustezza dell'ipotesi  $H$  è:

$$[10.2] \quad Bel(H) = \sum_{A_i \subseteq H} m(A_i)$$

La funzione di convincimento 10.2 raccoglie tutta l'evidenza empirica a favore dell'ipotesi  $H$  (es. «l'imputato è colpevole», «vinceremo la guerra», «il nuovo prodotto avrà successo», «le azioni saliranno», ecc.). Se le ipotesi  $H$  sono prese in considerazione in quanto possibili scelte, il sostegno empirico ad ognuna di esse determina la decisione.

Per definizione,  $Bel(\emptyset) = 0$  e  $Bel(\Theta) = 1$ . Quest'ultima condizione però non implica che dovrà verificarsi uno degli eventi inclusi nel quadro del discernimento.

Si noti inoltre che la teoria dell'evidenza non richiede di separare la desiderabilità di un evento (utilità) dalla facilità con cui esso può accadere (probabilità). Ciò significa, tra l'altro, che in questo contesto il comportamento della volpe nei riguardi dell'uva è del tutto ammissibile.

Oltre alla funzione di convincimento, la teoria dell'evidenza conosce la *funzione di plausibilità*:

$$[10.3] \quad Pl(H) = \sum_{H \cap A_i \neq \emptyset} m(A_i)$$

Si dimostra che il convincimento e la plausibilità sono legate dalla relazione  $Pl(H) = 1 - Bel(\neg H)$ . Se  $m(\Theta) > 0$  queste due misure non sono equivalenti, e può essere utile considerarle entrambe tenendo presente che  $Bel(H) \leq Pl(H)$ . Esse costituiscono l'analogo degli estremi inferiore e superiore di un intervallo di probabilità.

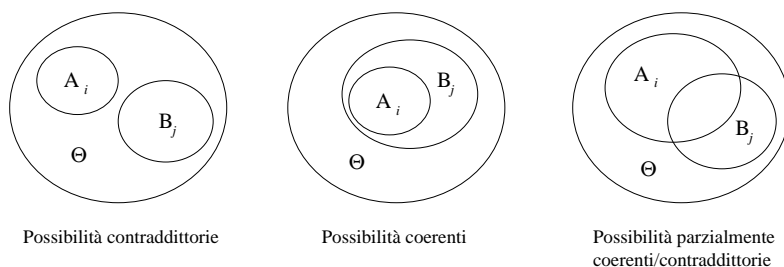


FIG. 10.1. Due possibilità contraddittorie (a sinistra), coerenti (al centro) e parzialmente coerenti/contraddittorie (a destra).

Si supponga ora che emergano fatti inattesi. Riprendendo l'esempio guerresco, si può immaginare che durante una battaglia un generale riceva testimonianze da diversi informatori circa l'effettivo svolgimento delle operazioni e che queste testimonianze, in parte coerenti e in parte contraddittorie l'una con l'altra, possano contenere notizie impreviste come il fatto che il nemico possiede delle armi tecnologicamente avanzate, il voltafaccia dell'agente segreto che si scopre aver fatto il doppio gioco, la capacità della guerriglia di mettere in difficoltà soldati più esperti e meglio equipaggiati e così via. La teoria dell'evidenza ha il suo punto di forza nella capacità di combinare fatti imprevisti e testimonianze parzialmente contraddittorie in un quadro del discernimento che evidenzia le possibilità rilevanti per il decisore.

Sia  $\{m(B_1), m(B_2), \dots, m(\Theta)\}$  la nuova testimonianza, che deve essere combinata con  $\{m(A_1), m(A_2), \dots, m(\Theta)\}$ . Anche nel caso particolarmente semplice in cui  $A_i \equiv B_i$  e  $m(A_i) = m(B_i)$  per  $\forall i$ , cioè che i due testimoni dicano esattamente la stessa cosa, le loro testimonianze devono essere combinate tra loro in quanto provengono da due fonti indipendenti. Ma può anche darsi che  $A_i \equiv B_i$  per  $\forall i$  e però  $\exists i : m(A_i) \neq m(B_i)$ , cioè che i due testimoni riferiscano la stessa storia, ma attribuendole diversi gradi di affidabilità. Soprattutto, in generale esiste almeno un  $i$  tale che  $A_i \not\equiv B_j \forall j$ , cioè i due testimoni non solo valutano gli stessi eventi in maniera diversa, ma raccontano storie diverse.

In quest'ultimo caso una nuova testimonianza può contenere elementi che sono coerenti con quelli della testimonianza precedente, oppure contraddittori, oppure possono in parte rafforzare la testimonianza precedente e in parte contraddirla. La fig. 10.1 mostra delle possibilità contraddittorie, coerenti e parzialmente coerenti/contraddittorie sul quadro del discernimento. Due possibilità contraddittorie vi compaiono come insiemi disgiunti, che possono rappresentare due interpretazioni delle quali una sola è vera, oppure due strategie, una sola delle quali può essere perseguita. Due possibilità coerenti sono rappresentate come due insiemi inclusi l'uno nell'altro, lì dove l'insieme incluso potrebbe riferirsi ad aspetti che



rafforzano l'interpretazione originaria. Infine due possibilità possono avere sia aspetti coerenti che aspetti contraddittori, nel qual caso i due insiemi si intersecano.

Tralasciamo il caso particolarmente banale in cui le due testimonianze non abbiano nessun elemento in comune. Ciò accade se in entrambe le testimonianze  $m(\Theta) = 0$  e tutti gli  $A_i$  e  $B_j$  sono tali che, per qualsiasi  $i$  e qualsiasi  $j$ ,  $A_i \cap B_j = \emptyset$ . In questo caso le due testimonianze devono essere considerate come un'unica testimonianza le cui masse devono essere normalizzate in modo da utilizzare la 10.1. In tutti gli altri casi, utilizziamo la regola di Dempster-Shafer.

In generale, due testimonianze

$$\{m(A_1), m(A_2), \dots, m(\Theta)\}$$

e

$$\{m(B_1), m(B_2), \dots, m(\Theta)\}$$

che soddisfano la 10.1 devono essere combinate in una testimonianza

$$\{m(C_1), m(C_2), \dots, m(\Theta)\}$$

che soddisfi anch'essa la 10.1. La regola di Dempster-Shafer permette di costruire una testimonianza combinata  $\{m(C_k)\}$  evidenziando gli elementi compatibili tra  $\{m(A_i)\}$  e  $\{m(B_j)\}$  e tralasciando quelli contraddittori. Per ogni possibilità  $C_k$ , l'ammontare di evidenza empirica combinata secondo la regola di Dempster-Shafer è:

$$[10.4] \quad m(C_k) = \frac{\sum_{A_i \cap B_j = C_k} m(A_i)m(B_j)}{1 - \sum_{A_i \cap B_j = \emptyset_k} m(A_i)m(B_j)}$$

Il numeratore dell'equazione 10.4 rappresenta l'influenza di quegli aspetti della seconda testimonianza che confermano la prima. Il denominatore rappresenta il complemento a 1 di quegli aspetti della seconda testimonianza che contraddicono la prima.

Quindi, la regola di Dempster-Shafer dice che l'evidenza empirica a sostegno della possibilità  $C_k$  è una frazione dell'evidenza compatibile tra le due testimonianze di partenza (il denominatore della 10.4). Questa frazione è la somma di tutte le testimonianze che non contraddicono in alcun modo  $C_k$ .

L'ordine in cui due testimonianze sono combinate non influisce sul risultato finale. Pertanto, per successiva combinazione di coppie di testimonianze la regola di Dempster-Shafer può essere utilizzata per combinare un numero di testimonianze anche molto elevato.

Il significato della regola di Dempster-Shafer risulta più chiaro se si considera il seguente caso particolarmente semplice.

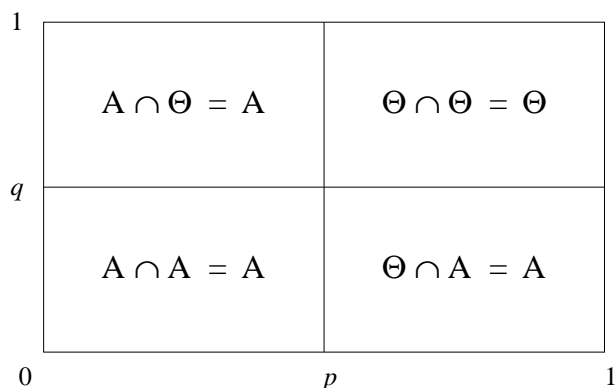


FIG. 10.2. Il quadro del discernimento è l'intero rettangolo, le possibilità  $A_1$  e  $B_1$  sono tratteggiate con inclinazioni opposte.

Siano le due testimonianze  $\{m(A_1) = p, m(\Theta) = 1 - p\}$  e  $\{m(B_1) = q, m(\Theta) = 1 - q\}$ . La fig. 10.2 illustra il quadro del discernimento sul quale le due testimonianze vengono combinate.

In questo semplice esempio non esiste evidenza contraddittoria, per cui il denominatore della 10.4 è pari a uno. Calcoliamo i valori delle masse  $m$  per la testimonianza combinata  $m(C_1), m(C_2), m(C_3), m(\Theta)$ , dove  $C_1 = A_1 \cap B_1$ ,  $C_2 = A_1 \cap \Theta$  e  $C_3 = B_1 \cap \Theta$ . Otteniamo  $m(C_1) = pq$ ,  $m(C_2) = p(1 - q)$ ,  $m(C_3) = (1 - p)q$ ,  $m(\Theta) = (1 - p)(1 - q)$ . Si noti che  $pq + p(1 - q) + (1 - p)q + (1 - p)(1 - q) = 1$ .

Si noti l'enorme differenza concettuale che separa la teoria dell'evidenza dalla teoria della probabilità. Il calcolo delle probabilità pretende di descrivere il modo in cui ragiona un essere umano attraverso le operazioni logiche di unione, intersezione e complementazione tra un insieme di possibilità date. Al contrario, la teoria dell'evidenza lascia all'essere umano la libertà di concepire ipotesi e, nello stesso tempo, suggerisce nuove ipotesi attraverso una valutazione della coerenza dell'evidenza disponibile.

Si tratta in effetti di un filone intellettuale che, in forme embrionali risale addirittura al XVIII secolo [Shafer, 1981]. Più recentemente tra gli economisti George Shackle era arrivato a concetti simili, pur senza formalizzarli [Fioretti, 2001, 2004].

La teoria dell'evidenza può essere utilizzata per creare agenti sufficientemente intelligenti da interpretare eventi non previsti dal suo algoritmo di comportamento ed essere in grado di arrivare comunque ad una decisione. La sua utilizzazione, pertanto, è da pensare come alternativa rispetto alle reti neurali, i sistemi a classificatori od altri modelli cognitivi.

Si noti che, sebbene in questo capitolo la teoria dell'evidenza sia stata presentata facendo uso di insiemi ben definiti, tutta la teoria è disponibile e viene di solito applicata utilizzando insiemi sfumati (*fuzzy sets*), [Dubois e

Prade, 1988]. In questo modo, un sistema di aiuto alle decisioni può essere in grado di utilizzare anche informazioni espresse in maniera imprecisa.

La teoria dell'evidenza ha il suo maggior limite nel richiedere che le testimonianze da combinare siano indipendenti tra loro, nonché affidabili. Se questo non è il caso, si può pesare la testimonianza con un coefficiente proporzionale alla sua affidabilità e alla sua indipendenza rispetto alle testimonianze precedenti. Tuttavia non si dispone di una metodologia oggettivamente valida per valutare detti coefficienti.

A questo proposito si può rilevare che secondo la regola di Dempster-Shafer l'aggiunta di un elemento di evidenza contraddittoria, facendo diminuire il valore numerico al denominatore della 10.4, finisce con il rafforzare il convincimento negli elementi di evidenza coerenti tra loro. In molte situazioni ciò sembra controintuitivo, in quanto la presenza di elementi contraddittori ci spinge a dubitare anche di quelli che sono in accordo tra loro.

In realtà, così facendo noi interpretiamo la presenza di contraddizioni come un'indicatore dell'affidabilità di una testimonianza, un aspetto che purtroppo la teoria dell'evidenza ignora completamente. Se volessimo far sì che i nostri agenti fossero in grado di concepire la possibilità che i loro colleghi mentano e di conseguenza attribuissero un peso alle loro testimonianze, gli algoritmi che descrivono il comportamento degli agenti si complicherebbero enormemente.

Di seguito si propone un esempio di calcolo del convincimento utilizzando le 10.4 e 10.2. Questo esempio è liberamente tratto da un recente libro dedicato alle applicazioni economiche della teoria dell'evidenza [Gillett, 2002]. Altri esempi e confronti con il calcolo delle probabilità sono disponibili in Shafer [1990].

### 10.3. Esempio: un attacco aereo

Si supponga che la rete dei radar militari individui un oggetto che invade lo spazio aereo e sembra dirigersi ad alta velocità verso una centrale nucleare. Il tracciato del radar porterebbe escludere che si tratti di un aereo, mentre potrebbe trattarsi di un missile, oppure di qualcos'altro. La «testimonianza» del radar si concentra sulle seguenti possibilità:

$A_1$  : Aereo

$A_2$  : Missile

A queste possibilità siano associate le seguenti masse:  $m(A_1) = 0,20$ ,  $m(A_2) = 0,75$ . Inoltre, una massa non nulla aleggia sul quadro del discernimento:  $m(\Theta) = 0,05$ .

Il sistema dei satelliti spia fornisce altre indicazioni importanti. I satelliti spia indicano che si tratta di un missile, e specificano anche se si tratta

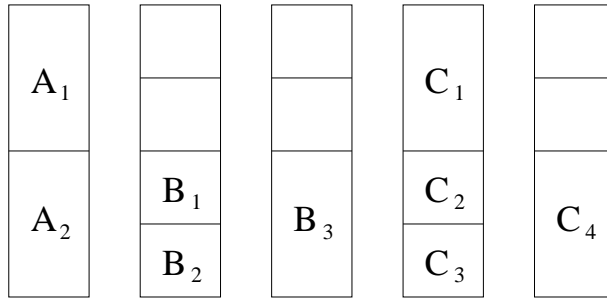


FIG. 10.3. Il quadro del discernimento, ripetuto cinque volte in modo da evidenziare le posizioni relative di  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_1$ ,  $C_4$ .

di un missile a testata convenzionale o nucleare. Gli ingegneri che gestiscono i satelliti, però, dicono che i relativi dispositivi possono sbagliare sia nell'identificazione del tipo di testata, sia nell'identificazione di un oggetto volante come missile. Perciò, la «testimonianza» dei satelliti spia ha per oggetto le seguenti possibilità:

- $B_1$  : Missile a testata convenzionale
- $B_2$  : Missile a testata nucleare
- $B_3$  : Missile con qualunque tipo di testata

dove  $B_3 = B_1 \cup B_2$  significa che i satelliti spia hanno identificato l'oggetto come un missile, ma non sanno identificarne il tipo di testata.

Si noti anche che  $A_2 \equiv B_3$  mentre  $A_1$  non ha equivalenti nella «testimonianza» dei satelliti spia. Ciò significa che la «testimonianza» dei satelliti spia sta introducendo nuove possibilità nel quadro del discernimento del decisore.

A queste possibilità siano associate le seguenti masse:  $m(B_1) = 0,30$ ,  $m(B_2) = 0,60$ ,  $m(B_3) = 0,05$ . Inoltre, una massa non nulla aleggia sul quadro del discernimento:  $m(\Theta) = 0,05$ .

Cerchiamo ora di combinare le due testimonianze  $A$  e  $B$  usando la regola di Dempster-Shafer (10.4).

Dobbiamo prima di tutto scegliere le possibilità sulle quali definire la testimonianza combinata, ossia gli insiemi  $\{C_k\}$  nella 10.4. Su questo punto la teoria dell'evidenza non pone restrizioni; in quest'esempio, come in generale si fa per non perdere dettaglio, decidiamo di prendere in considerazione tutte le possibilità messe in luce dalle testimonianze  $A$  e  $B$ . Quindi gli insiemi  $\{A_i\}$ ,  $\{B_j\}$  e  $\{C_k\}$  sono disposti come illustrato in fig. 10.3.

Nella fig. 10.3 possiamo verificare che  $C_1$  può essere ottenuto solamente da  $A_1 \cap \Theta$ . Le intersezioni vuote tra  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $\Theta$  e  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ ,  $\Theta$  sono  $A_1 \cap B_1$ ,  $A_1 \cap B_2$  e  $A_1 \cap B_3$ . Applicando la 10.4 otteniamo:

$$m(C_1) = \frac{0,20 \times 0,05}{1 - (0,20 \times 0,30 + 0,20 \times 0,60 + 0,20 \times 0,05)} \approx 0,0123$$

Analogamente,  $C_2$  può essere ottenuto da  $A_2 \cap B_1$  oppure da  $\Theta \cap B_1$ . Il denominatore della 10.4 non cambia. Otteniamo:

$$m(C_2) = \frac{0,75 \times 0,30 + 0,05 \times 0,30}{1 - (0,20 \times 0,30 + 0,20 \times 0,60 + 0,20 \times 0,05)} \approx 0,2963$$

In modo del tutto simile,  $C_3$  può essere ottenuto da  $A_2 \cap B_2$  oppure da  $\Theta \cap B_2$ . Sempre con lo stesso denominatore otteniamo:

$$m(C_3) = \frac{0,75 \times 0,60 + 0,05 \times 0,60}{1 - (0,20 \times 0,30 + 0,20 \times 0,60 + 0,20 \times 0,05)} \approx 0,5926$$

Ancora,  $C_4$  può essere ottenuto da  $A_2 \cap B_3$  oppure da  $A_2 \cap \Theta$  oppure da  $\Theta \cap B_3$ . Otteniamo:

$$m(C_4) = \frac{0,75 \times 0,05 + 0,75 \times 0,05 + 0,05 \times 0,05}{1 - (0,20 \times 0,30 + 0,20 \times 0,60 + 0,20 \times 0,05)} \approx 0,0957$$

Infine,  $\Theta$  può essere ottenuto solo da  $\Theta \cap \Theta$ :

$$m(\Theta) = \frac{0,05 \times 0,05}{1 - (0,20 \times 0,30 + 0,20 \times 0,60 + 0,20 \times 0,05)} \approx 0,0031$$

Si può verificare che la somma delle predette masse è approssimativamente pari all'unità.

A questo punto abbiamo combinato la «testimonianza» del radar con quella dei satelliti spia, ma è difficile che una decisione importante sia assunta senza interpellare degli esperti. All'evidenza portata dai radar e dai satelliti i servizi segreti obiettano che il paese dal quale sembra provenire l'oggetto in questione è privo di tecnologia nucleare. Poiché però si tratta di un paese che già in passato ha mostrato intenzioni bellicose, tra l'altro sperimentando anche lanci di missili sul proprio territorio, i servizi segreti sono propensi a ritenere che si tratti o di un missile a testata convenzionale, oppure di un aereo nemico comunque privo di armamento nucleare. I servizi segreti lasciano anche aperto uno spiraglio per la possibilità che si tratti di un aereo civile, e comunque in ogni caso sono pronti ad ammettere la possibilità che le informazioni in loro possesso siano inaccurate. La «testimonianza» dei servizi segreti pertanto si articola sulle seguenti possibilità:

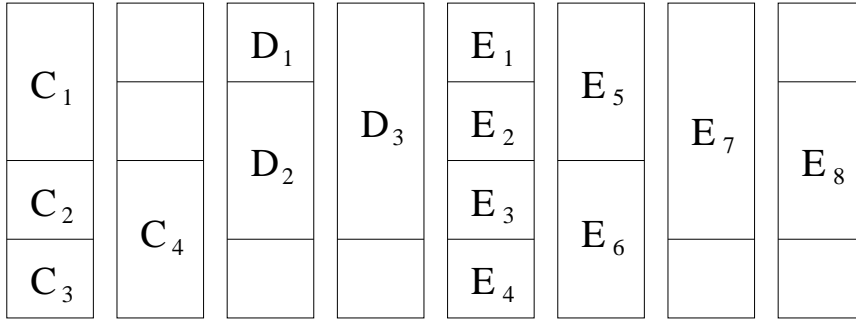


FIG. 10.4. Il quadro del discernimento, ripetuto otto volte in modo da individuare le posizioni relative di  $C_1, C_2, C_3, C_4, D_1, D_2, D_3, E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, E_7, E_8$ .

$D_1$  : Aereo civile

$D_2$  : Aereo nemico o missile a testata convenzionale

$D_3$  : Aereo di qualunque tipo, oppure missile a testata convenzionale

dove  $D_3 = D_1 \cup D_2$ .

A queste possibilità siano associate le seguenti masse:  $m(D_1) = 0,10$ ,  $m(D_2) = 0,60$ ,  $m(D_3) = 0,25$ . Inoltre, una massa non nulla aleggia sul quadro del discernimento:  $m(\Theta) = 0,05$ .

In questo caso nessuno degli insiemi  $D_l$  coincide con uno degli insiemi  $C_k$ . In fig. 10.4 possiamo vedere come sono posizionati e quali possibilità  $E_m$  prenderemo in considerazione.

Procedendo in maniera del tutto analoga al caso precedente, troviamo:  $m(E_1) \approx 0,0039$ ,  $m(E_2) \approx 0,0186$ ,  $m(E_3) \approx 0,8747$ ,  $m(E_4) \approx 0,0745$ ,  $m(E_5) \approx 0,0093$ ,  $m(E_6) \approx 0,0120$ ,  $m(E_7) \approx 0,0019$ ,  $m(E_8) \approx 0,0047$ ,  $m(\Theta) \approx 0,0004$ .

A questo punto, utilizzando l'equazione 10.2 possiamo trovare il convincimento che è lecito avere riguardo ad una particolare ipotesi di nostro interesse. Ad esempio, si supponga di volersi interrogare sulla seguente ipotesi:

$$H = \text{L'oggetto che si sta avvicinando è un missile}$$

Poiché  $E_3 \subseteq H$ ,  $E_4 \subseteq H$  e  $E_6 \subseteq H$ , la 10.2 fornisce:

$$\text{Bel}(H) = m(E_3) + m(E_4) + m(E_6) \approx 0,9612$$

Questo valore rappresenta la forza con cui è lecito credere che l'oggetto in questione sia un missile, date le tre «testimonianze» del sistema radar,

dei satelliti spia e dei servizi segreti. Questo valore è stato ottenuto valutando opportunamente l'evidenza coerente e quella contraddittoria. Durante questo processo, nuove possibilità sono state accolte nel quadro del discernimento senza alcun problema.

## Bibliografia

- ABERTH, O. [1980]. *Computable Analysis*. McGraw-Hill, New York.
- [2001]. *Computable Calculus*. Academic Press, London.
- AGAGLIATE, M. [2004]. *La simulazione ad agenti e lo studio dell'economia: la ricostruzione virtuale del mercato borsistico*. Tesi di laurea in linea a web. econ.unito.it/terna/tesi/agagliate.
- AGIOMIRGIANAKIS, G.M. e MAVROMMATIS, Y.E. [1998]. *Economics and Mathematics: Recent Views on a Controversial Relationship*. In *International Journal of Social Economics*, vol. 25, pp. 1565-1571.
- AGRE, P.E. e CHAPMAN, D. [1987]. *Pengi: An Implementation of a Theory of Activity*. In *AAAI*. pp. 268-272.
- ALBA, E. e TROYA, J. [1999]. *A Survey of Parallel Distributed Genetic Algorithms*. In *Complexity*, vol. 4(4), pp. 31-52.
- ALKER JR., H. [1974]. *Computer Simulations: Inelegant Mathematics and Worse Social Science?*. In *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, vol. 5, pp. 139-155.
- ALLAS, T. e GEORGIADIS, N. [2001]. *Devising effective corporate and regulatory strategies*. In *McKinsey Quarterly*, vol. 2.
- ANDERSON, P.W., ARROW, K.J. e PINES, D., cur. [1988]. *The Economy as an Evolving Complex System*. SFI Studies in the Sciences of Complexity. Addison-Wesley, Redwood City, CA.
- ANDREONI, J. e MILLER, J. [1995]. *Auctions with adaptive artificial agents*. In *Games and Economic Behavior*, vol. 10, pp. 39-64.
- ANDREWS, C. e AXTELL, R. [2002]. *Agent Based Modeling of Industrial Ecosystems*. The Lake Arrowhead Conference - 2002.
- ARIFOVIC, J. [1995]. *Genetic Algorithms and Inflationary Economies*. In *Journal of Monetary Economics*, vol. 36(1), pp. 219-243.
- [1996]. *The Behavior of the Exchange Rate in the Genetic Algorithm and Experimental Economies*. In *Journal of Political Economy*, vol. 104(3), pp. 510-541.



- ARTHUR, B. [1991]. *On designing economic agents that behave like human agents: A behavioral approach to bounded rationality*. In *American Economic Review*, vol. 81, pp. 353-359.
- [1994]. *Inductive Reasoning and Bounded Rationality*. In *American Economic Review*, vol. 84, p. 406.
- [1999]. *Ragionamento induttivo e razionalità limitata*. In M. Lombardi, cur., *Evoluzione delle conoscenze e decisioni economiche*. Franco Angeli, pp. 95-105.
- ARTHUR, W.B., DURLAUF, S.N. e LANE, D.A., cur. [1997]. *The Economy as an Evolving Complex System II*. Addison-Wesley.
- AUYANG, S.Y. [1988]. *Foundations of Complex-System Theories in Economics, Evolutionary Biology, and Statistical Physics*. Cambridge University Press, Cambridge.
- AXELROD, R. [1997a]. *Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences*. In R. Conte, R. Hegselmann e P. Terna, cur., *Simulating Social Phenomena, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 21-40.
- [1997b]. *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Cooperation*. Princeton University Press, Princeton.
- AXELROD, R., RIOLO, R.L. e COHEN, M.D. [1948]. *Beyond Geography: Cooperation with Persistent Links in the Absence of Clustered Neighborhoods*. In *Personality and Social Psychology Review*, vol. 6(4), pp. 341-346.
- AXTELL, R. [1999]. *The Emergence of Firms in a Population of Agents: Local Increasing Returns, Unstable Nash Equilibria, and Power Law Size Distributions*. Brookings Institute, Working Paper n. 3.
- [2000]. *Why Agents? On the Varied Motivations for Agent Computing in the Social Sciences*. In *Proceedings of the Workshop on Agent Simulation: Applications, Models and Tools*. Argonne National Laboratory, IL.
- [2001]. *Zipf Distribution of U.S. Firm Sizes*. *Science*, Settembre.
- [2005]. *The Complexity of Exchange*. In *Economic Journal*, vol. 115(504), pp. F193-F210.
- BADINO, C. [2004]. *Simulazione e sanità: il 118 rifatto nel computer*. Tesi di laurea in linea a [web.econ.unito.it/terna/tesi/badino](http://web.econ.unito.it/terna/tesi/badino).
- BAEKGAARD, H. [1995]. *Integrating micro and macro models: mutual benefits*. In M. McAleer, P. Binning, H. Bridgman e B. Williams, cur., *International Congress on Modelling and Simulation Proceedings*, vol. 4. Modelling and Simulation Society of Australia, Canberra, pp. 253-258.
- BALCH, T. e ARKIN, R.C. [1995]. *Motor schema-based formation control for multiagent robot teams*. In *Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-95)*. AAAI Press, Menlo Park, CA, pp. 10-16.
- BANKES, S. [2002]. *Tools and techniques for developing policies for complex and uncertain systems*. In *PNAS*, vol. 99, pp. 7263-7266. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.092081399](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.092081399).

- BANKES, S. e GILLOGLY, J. [1994]. *Exploratory Modeling: Search Through Spaces of Computational Experiments*. In *Proceedings of the Third Annual Conference on Evolutionary Programming*. [www.evologinglogic.com/Learn/absandpapers/explsearch.html](http://www.evologinglogic.com/Learn/absandpapers/explsearch.html).
- BANKES, S. e LEMPERT, R.J. [1996]. *Adaptive Strategies for Abating Climate Change: An Example of Policy Analysis for Complex Adaptive Systems*. In L.J. Fogel, P.J. Angeline e T. Back, cur., *Evolutionary Programming V: Proceedings of the Fifth Annual Conference on Evolutionary Programming*. MIT Press, Cambridge, MA, pp. 17-25.
- BANKS, J., CARSON, J.S., NELSON, B.L. e NICOL, D.M. [2000]. *Discrete-Event System Simulation, 3rd Edition*. Prentice Hall, Englewood Clis, NJ.
- BARABÁSI, A.L. [2003]. *Linked: How Everything Is Connected to Everything Else and What It Means for Business, Science, and Everyday Life*. Plume, New York.
- BARABÁSI, A.L. e ALBERT, R. [1999]. *Emergence of scaling in random networks*. In *Science*, vol. 286, pp. 509-512.
- BARANZINI, R. e TATTI, E. [2002]. *Léon Walras e il metodo matematico dell'economia pura: al di là della forma*. In *Economia Politica*, vol. 19(1), pp. 65-89.
- BARBERA, F. [2004]. *Meccanismi sociali. Elementi di sociologia analitica*. il Mulino, Bologna.
- BARRECA, C. [2002]. *Simulazioni ad agenti in JavaSwarm: applicazione ad un caso aziendale*. Tesi di laurea in linea a [web.econ.unito.it/terna/tesi/barreca.zip](http://web.econ.unito.it/terna/tesi/barreca.zip).
- BARTHÉLEMY, M. [1998]. *Betweenness centrality in large complex networks*. In *The European Physical Journal B*, vol. 38, pp. 163-168.
- BASEL COMMITTEE ON BANKING SUPERVISION [1998]. *International convergence of capital measurement and capital standards*. Bank for International Settlements.
- BENA, A. [2003]. *Modello della concorrenza reso realistico, con esplorazione dell'applicazione in Swarm o in JAS*. Tesi di laurea in linea a [web.econ.unito.it/terna/tesi/merlo\\_f.zip](http://web.econ.unito.it/terna/tesi/merlo_f.zip).
- BENSAID, N. e MATHIEU, P. [1997]. *A Hybrid and Hierarchical Multi-Agent Architecture Model*. In *Proceedings of the Second International Conference and Exhibition on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology, 21st-23rd April 1997, PAAM'97*. The Practical Application Company Ltd, London, pp. 145-155.
- BERTSCHE, D., CRAWFORD, C. e MACADAM, S. [1996]. *Is simulation better than experience?*. In *McKinsey Quarterly*, vol. 1, pp. 50-57.
- BERTUGLIA, C.S. e VAIO, F. [2003]. *Non linearità, caos, complessità. Le dinamiche dei sistemi naturali e sociali*. Bollati Boringhieri, Torino.
- BOELLA, G., DAMIANO, R. e LESMO, L. [2000]. *Cooperation and group utility*. In *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1757, pp. 319-333.
- BOERO, R. [2002]. *SWIEE a Swarm Web Interface for Experimental Economics*. In *Agent Based Methods in Economic and Finance: Simulations in Swarm*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht and London, pp. 87-107.

- BOERO, R., CASTELLANI, M. e SQUAZZONI, F. [2004a]. *Cognitive Identity and Social Reflexivity of the Industrial District Firms. Going Beyond the Complexity Effect with Agent-Based Simulations*. In G. Lindemann, D. Moldt e M. Paolucci, cur., *Regulated Agent-Based Social Systems*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 48-69.
- [2004b]. *La sociologia figurazionale tradotta in un modello di simulazione su agenti*. In *Sistemi Intelligenti*, vol. XVI(1), pp. 7-27.
- BOERO, R. e CAVALLARO, F. [2005]. *Analisi di Rete, Funzioni Cognitivo-Decisionali e Complessità Sociale: Una Possibile Integrazione per lo Studio dei Sistemi Socio-Economici*. In *Sistemi Intelligenti*, vol. 17(1), pp. 11-24.
- BOHM, V. [1983]. *Quantity Rationing vs. IS-LM - A Synthesis*. Discussion Paper No. 252/83, Universität Mannheim.
- BOLLOBÁS, B. [1985]. *Random Graphs*. Academic Press, London.
- BONABEAU, E., DORIGO, M. e THERAULAZ, G. [1999]. *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*. Oxford University Press, New York.
- BONESSA, E. [2003]. *Simulazione di un'impresa reale utilizzando il modello jES: il caso Vir*. Tesi di laurea in linea a [web.econ.unito.it/terna/tesi/bonessa.zip](http://web.econ.unito.it/terna/tesi/bonessa.zip).
- BORRA, A. [2002]. *Generalizzazione del modello javaSwarm di simulazione di impresa per l'applicazione ad un caso concreto*. Tesi di laurea in linea a [web.econ.unito.it/terna/tesi/borra.zip](http://web.econ.unito.it/terna/tesi/borra.zip).
- BORSHCHEV, A. e FILIPPOV, A. [2004]. *From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools*. In linea a [www.xjtek.com/files/papers/fromsystemdynamics2004.pdf](http://www.xjtek.com/files/papers/fromsystemdynamics2004.pdf).
- BOY, G.A. [1991]. *Intelligent Assistant Systems*. Academic Press, San Diego, CA.
- BRATMAN, M.E. [1987]. *Intentions, Plans, and Practical Reason*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- BROOKS, R.A. [1986]. *Achieving artificial intelligence through building robots*. Cambridge, MA. AI-Memo 899, MIT AI-Lab.
- BRUSTOLONI, J.C. [1991]. *Autonomous Agents: Characterization and Requirements*. In *Technical Report CMU-CS*. Carnegie Mellon University, pp. 91-204.
- BRUUN, C. [1999]. *Agent-Based Keynesian Economics: Simulating a Monetary Production System Bottom-Up*. [www.socsci.auc.dk/~cbruun/abke.pdf](http://www.socsci.auc.dk/~cbruun/abke.pdf).
- [2002]. *Prospect for an Economics Framework for Swarm*. In F. Luna e A. Perrone, cur., *Agent-Based Methods in Economics and Finance: Simulations in Swarm*. Kluwer Academic, Dordrecht and London, pp. 3-35.
- BUNN, D.W. [2004]. *Structural and behavioral foundations of competitive electricity prices*. In D.W. Bunn, cur., *Modeling prices in competitive electricity markets*. Wiley & Sons, London.
- BUNN, D.W. e OLIVEIRA, F. [2000]. *An application of agent-based simulation to the new electricity trading arrangements of England and Wales*. In

- IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. Special issue on Evolutionary modeling of Economic Systems.
- BURT, R.S. [1992]. *Structural Holes - The Social Structure of Competition*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- BURTON, R. [2001]. *Afterword*. In A. Lomi e E.R. Larsen, cur., *Dynamics of Organizations - Computational Modeling and Organization Theories*. AAAI Press, MIT Press, Menlo Park, CA, Cambridge, MA.
- CAPPELLINI, A. [2003]. *Esperimenti su mercati finanziari con agenti naturali ed artificiali*. Tesi di laurea in linea a web.econ.unito.it/terna/tesi/cappellini.
- [2005]. *Avatar e simulazioni*. In *Sistemi intelligenti*, vol. 17(1), pp. 45-58.
- CARAFÀ, C. [2003]. *Analisi e confronto dei software di Simulazione di Reti di Petri*. Tesi di laurea, Università di Ancona.
- CASTELFRANCHI, C., CONTE, R. e PAOLUCCI, M. [1998]. *Normative Reputation and the Costs of Compliance*. In *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 1(3). [jasss.soc.surrey.ac.uk/JASSS/1/3/3.html](http://jasss.soc.surrey.ac.uk/JASSS/1/3/3.html).
- CHATTOE, E. [1998]. *Just how (Un)realistic are Evolutionary Algorithms as Representation of Social Processes*. In *Journal of Artificial Societies and Social Simulations*, vol. 1(3).
- CHIADÒ, S.T. [2005]. *Individualismo metodologico e simulazione: la nascita di un mercato hayekiano ad agenti*. Tesi di laurea in linea a web.econ.unito.it/terna/tesi/chiado.
- CHINAGLIA, M. [2004]. *Modelli di simulazione e mercati finanziari: la formazione di bolle e crash*. Tesi di laurea in linea a web.econ.unito.it/terna/tesi/chinaglia.
- CLEMENTS, D.H. e MEREDITH, J.S. [1992]. *Research on Logo: Effects and Efficacy*. Logo Foundation, New York.
- CLOWER, R. [1965]. *The Keynesian Counter-revolution: A Theoretical Appraisal*. In F. Hahn e F. Brechling, cur., *The Theory of Interest Rates*. Macmillan, London.
- COHEN, M.D., RIOLO, R.L. e AXELROD, R. [2001]. *The Role of Social Structure in the Maintenance of Cooperative Regimes*. In *Rationality and Society*, vol. 13, pp. 5-32.
- COHEN, P.R. e LEVESQUE, H.J. [1987]. *Intention = Choice + Commitment..* In AAAI. pp. 410-415.
- [1990]. *Intention is Choice with Commitment..* In *Artif. Intell.*, vol. 42(2-3), pp. 213-261.
- COLLIER, N., HOWE, T., NAJILIS, R., NORTH, M. e VOS, J.R. [2003a]. *Documentation Set for Repast*. In linea a [repast.sourceforge.net](http://repast.sourceforge.net).
- COLLIER, N., HOWE, T. e NORTH, M. [2003b]. *Onward and Upward: The Transition to Repast 2.0*. In *Proceedings of the First Annual North American Association for Computational Social and Organizational Science Conference, Electronic Proceedings, Pittsburgh, PA USA*. National Academy of Sciences of the USA, Washington, DC, USA. Vol. 99, suppl. 3.

- CONTE, R. [2000]. *The Necessity of Intelligent Agents in Social Simulation*. In G. Ballot e G. Weisbuch, cur., *Applications of Simulation to Social Sciences*. Hermes Science Publishing Ltd, Oxford, pp. 19-38.
- CONTE, R. e CASTELFRANCHI, C. [1995]. *Cognitive and Social Action*. University College London, London.
- [1996]. *Simulating Multi-Agent Interdependencies: A Two-Way Approach to the Micro-Macro Link*. In K.G. Troitzsch, U. Mueller, N. Gilbert e J. Doran, cur., *Social Science Microsimulation*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 394-415.
- CONTE, R., EDMONDS, B., MOSS, S. e SAWYER, R.K. [2001]. *Sociology and Social Theory in Agent-Based Social Simulation: A Symposium*. In *Computational and Mathematical Organization Theory*, vol. 7, pp. 183-205.
- CONTE, R. e PAOLUCCI, M. [2002]. *Reputation in Artificial Societies. Social Beliefs for Social Order*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht and London.
- CONTE, R. e TERNA, P. [2000]. *Una discussione sulla simulazione in campo sociale: mente e società*. In *Sistemi Intelligenti*, vol. 2(XII), pp. 326-331.
- COUTAZ, J. [1990]. *Interfaces Homme Ordinateur: Conception et Réalisation*. Editions Bordas, Paris.
- CROSETTO, R. [2004]. *Simulazione ad agenti e sistemi complessi. Applicazione al caso BasicNet*. Tesi di laurea in linea a [web.econ.unito.it/terna/tesi/crosetto](http://web.econ.unito.it/terna/tesi/crosetto).
- DAMER, B. [1998]. *Avatars: Exploring and Building Virtual Worlds on the Internet*. Peachpit Press, Berkeley, CA.
- DANIEL, G. [2004]. *Random time in Agent-Based Market Models*. In linea a [www.cs.man.ac.uk/~danielg/download/publications/rochebrune2004.GillesDaniel-paper.pdf](http://www.cs.man.ac.uk/~danielg/download/publications/rochebrune2004.GillesDaniel-paper.pdf).
- DANIELS, M.G., FARMER, J.D., IORI, G. e SMITH, E. [2002]. *How storing supply and demand affects price diffusion*. Santa Fe working paper in linea a [www.santafe.edu/sfi/publications/Working-Papers/02-01-001.pdf](http://www.santafe.edu/sfi/publications/Working-Papers/02-01-001.pdf).
- DE LEYVA, E. e LEKANDER, P.A. [2003]. *Climate change for Europe's Utilities*. In *McKinsey Quarterly*, vol. 1, pp. 120-130.
- DE RUVO, A. [2005]. *Modello di simulazione ad agenti del mercato di borsa: realismo nel book*. Tesi di laurea in linea a [web.econ.unito.it/terna/tesi/de\\_ruvo](http://web.econ.unito.it/terna/tesi/de_ruvo).
- DE VANY, A. e LEE, C. [2001]. *Quality Signals in Information Cascades and the Distribution of Motion Picture Box Office Revenues*. In *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 25, pp. 593-614.
- DELLI GATTI, D., DI GUILMI, C., GALLEGATI, M. e GIULIONI, G. [2003]. *Industrial Dynamics and Business Fluctuations in an Agent Based Model*. In pubblicazione.

- DELLI GATTI, D., DIGUILMI, C., GAFFEO, E., GALLEGATI, M., GIULIONI, G. e PALESTRINI, A. [2005a]. *A new approach to business fluctuations: heterogeneous interacting agents, scaling laws and financial fragility*. In *Journal of Economic Behavior and Organization*, vol. in pubblicazione.
- DELLI GATTI, D., GAFFEO, E., GALLEGATI, M., GIULIONI, G., KIRMAN, A., PALESTRINI, A. e RUSSO, A. [2005b]. *Complex dynamics and empirical evidence*. In *Information Sciences*, vol. in pubblicazione.
- DELLI GATTI, D. e GALLEGATI, M. [2005]. *Eterogeneità degli agenti economici e interazione sociale: teorie e verifiche empiriche*. il Mulino, Bologna.
- DELLI GATTI, D., GALLEGATI, M., GIULIONI, G. e PALESTRINI, A. [1999]. *Financial Fragility, Patterns of Firms' Entry and Exit and Aggregate Dynamics*. In *Journal of Economic Behavior and Organization*, vol. 51(1), pp. 79-97.
- DESOTGIU, C. [2005]. *Simulazione delle organizzazioni tramite jES: il 118*. Tesi di laurea in linea a web. [econ.unito.it/terna/tesi/desotgiu](http://econ.unito.it/terna/tesi/desotgiu).
- DI LEVA, A. e GIOLITO, P. [1989]. *I sistemi informativi aziendali – Analisi e progetto*. Utet Libreria, Torino.
- DUBOIS, D. e PRADE, H. [1988]. *Possibility Theory*. Plenum Press, New York.
- DUFFY, J. [2001]. *Learning to Speculate: Experiments with Artificial and Real Agents*. In *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 25, pp. 295-319.
- EDMONDS, B. e MOSS, S. [2001]. *The Importance of Representing Cognitive Processes in Multi-Agent Models*. In G. Dorffner, H. Bishof e K. Horik, cur., *Artificial Neural Networks- ICANN' 2001*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 759-766.
- EMERSON, E.A., SADLER, T. e SRINIVASAN, J. [1998]. *Efficient Temporal Reasoning*. In *POPL*, pp. 166-178.
- EPSTEIN, J.M. [2000]. *Modelli computazionali fondati su agenti e scienza sociale generativa*. In *Sistemi Intelligenti*, vol. XII(2), pp. 177-221.
- EPSTEIN, J.M. e AXTELL, R. [1996]. *Growing Artificial Societies*. MIT Press, Cambridge, MA.
- ETZIONI, O. [1993]. *Intelligence without Robots: A Reply to Brooks*. In *AI Magazine*, vol. 14(4), pp. 7-13.
- FARMER, J.D., PATELLI, P. e ZOVKO, I.I. [2003]. *The Predictive Power of Zero Intelligence in Financial Markets*. Santa Fe working paper in linea a [www.santafe.edu/sfi/publications/Working-Papers/03-09-051.pdf](http://www.santafe.edu/sfi/publications/Working-Papers/03-09-051.pdf).
- [2005]. *The Predictive Power of Zero Intelligence in Financial Markets*. In *PNAS*, vol. 102(6), pp. 2254-2259.
- FERRARIS, G. [1999]. *GM e CW*. In linea a [www.swarm.org](http://www.swarm.org).
- [2001]. *GAMES: Algoritmi Genetici per l'Economia*. Torino. Quaderni del Dipartimento di Scienze Economiche e Finanziarie.
- FEYERABEND, P. [1975]. *Against Method*. Verso, London.
- FIORETTI, G. [2001]. *A Mathematical Theory of Evidence for G.L.S. Shackle*. In *Mind & Society*, vol. 2, pp. 77-98.

- [2004]. *Evidence Theory: A Mathematical Framework for Unpredictable Hypotheses*. In *Metroeconomica*, vol. 55, pp. 345-366.
- FOKKE, D. e FOLKERTS-LANDAU, I. [1982]. *Intertemporal Planning, Exchange and Macroeconomics*. Cambridge University Press, Cambridge.
- FONTANA, M. [2005]. *Computer Simulations, Mathematics, and Economics*. In *International Review of Economics and Business*. Di prossima pubblicazione.
- FORNI, M. e LIPPI, M. [1997]. *Aggregation and the Microfoundations of Dynamic Macroeconomics*. Oxford University Press, New York, London.
- FORRESTER, J.W. [1961]. *Industrial Dynamics*. Productivity Press, Cambridge.
- FRANKLIN, S. [1995]. *Artificial Minds*. MIT Press, Cambridge, MA.
- FRANKLIN, S. e GRAESSER, A. [1996]. *Is it an agent, or just a program? A taxonomy for autonomous agents*. In *Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 21-35.
- GAFFEO, E., GALLEGATI, M., GIULIONI, G. e PALESTRINI, A. [2003a]. *Power Laws and Macroeconomic Fluctuations*. In *Physica A*, vol. 324, pp. 408-416.
- GAFFEO, E., GALLEGATI, M. e PALESTRINI, A. [2003b]. *On the Size Distribution of Firms: Additional Evidence from the G7 Countries*. In *Physica A*.
- GALLEGATI, M., ARDENI, P.G., BOITANI, A. e DELLI GATTI, D. [1999a]. *The New Keynesian Economics: A Survey*. In M. Messori, cur., *Financial Constraints and Market Failures*. Elgar, Cheltenham.
- GALLEGATI, M., DELLI GATTI, D. e MIGNACCA, D. [1999b]. *Agents Heterogeneity and Coordination Failure: An Experiment*. In M. Gallegati e A.P. Kirman, cur., *Beyond the Representative Agent*. Elgar, Cheltenham, pp. 165-182.
- GALLEGATI, M., GIULIONI, G. e KICHIJI, N. [2003]. *Complex Dynamics and Financial Fragility in an Agent-Based Mode*. In *Advances in Complex Systems*, vol. 6(3), pp. 267-282.
- GALLEGATI, M. e KIRMAN, A.P., cur. [1999]. *Beyond the Representative Agent*. Elgar, Cheltenham.
- GIANOGLIO, A. [2001]. *Cooperazione e altruismo con l'economia sperimentale, utilizzando Swarm ed il programma SWIEE*. Tesi di laurea in linea a web.econ.unito.it/terna/tesi/gianoglio.zip.
- GIBBONS, R. [2000]. *Why Organizations Are Such a Mess (and What an Economist Might Do About It)*. Il primo capitolo è in linea a web.mit.edu/rjgibbons/www.
- GILBERT, D., APARICIO, M., ATKINSON, B., BRADY, S., CICCARINO, J., GROSOFF, B., O'CONNOR, P., OSISEK, D., PRITKO, S., SPAGNA, R. e WILSON, L. [1995]. *Ibm intelligent agent strategy*. White Paper.
- GILBERT, N. [1996]. *Holism, Individualism and Emergent Properties. An Approach from the Perspective of Simulation*. In R. Hegslemann, U. Muel-ler e K.G. Troitzsch, cur., *Modelling and Simulation in the Social Sciences*

- from the Philosophy of Sciences Point of View*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht and London, pp. 1-27.
- GILBERT, N. e BANKES, S. [2002]. *Platforms and Methods for Agent-based Modeling*. In *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. National Academy of Sciences of the USA, Washington, DC, USA, pp. 7197-7198. Vol. 99, suppl. 3.
- GILBERT, N. e TERNA, P. [2000]. *How To Build and Use Agent-Based Models in Social Science*. In *Mind & Society*, vol. I(1), pp. 57-72.
- GILBERT, N. e TROITZSCH, K.G. [1999]. *Simulation for the Social Scientist*. Open University Press, Buckingham.
- [2005]. *Simulation for the Social Scientist*. Open University Press, Buckingham. Seconda edizione, profondamente rivista.
- GILLETT, P.R. [2002]. *Conflict, Consistency and Consonance in Belief Functions: Coherence and Integrity of Belief Systems*. In R.P. Srivastava e T.J. Mock, cur., *Belief Functions in Business Decisions*. Physica-Verlag, Heidelberg.
- GINSBERG, M.L. [1989]. *Universal Planning: An (Almost) Universally Bad Idea..* In *AI Magazine*, vol. 10(4), pp. 40-44.
- GODE, D.K. e SUNDER, S. [1993]. *Allocative Efficiency of Markets with Zero-intelligence Traders: Markets as a Partial Substitute for Individual Rationality*. In *Journal of Political Economy*, vol. 101, pp. 119-137.
- GOLDBERG, D. [1989]. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison Wesley, Redwood City, CA.
- GOSLING, J., JOY, B., STEELE, G. e BRACHA, G. [2000]. *The Java Language Specification, Second Edition*. Addison Wesley, Redwood City, CA. Prima edizione: 1996.
- GOTTS, N.M., POLHILL, J.G. e LAW, A.N.R. [2003]. *Agent-Based Simulation in the Study of Social Dilemmas*. In *Artificial Intelligence Review*, vol. 19, pp. 3-92.
- GOURIEROUX, C. e MONFORT, A. [1997]. *Simulation-Based Econometric Methods*. Oup/Core Lecture Series. Oxford University Press, New York, Oxford.
- GREEN, R. [1996]. *Increasing competition in the British electricity spot market*. In *Journal of Industrial Economics*, vol. 44(2), pp. 201-216.
- GREENWALD, B.C. e STIGLITZ, J.E. [1993]. *Financial Market imperfections and Business Cycle*. In *Quarterly Journal of Economics*, vol. 108(1), pp. 77-114.
- GREFENSTETTE, J.J. [1991]. *Strategy acquisition with genetic algorithms*. In L.D. Davis, cur., *Handbook of Genetic Algorithms*. Von Nostrand Reinhold, Boston, pp. 186-201.
- GUERRA, F. [2004]. *Simulazioni ad agenti: jES ed il 118 virtuale*. Tesi di laurea in linea a web.econ.unito.it/terna/tesi/guerra.
- HAHN, F. [1991]. *The next Hundred Years*. In *Economic Journal*, vol. 101, pp. 47-50.
- HALL, R.E. [2005]. *Employment Fluctuations with Equilibrium Wage Stickiness*. In *American Economic Review*, vol. 95(1), pp. 50-65.



- HANSEN, L.P. e HECKMAN, J.J. [1996]. *The Empirical Foundations of Calibration*. In *Journal of Economic Perspectives*, vol. 10(1), pp. 87-104.
- HARRIS, M. e RAVIV, A. [2000]. *Organization Design*. CRSP Working Paper No. 499.
- HARRISON, G.W. e LIST, J.A. [2004]. *Field Experiments*. In *Journal of Economic Literature*, vol. 42(4), pp. 1009-1055.
- HAYEK, F. [1952]. *The Sensory Order*. University of Chicago Press, Chicago.
- [1967]. *Studies in philosophy, politics and economics*. University of Chicago Press, Chicago.
- HAYEK, F.A. [1937]. *Individualism and Economic Order*. Routledge e Kegan Paul, London e Henley. Cap. Economics and Knowledge. Ripreso in F.A. von Hayek, *Conoscenza, Mercato e Pianificazione*, il Mulino, Bologna, 1988, pp. 227-252.
- HEDSTRÖM, P. e SWEDBERG, R. [1998]. *Social Mechanisms. An Analytical Approach to Social Theory*. Cambridge University Press, Cambridge.
- HEMPEL, K.G. e OPPENHEIM, P. [1948]. *Studies in the Logic of Explanation*. In *Philosophy of science*, vol. 15, pp. 135-175.
- HENDRY, D.F. e KROLZIG, H.M. [2001]. *Automatic Econometric Model Selection*. Timberlake Consultants Press, London.
- [in pubblicazione]. *We Ran One Regression*. In *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*.
- HOLLAND, J. [1975]. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor.
- [1998]. *Emergence from Chaos to Order*. Perseus Books, Cambridge, MA.
- HOLLAND, J.H. e GOLDBERG, D.E. [1988]. *Genetic algorithms and machine learning*. In *Machine Learning*, vol. 3, pp. 95-104.
- HOLMSTRÖM, B. [1999]. *The firm as a subeconomy*. In *The Journal of Law, Economics and Organization*, vol. 15(1), pp. 74-102.
- HOLZNER, S. e NORTON, P. [1992]. *Programmazione in C++*. Jackson, Milano.
- HORGAN, J. [1995]. *From Complexity to Perplexity*. In *Scientific American*, vol. 272(6), p. 104.
- HORSTMANN, C. e CORNELL, G. [2001]. *Java 2 (volume 1 e 2)*. Sun Microsystems Press.
- HÖLLDOBLER, B. e WILSON, E. [1997]. *Formiche - Storia di una esplorazione scientifica..* Adelphi, Milano. Ed. originale 1994, *Journey to the Ants - A Story of Scientific Exploration*.
- IZUMI, K. e UEDA, K. [2001]. *Phase Transition in a Foreign Exchange Market: Analysis Based on an Artificial Market Approach*. In *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 5, pp. 456-470.
- JARES, T.E. [2000]. *Numerical Modeling, Noise Traders, and the Swarm Simulation System*. In F. Luna e B. Stefansson, cur., *Economic Simulations in Swarm: Agent-Based Modelling and Object Oriented Programming*. Kluwer Academic, Dordrecht and London, pp. 181-202.

- JENNINGS, N.R. [1996]. *Special Issue on Tackling Complex Applications Using Multi-Agent Systems..* In *Int. J. Cooperative Inf. Syst.*, vol. 5(2-3), pp. 101-104.
- JOHNSON, P.E. [2002]. *Agent-Based Modeling: What I Learned From the Artificial Stock Market.* In *Social Science Computer Review*, vol. 20(2), pp. 174-186.
- KALAITZIDAKIS, P., STENGOS, T. e MAMUNEAS, T.P. [2003]. *Rankings of Academic Journals and Institutions in Economics.* In *Journal of the European Economic Association*, vol. 1(6), pp. 1346-1366.
- KAY, A.C. [1996]. *History of Programming Languages - II.* ACM Press, New York.
- KILPATRICK, H.J. [2001]. *Complexity, Spontaneous Order and Friedrich Hayek: Are Spontaneous Order and Complexity Essentially the Same Thing?.* In *Complexity*, vol. 6(4).
- KIRMAN, A. e VRIEND, N.J. [2001]. *Evolving Market Structure: An ACE Model of Price Dispersion and Loyalty.* In *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 25, pp. 459-202.
- KIRMAN, A.P. [1992]. *Whom or What Does the Representative Individual Represent.* In *Journal of Economic Perspectives*, vol. 6(2), pp. 117-136.
- KIRZNER, I. [1997]. *Entrepreneurial discovery and the competitive market process: an Austrian approach.* In *Journal of Economic Literature*, vol. 35(1), pp. 60-85.
- KLEIJNEN, J.P.C. [1998]. *Experimental design for sensitivity analysis, optimization, and validation of simulation models.* In J. Banks, cur., *Handbook of Simulation*, cap. 6. Wiley & Sons, New York, pp. 173-223.
- KLEVORICK, A.K., cur. [1983]. *Cowles Fiftieth Anniversary.* Cowles Foundation, New Haven, Connecticut.
- KOLLMAN, K., MILLER, J.H. e PAGE, S.E. [1997]. *Political Institutions and Sorting in a Tiebout Model.* In *American Economic Review*, vol. 87, pp. 977-992.
- KRUGMAN, P. [1994]. *Complex Landscapes in Economic Geography.* In *American Economic Review*, vol. 84(P&P), pp. 412-416.
- LAMIERI, M. [2002]. *Simulazione Agent Based in contesti d'impresa - Applicazione del modello Virtual Enterprise in JavaSwarm ad un'azienda reale.* Tesi di laurea in linea a [web.econ.unito.it/terna/tesi/lamieri.zip](http://web.econ.unito.it/terna/tesi/lamieri.zip).
- LANE, D.A. [1998]. *Is what is good for each good for all?.* In B. Arthur, S. Durlauf e D. Lane, cur., *Economy as a Complex, Evolving System II.* Addison-Wesley, Redwood City, CA.
- [2002]. *Complessità: modelli e inferenza.* In P.M. Biava, cur., *Complessità e biologia.* Bruno Mondadori Editore, Milano, pp. 13-42.
- LANGTON, C. [1989]. *Artificial Life.* Addison-Wesley, Redwood City, CA.
- LATTANZI, E. [2004]. *La simulazione.* In linea a [www.sti.uniurb.it/lattanzi/SCMOT/dispense/Simulazione.pdf](http://www.sti.uniurb.it/lattanzi/SCMOT/dispense/Simulazione.pdf).
- LEBARON, B. [2001]. *Empirical Regularities from Interacting Long and Short Memory Investors in an Agent-Based Stock Market.* In *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 5, pp. 442-455.

- LEGRENZI, P. [2002]. *Prima lezione di scienze cognitive*. Laterza, Roma-Bari.
- LEIJONHUFVUD, A. [1968]. *On Keynesian Economics and the Economics of Keynes: A Study in Monetary Theory*. Oxford University Press, New York, Oxford.
- LEMPERT, R.J. [2002]. *A new decision sciences for complex systems*. In PNAS, vol. 99, pp. 7309-7313. Colloquium Paper Platforms and Methodologies for Enhancing the Social Sciences through Agent-Based Simulation.
- LEOMBRUNI, R., RICHIARDI, M., SAAM, N. e SONNESSA, M. [2005]. *A Common Protocol for Agent-Based Social Simulation*. Mimeo.
- LEVY, R. e ROSENSCHEIN, J.S. [1992]. *A game theoretic approach to distributed artificial intelligence and the pursuit problem*. In *Decentralized Artificial Intelligence III*. Elsevier, Amsterdam, pp. 129-146.
- LIEBOWITZ, J. [1999]. *Building Organizational Intelligence: A Knowledge Management Primer*. CRC Press, Cleveland.
- LIN, F.R., TAN, G. e SHAW, M.J. [1996]. *Multi-Agent Enterprise Modelling*. University of Illinois at Urbana-Champaign Office of Research Working Paper #96-0134.
- LIU, T.C. [1960]. *Underidentification, Structural Estimation, and Forecasting*. In *Econometrica*, vol. 28, pp. 855-865.
- LOMI, A. e LARSEN, E.R. [2001]. *Dynamics of Organizations - Computational Modeling and Organization Theories*. AAAI Press, MIT Press, Menlo Park, CA, Cambridge, MA.
- LUX, T. [1998]. *The Socio-Economic Dynamics of Speculative Markets: Interactive Agents, Chaos, and the Fat Tails of the Return Distributions*. In *Journal of Economic Behavior and Organization*, vol. 33, pp. 143-165.
- LUX, T. e MARCHESI, M. [2000]. *Volatility Clustering in financial Markets: A Micro-Simulation of Interacting Agents*. In *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, vol. 3, pp. 675-702.
- MACAL, C.M., BOYD, G.A., CIRILLO, R.R., CONZELMANN, G., NORTH, M.J., THIMMAPURAM, P.R. e VESELKA, T.D. [2004]. *Modeling the restructured Illinois Electricity market as a complex adaptive system*. Paper presentato alla 24sima conferenza «Energy, Environment and Economics in a New Era», Washington D.C. 8-10 Luglio.
- MACY, M.W. e WILLER, R. [2002]. *From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling*. In *Annual Review of Sociology*, vol. 28, pp. 143-166.
- MAES, P. [1991]. *The Agent Network Architecture (ANA)*. In *SIGART Bulletin*, vol. 2(4), pp. 115-120.
- [1997]. *Agents that Reduce Work and Information Overload*. In J.M. Bradshaw, cur., *Software Agents*. AAAI Press, Menlo Park, CA.
- MARCH, J.G. [1998]. *Prendere decisioni*. il Mulino, Bologna.
- MARGARITA, S. [1992]. *Verso un «robot oeconomicus»: algoritmi genetici ed economia*. In *Sistemi Intelligenti*, vol. 3, pp. 421-429.
- MARKS, R.E. [1998]. *Evolved Perception and Behaviour in Oligopolies*. In *Economic Dynamics and Control*, vol. 22, pp. 1209-1233.

- MARNEY, J.P. e TARBERT, H.F.E. [2000]. *Why do simulation? toward a working epistemology for practitioners of the dark arts*. In *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 3(4). [jasss.soc.surrey.ac.uk/3/4/4.html](http://jasss.soc.surrey.ac.uk/3/4/4.html).
- MATARIC, M. [1995]. *Issues and approaches in the design of collective autonomous agents*. In *Robotics and Autonomous Systems* 16, pp. 321-331.
- MCCLOSKEY, D.N. [1998]. *L'economia come scienza storica*. In W. Parker, cur., *Economia e storia*. Laterza, Bari, pp. 79-87.
- MENCARELLI, B. [2004]. *Interazione tra agenti in un mercato borsistico virtuale: analisi del book di negoziazione*. Tesi di laurea in linea a web.econ.unito.it/terna/tesi/mencarelli.
- MERLO, F. [2003]. *L'impresa rifatta nel computer. Applicazione del modello jES al caso BasicNet*. Tesi di laurea in linea a web.econ.unito.it/terna/tesi/merlo\_f.zip.
- MERLONE, U. e TERNA, P. [2005]. *Population Symbiotic Evolution in a Model of Industrial Districts*. In pubblicazione.
- MILGRAM, S. [1967]. *The small world problem*. In *Psychology Today*, vol. 1, pp. 60-67.
- MINAR, N., BURKHART, R., LANGTON, C. e ASKENAZI, M. [1996]. *The Swarm Simulation System: A Toolkit for Building Multi-agent Simulations*. Santa Fe Working Paper. In linea a [www.santafe.edu/research/publications/wplist/1996](http://www.santafe.edu/research/publications/wplist/1996), lavoro 96-06-042.
- MINSKY, M. [1986]. *The Society of Mind*. Simon and Schuster, Riverside, NJ.
- MIROWSKY, P. e SOMEFUN, K. [1998]. *Markets as evolving computational entities*. In *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 8(4), pp. 329-356.
- MORINI, M. [2003]. *Penelope Project: Web-Based Textile Production Planning*. presentato alla SwarmFest 2003, University of Notre Dame, IN. [www.nd.edu/swarm03](http://www.nd.edu/swarm03).
- [2004a]. *Penelope Meets NEMOTE: Distributed Production Planning Optimization*. presentato alla SwarmFest 2004, University of Michigan, Ann Arbor, MI. [cscs.umich.edu/swarmfest04](http://cscs.umich.edu/swarmfest04).
- [2004b]. *Simulation in the Textile Industry: Production Planning Optimization*. In M. Baldoni, F. De Paoli, A. Martelli e A. Omicini, cur., *WOA 2004: dagli Oggetti agli Agenti. Sistemi Complessi ed Agenti Razionali*. Pitagora Editrice, Bologna, pp. 143-150.
- MOULIN, B. e CHAIB-DRAA, B. [1996]. *An Overview of Distributed Artificial Intelligence*. In G.M.P. O'Hare e N.R. Jennings, cur., *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*. Wiley & Sons, pp. 3-55.
- MUELLBAUER, J. e PORTES, R. [1978]. *Macroeconomic Models with Quantity Rationing*. In *Economic Journal*, vol. 88(352), pp. 778-821.
- NELSON, R. e WINTER, S. [2002]. *Evolutionary Theorizing in Economics*. In *Journal of Economic Perspectives*, vol. 16(2), pp. 23-46.
- NEWBERY, D.M. [2000]. *Privatization, restructuring and regulation of network utilities*. MIT Press, Cambridge, MA.
- NG, Y.K. [1980]. *Macroeconomics with Non-Perfect Competition Economic*. In *Economic Journal*, vol. 90(359), pp. 598-610.

- NISHIMURA, K. [1998]. *Expectation Heterogeneity and Price Sensitivity*. In *European Economic Review*, vol. 42(3-5), pp. 619-629.
- NORMAN, D.A. [1994]. *How might people interact with agents*. In *Communications of the ACM*, vol. 7(37).
- NWANA, H.S. [1996]. *Software Agents: an Overview*. In *Knowledge Engineering Review*, vol. 11(3), pp. 1-40.
- OSTG [2001]. *SourceForge*. sourceforge.net.
- OSTROM, T. [1988]. *Computer simulation: the third symbol system*. In *Journal of Experimental Social Psychology*, vol. 24(5), pp. 381-392.
- PARISI, D. [2001]. *Simulazioni. La realtà rifatta nel computer*. Il Mulino, Bologna.
- PAVESIO, F. [2002]. *Cooperazione e altruismo: interazione tra esseri umani e agenti artificiali tramite Swarm e Swiee*. Tesi di laurea in linea a web. econ.unito.it/terna/tesi/pavesio.zip.
- PENROSE, R. [1989]. *The emperor's new mind*. Oxford University Press, New York, Oxford. Cap. Algorithms and Turing Machines.
- PERRONE, A. e FERRARIS, G. [2004]. *Intelligent Versus Random Beavers - an Agent-Based Approach in Facing the Busy Beaver Problem*. In *Metroeconomica*, vol. 55(2-3), pp. 332-344.
- POPE, A. [1711]. *An Essay on Criticism*. Lewis, London.
- PROVASI, G. [1998]. *Oltre il modello di razionalità limitata. Il contributo del cognitivismo*. In *Rassegna italiana di sociologia*, vol. XXXVI(2), pp. 251-278.
- PRYOR, F.L. [2000]. *Looking Backwards: Complexity Theory in 2028*. In D. Colander, cur., *The complexity vision and the teaching of economics*. Edward Elgar, Cheltenham, pp. 63-69.
- RADO, T. [1962]. *On non-computable functions*. In *Bell System Technical Journal*, vol. 41(3), pp. 877-884.
- RAO, A.S. e GEORGEFF, M.P. [1991]. *Modeling rational agents within a BDI-architecture*. In *Proceedings of the Second International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*. Morgan Kaufmann, San Francisco, pp. 473-484.
- [1995]. *BDI agents: From theory to practice*. In *Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-95)*. AAAI Press, Menlo Park, CA, pp. 312-319.
- REMONDINO, M. [2003]. *Agent Based Process Simulation and Metaphors Based Approach for Enterprise and Social Modeling*. In *ABS 4 Proceedings*. SCS European Publishing House, Dresden, pp. 93-97.
- RESNICK, M. [1997]. *Turtles, Termites, and Traffic Jams. Explorations in Massively Parallel Microworlds*. MIT Press, Cambridge, MA.
- RICH, E. e KNIGHT, K. [1992]. *Intelligenza artificiale*. McGraw-Hill Italia, Milano.
- RICHARDSON, K. [2003]. *On the Limits of Bottom-Up Computer Simulation: Towards a Nonlinear Modeling Culture*. presentato alla 36ma «Hawaiian International Conference on System Sciences», Waikoloa, Big Island of Hawaii.

- RUBY, A. [2005]. *An Introduction to Macroeconomics and Macroeconomic Analysis*. [www.digitaleconomist.com/intro\\_4020.html](http://www.digitaleconomist.com/intro_4020.html).
- RUSSEL, S.J. e NORVIG, P. [1995]. *Intelligenza artificiale: un approccio moderno*. Prentice-Hall, Englewood Clis, NJ.
- RUST, J. [1997]. *Using Randomization to Break the Curse of Dimensionality*. In *Econometrica*, vol. 65(3), pp. 487-516.
- RUSTEM, B. e VELUPILLAI, K. [1990]. *Rationality, Computability and Complexity*. In *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 14(2), pp. 419-432. Special Issue on Computer Science and Economics.
- SAHOTA, M.K. [1994]. *Reactive deliberation: An architecture for real-time intelligent control in dynamic environments*. In *Proceedings of the Twelfth National Conference on Artificial Intelligence*. pp. 1303-1308.
- SALMON, W.C. [1990]. *Four Decades of Scientific Explanation*. University of Minnesota Press, Minneapolis.
- SALZANO, M. [1993]. *Le variabili fiscali nei modelli Neo-Keynesiani*. Liguori Editore, Napoli. Ed. 1993 e 2001.
- SAMUELSON, L. [2005]. *Economic Theory and Experimental Economics*. In *Journal of Economic Literature*, vol. 43(1), pp. 65-107.
- SANJAY, J., OSHERSON, D., ROYER, J.S. e SHARMA, A. [1999]. *Systems That Learn*. MIT Press, Cambridge, MA.
- SARGENT, T. [1993]. *Bounded Rationality in Macroeconomics*. Clarendon Press, Oxford.
- SAWYER, R.K. [2003]. *Artificial Societies. Multi-Agent Systems and the Micro-Macro Link in Sociological Theory*. In *Sociological Methods and Research*, vol. 31(3), pp. 325-363.
- SHELLING, T. [1969]. *Models of Segregation*. In *American Economic Review*, vol. 59(2), pp. 488-493.
- [1973]. *Dynamic Models of Segregation*. In *Journal of Mathematical Sociology*, vol. 1, pp. 143-186.
- [1978]. *Micromotives and Macrobehavior*. Norton, New York.
- SCRIVEN, M. [1962]. *Explanations, Predictions, Laws*. In *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol. 3, pp. 170-230.
- SERENKO, A. e DETLOR, B. [2002]. *Agent Toolkits: A General Overview of the Market and an Assessment of Instructor Satisfaction with Utilizing Toolkits in the Classroom*. (Working Paper 455), McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada.
- SHAFER, G. [1976]. *A Mathematical Theory of Evidence*. Princeton University Press, Princeton.
- [1981]. *Constructive Probability*. In *Synthese*, vol. 48, pp. 1-60.
- [1990]. *Perspectives on the Theory and Practice of Belief Functions*. In *International Journal of Approximate Reasoning*, vol. 4, pp. 323-362.
- SHIMER, R. [2005]. *The Cyclical Behavior of Equilibrium Unemployment and Vacancies*. In *American Economic Review*, vol. 95(1), pp. 25-49.
- SHOHAM, Y. [1993]. *Agent-Oriented Programming*. In *Artificial Intelligence*, vol. 1(60), pp. 51-92.

- [1997]. *An Overview of Agent-oriented Programming*. In J.M. Bradshaw, cur., *Software Agents*. AAAI Press, Menlo Park, CA, pp. 271-290.
- SIMON, H.A. [1985]. *Causalità, razionalità, organizzazione*. il Mulino, Bologna.
- [1988]. *Le scienze dell'artificiale*. Il Mulino, Bologna. Ed. originale (1969, 1981, 1996), *The Sciences of the Artificial*. MIT Press, Cambridge, MA.
- SONNESSA, M. [2003]. *JAS Java Agent-based Simulation library*. In linea a [jaslibrary.sourceforge.net](http://jaslibrary.sourceforge.net).
- SPEAR, S. [1989]. *Learning Rational Expectations under Computability Constraints*. In *Econometrica*, vol. 57(4), pp. 889-910.
- SPECTOR, H.M. [2000]. *Building Linux Clusters*. O'Reilly, Sebastopol, CA.
- SQUAZZONI, F. e BOERO, R. [2005]. *Towards an Agent-Based Computational Sociology. Good Reasons to Strengthen a Cross-Fertilization between Sociology and Complexity*. In L.M. Stoneham, cur., *Advances in Sociology Research, Volume II*. Nova Science Publishers, New York, pp. 103-133.
- STAELIN, C.P. [2000]. *jSIMPLEBUG: A Swarm Tutorial for Java*. [eco83.econ.unito.it/swarm/materiale/jtutorial](http://eco83.econ.unito.it/swarm/materiale/jtutorial).
- STANISLAW, H. [1986]. *Tests of computer simulation validity. What do they measure?*. In *Simulation and Games*, vol. 17, pp. 173-191.
- STEELS, L. [1995]. *The Artificial Life Roots of Artificial Intelligence*. In C.H. Langton, cur., *Artificial Life. An Overview*. MIT Press, Cambridge, MA, pp. 75-110.
- STERMAN, J. [2000]. *Business Dynamics. System Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill, New York.
- STEWART, I. [1994]. *La risposta definitiva*. In *Le Scienze*, vol. settembre. Il testo è disponibile in linea come trascrizione dell'edizione originale su *Scientific American*, July 1994, a [www.ims.res.in/~sitabhra/teaching/cmp03/ian\\_stewart.html](http://www.ims.res.in/~sitabhra/teaching/cmp03/ian_stewart.html).
- STRADER, T.J., LIN, F.R. e SHAW, M.J. [1998]. *Simulation of order fulfillment in divergent assembly supply chains*. In *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 1(2). [jasss.soc.surrey.ac.uk/1/2/5.html](http://jasss.soc.surrey.ac.uk/1/2/5.html).
- SUMPTER, D.J.T. e BROOMHEAD, D.S. [2000]. *Shape and Dynamics of Thermoregulating Honey Bee Clusters*. In *Journal of Theoretical Biology*, pp. 1-14.
- SUN, R. e NAVEH, I. [2004]. *Simulating Organizational Decision Making Using a Cognitively Realistic Agent Model*. In *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 7(3). [jasss.soc.surrey.ac.uk/JASSS/7/3/5.html](http://jasss.soc.surrey.ac.uk/JASSS/7/3/5.html).
- TERNA, P. [1998a]. *Creare mondi artificiali: una nota su Sugarscape e due commenti*. In *Sistemi Intelligenti*, vol. 3, pp. 489-496.
- [1998b]. *Simulation tools for social scientists: Building agent based models with swarm*. In *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 1(2). [jasss.soc.surrey.ac.uk/1/2/4.html](http://jasss.soc.surrey.ac.uk/1/2/4.html).

- [2000a]. *Economic Experiments with Swarm: a Neural Network Approach to the Self-Development of Consistency in Agents' Behavior*. In F. Luna e B. Stefansson, cur., *Economic Simulations in Swarm: Agent-Based Modelling and Object Oriented Programming*. Kluwer Academic, Dordrecht and London, pp. 73-103.
  - [2000b]. *Hayek e il connessionismo: modelli con agenti che apprendono*. In G. Clerico e S. Rizzello, cur., *Il pensiero di Friedrich von Hayek*, vol. 1. Utet, pp. 105-136.
  - [2000c]. *The 'Mind or No-Mind' Dilemma in Agents Behaving in a Market*. In G. Ballot e G. Weisbuch, cur., *Applications of Simulation to Social Sciences*. Hermes Science Publishing Ltd, Oxford, pp. 257-270.
  - [2000d]. *SUM: a Surprising (Un)realistic Market: Building a Simple Stock Market Structure with Swarm*. Presentato a CEF 2000, Barcelona, June 5-8, in linea a [web.econ.unito.it/terna/cef2000pterna/cefpterna.html](http://web.econ.unito.it/terna/cef2000pterna/cefpterna.html).
  - [2002a]. *Cognitive Agents Behaving in a Simple Stock Market Structure*. In F. Luna e A. Perrone, cur., *Agent-Based Methods in Economics and Finance: Simulations in Swarm*. Kluwer Academic, Dordrecht and London, pp. 188-227.
  - [2002b]. *Simulazione ad agenti in contesti di impresa*. In *Sistemi intelligenti*, vol. 14(1), pp. 33-51.
  - [2003]. *Creare mondi artificiali: una nota su Sugarscape e due commenti*. In *Sistemi Intelligenti*, vol. XVI(2), pp. 347-376.
- TERNA, P. e MARGARITA, S. [1988]. *Rassegna di strumenti informatici*. Giappichelli, Torino.
- TESFATSION, L. [2001a]. *Agent-Based Computational Economics: A Brief Guide to the Literature*. In J. Michie, cur., *Reader's Guide to the Social Sciences*, vol. 1. Fitzroy-Dearborn, London, UK.
- [2001b]. *Agent-Based Computational Economics: Growing Economies from the Bottom Up*. In *Artificial Life*, vol. 8(1), pp. 55-82.
  - [2001c]. *Special Issue on Agent-Based Computational Economics*. In *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 25(3-4).
  - [2001d]. *Special Issue on Agent-Based Computational Economics*. In *Computational Economics*, vol. 18(1).
- TOBIAS, R. e HOFMANN, C. [2003]. *Evaluation of Free Java-libraries for Social-scientific Agent Based Simulation*. In *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 7(1). University of Surrey.
- TODER, E., FAVREAU, M., O'HARE, J., ROGERS, D., SAMMARTINO, F., SMITH, K., SMETTERS, K. e RUST, J. [2000]. *Long Term Model Development for Social Security Policy Analysis - Final Report*. The Urban Institute, Washington, D. C. 20037.
- TROITZSCH, K. [1997]. *Social Science Simulation - Origins, Prospects, Purposes*. In R. Conte, R. Hegselmann e P. Terna, cur., *Simulating Social Phenomena, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 41-54.



- TULLOCK, G. e CAMPBELL, C.D. [1970]. *Computer Simulation of a Small Voting System*. In *Economic Journal*, vol. 80(317), pp. 97-104.
- VELUPILLAI, K. [2000]. *Computable Economics: The Arne Ryde Memorial Lectures (Arne Ryde Memorial Lectures)*. Oxford University Press, New York.
- VON BERTALANFFY, L. [1969]. *General System Theory, Foundations, Development, Applications*. George Braziller, New York.
- WAN, H.A., HUNTER, A. e DUNNE, P. [2002]. *Autonomous Agent Models of Stock Markets*. In *Artificial Intelligence Review*, vol. 17, pp. 87-128.
- WATTS, D.J. e STROGATZ, S.H. [1998]. *Collective dynamics of small-world networks*. In *Nature*, vol. 393, pp. 440-442.
- WEISBUCH, G., KIRMAN, A.P. e HERREINER, D. [2000]. *Market Organisation and Trading Relationships*. In *Economic Journal*, vol. 110, pp. 411-436.
- WHITE, J. [1996]. *A Common Agent Platform*. General Magic, Inc., Sunnyvale, CA.
- WIEDERHOLD, G. [1989]. *The Architecture of Future Information Systems*. Technical Report, Computer Science Department, Stanford University.
- WILLIAMSON, D., COOKE, P., JENKINS, W. e MORETON, K.M. [2003]. *Strategic Management and Business Analysis*. Butterworth-Heinemann, Boston.
- WOOLDRIDGE, M. [1995]. *Conceptualising and Developing Agents*. In *Proceedings of the UNICOM Seminar on Agent Software*. pp. 25-26.
- WOOLDRIDGE, M. e JENNINGS, N. [1995]. *Intelligent agents: Theory and practice*. In *Knowledge Engineering Review*, vol. 10(2), pp. 115-152.