

# Modelli per la complessità - La simulazione ad agenti in economia

a cura di

Pietro Terna, Riccardo Boero, Matteo Morini e Michele Sonnessa

Febbraio 2006



# Indice

<b>Premessa</b>	<b>xiii</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 . . . . .	6
1.4. Le due sfide alla scienza economica standard . . . . .	12
<b>I Modelli ad agenti</b>	<b>17</b>
<b>2 Modelli ad agenti: introduzione</b>	<b>19</b>
<i>Pietro Terna</i>	
2.1. Modelli e simulazione . . . . .	19
2.2. Complessità . . . . .	20
2.3. Simulazione ad agenti . . . . .	20
2.4. Rappresentazione della realtà . . . . .	22
2.5. L'economia non è un progetto . . . . .	23
2.6. Complicato e complesso . . . . .	24
2.7. Un'attenzione speciale verso le scienze cognitive . . . . .	26
2.8. Struttura dei modelli . . . . .	26
2.9. La struttura del libro . . . . .	28
<b>3 Uso della simulazione in economia</b>	<b>29</b>
<i>Magda Fontana</i>	
3.1. Premessa . . . . .	29
3.2. Modelli di simulazione, modelli matematici, modelli linguistici . . . . .	30
3.2.1. La simulazione in pratica: un tentativo di classificazione . . . . .	32

3.3.	Trasmettere i risultati . . . . .	34
3.4.	La comunicazione all'interno di una disciplina: la simulazione in economia . . . . .	36
3.5.	Conclusioni . . . . .	44
<b>4</b>	<b>Le critiche e la diffusione della nuova metodologia</b>	<b>47</b>
	<i>Pietro Terna</i>	
4.1.	Una domanda preliminare . . . . .	47
4.2.	La rappresentazione della realtà . . . . .	48
<b>5</b>	<b>Una risposta alle critiche: le metodologie per la definizione dei modelli di simulazione</b>	<b>51</b>
	<i>Matteo Richiardi e Roberto Leombruni</i>	
5.1.	Introduzione . . . . .	51
5.2.	Le simulazioni sono teoria . . . . .	52
5.3.	Le simulazioni sono matematica . . . . .	54
5.4.	Le simulazioni conducono a risultati generali . . . . .	56
5.5.	Le simulazioni sono stimabili . . . . .	58
5.6.	Le simulazioni hanno bisogno di standard metodologici condivisi . . . . .	59
	5.6.1. Collegamento con la letteratura . . . . .	60
	5.6.2. Struttura del modello . . . . .	61
	5.6.3. Analisi del modello . . . . .	61
	5.6.4. Replicabilità . . . . .	61
5.7.	Conclusioni . . . . .	62
<b>6</b>	<b>Gli agenti dall'informatica alle scienze cognitive e alle applicazioni</b>	<b>63</b>
	<i>Marco Remondino</i>	
6.1.	I confini della metodologia . . . . .	63
6.2.	Caratteristiche fondamentali degli agenti . . . . .	65
6.3.	Struttura di un sistema multi agente . . . . .	66
6.4.	Azione e reazione . . . . .	68
6.5.	Ragionamento negli agenti . . . . .	69
6.6.	Soluzioni ibride . . . . .	69
6.7.	Agenti BDI, scienze cognitive e logica modale . . . . .	71
6.8.	I mondi possibili e la logica modale . . . . .	71
6.9.	Applicazione pratica del paradigma BDI . . . . .	73
6.10.	L'interazione tra gli agenti e le applicazioni . . . . .	74
	6.10.1. Scienze sociali . . . . .	74
	6.10.2. Scienze ingegneristiche . . . . .	75
	6.10.3. Mondi virtuali . . . . .	75
<b>II</b>	<b>Costruzione degli agenti</b>	<b>77</b>
<b>7</b>	<b>Costruzione degli agenti: introduzione</b>	<b>79</b>
	<i>Pietro Terna</i>	
7.1.	Agenti semplici e complessi . . . . .	79

7.2.	Una classificazione . . . . .	80
7.2.1.	Caso (i) agenti «senza mente» operanti in un ambiente non strutturato . . . . .	80
7.2.2.	Caso (ii) agenti «senza mente» operanti in un ambiente strutturato . . . . .	80
7.2.3.	Caso (iii) agenti «con mente» operanti in un ambiente non strutturato . . . . .	81
7.2.4.	Caso (iv) agenti «con mente» operanti in un ambiente strutturato . . . . .	82
7.3.	Proprietà emergenti . . . . .	82
<b>8</b>	<b>Processi cognitivi e studio delle proprietà emergenti nei modelli ad agenti</b>	<b>85</b>
	<i>Riccardo Boero, Marco Castellani e Flaminio Squazzoni</i>	
8.1.	Processi cognitivi ed emergenza nei modelli ad agenti . . . . .	85
8.2.	ABM emergentisti, ovvero lo studio delle proprietà emergenti di primo ordine . . . . .	87
8.3.	ABM immergentisti, ovvero lo studio delle proprietà emergenti di secondo ordine . . . . .	91
8.4.	Conclusioni . . . . .	96
<b>9</b>	<b>Apprendimento: reti neurali, algoritmi genetici, sistemi a classificatore</b>	<b>99</b>
	<i>Gianluigi Ferraris</i>	
9.1.	Introduzione . . . . .	99
9.2.	Autonomia decisionale e capacità degli agenti . . . . .	100
9.3.	Le reti neurali artificiali . . . . .	102
9.4.	Gli algoritmi genetici . . . . .	104
9.5.	I sistemi a classificatore . . . . .	106
9.6.	Paradigma «mentale» e paradigma «individuale» nell'applicazione dei metodi evolutivi . . . . .	108
9.6.1.	Paradigma «mentale» . . . . .	108
9.6.2.	Paradigma «individuale» . . . . .	109
9.7.	Struttura dei modelli: lo schema ERA . . . . .	110
9.8.	Generalità dei metodi . . . . .	110
9.9.	Potenziamento dei metodi . . . . .	111
9.9.1.	Alfabeti estesi ed operatori speciali . . . . .	111
9.9.2.	Normalizzazione dei valori di <i>fitness</i> . . . . .	112
9.9.3.	Cooperazione fra diversi algoritmi . . . . .	113
9.10.	Utilizzare algoritmi genetici, sistemi a classificatore e reti neurali artificiali nei modelli . . . . .	114
9.11.	Conclusioni . . . . .	115
<b>10</b>	<b>Costruire agenti intelligenti utilizzando la teoria dell'evidenza</b>	<b>117</b>
	<i>Guido Fioretti</i>	
10.1.	Introduzione . . . . .	117
10.2.	La teoria dell'evidenza . . . . .	118
10.3.	Esempio: un attacco aereo . . . . .	124

<b>11 Tempo, casualità e sincronizzazione degli eventi nei modelli</b>	<b>129</b>
<i>Gianluigi Ferraris</i>	
11.1. Introduzione . . . . .	129
11.2. Tempo reale e tempo simulato . . . . .	130
11.3. Simulare il caso . . . . .	132
11.3.1. Controllare il «caso» per replicare i risultati . . . . .	132
11.3.2. Una proposta di metodo per gestire i numeri casuali . . . . .	133
11.4. Contemporaneità e sequenzialità: il parallelismo . . . . .	134
<b>12 La struttura delle comunicazioni tra agenti</b>	<b>137</b>
<i>Guido Fioretti</i>	
12.1. Introduzione . . . . .	137
12.2. La componente gigante . . . . .	137
12.3. Il mondo piccolo . . . . .	139
12.4. Le reti scalabili . . . . .	142
12.5. Comunità in rete . . . . .	146
<b>III Strumenti</b>	<b>151</b>
<b>13 Strumenti: introduzione</b>	<b>153</b>
<i>Pietro Terna</i>	
13.1. Gli strumenti . . . . .	153
13.2. Scelte di approfondimento . . . . .	154
13.3. Swarm, JAS e la programmazione a oggetti . . . . .	156
13.4. Caratteristiche fondanti di NetLogo . . . . .	157
13.5. Un confronto . . . . .	158
<b>14 Swarm</b>	<b>159</b>
<i>Riccardo Boero e Matteo Morini</i>	
14.1. Introduzione . . . . .	159
14.2. L'ambiente di simulazione . . . . .	161
14.2.1. L'osservatore . . . . .	162
14.2.2. Il modello . . . . .	163
14.3. Primi passi . . . . .	164
14.3.1. Un agente semplice in un mondo semplice (ma duro) . . . . .	165
14.3.2. Molti agenti in un mondo complicato . . . . .	173
14.4. Un esempio: Heatbugs . . . . .	177
14.4.1. Il mondo degli insetti . . . . .	177
14.4.2. Gli insetti . . . . .	177
14.4.3. Visualizzazione della simulazione . . . . .	178
14.5. Conclusioni . . . . .	182
<b>15 JAS</b>	<b>183</b>
<i>Michele Sonnessa</i>	
15.1. Introduzione . . . . .	183
15.2. Installazione . . . . .	184

15.3. Primi passi con JAS . . . . .	186
15.4. Il modello di esempio HeatBugs . . . . .	188
15.5. Gli agenti HeatBug . . . . .	191
15.6. L'observer . . . . .	193
15.7. Le statistiche . . . . .	196
15.8. La biblioteca di funzioni sulle reti . . . . .	197
<b>16 NetLogo</b>	<b>201</b>
<i>Michele Sonnessa</i>	
16.1. Introduzione . . . . .	201
16.2. L'installazione . . . . .	202
16.3. L'ambiente di sviluppo . . . . .	202
16.4. Il linguaggio di programmazione . . . . .	203
16.5. I primi passi . . . . .	203
16.6. Un modello di esempio . . . . .	206
16.7. Le statistiche . . . . .	210
16.8. Conclusione . . . . .	211
<b>IV Modelli</b>	<b>213</b>
<b>17 Un simulatore di borsa costruito con Swarm</b>	<b>215</b>
<i>Pietro Terna</i>	
17.1. I simulatori di borsa ad agenti, verso una scelta radicale . . . . .	215
17.2. Il modello SUM . . . . .	216
17.3. I risultati con soli agenti artificiali . . . . .	217
<b>18 Una simulazione neo-keynesiana ad agenti eterogenei</b>	<b>221</b>
<i>Massimo Salzano</i>	
18.1. Introduzione . . . . .	221
18.2. Motivazione e rapporto con i lavori esistenti . . . . .	223
18.2.1. Il caso di agenti rappresentativi . . . . .	224
18.2.2. Il caso di agenti eterogenei . . . . .	224
18.2.3. Le modificazioni di fase e l'approccio <i>top-down</i> . . . . .	227
18.3. Il contesto di simulazione . . . . .	229
18.3.1. L'ipotesi di agenti rappresentativi . . . . .	232
18.3.2. Il caso di agenti eterogenei . . . . .	233
18.4. Il modello di simulazione . . . . .	234
18.5. Gli strumenti per analizzare gli effetti di politica nel caso di sistemi complessi incerti e basati su agenti eterogenei . . . . .	236
18.6. Risultati della simulazione . . . . .	238
18.6.1. L'emergenza di caratteristiche macroeconomiche dall'eterogeneità degli agenti . . . . .	238
18.6.2. «Computer-Assisted Reasoning» e gli effetti delle politiche fiscali	241
18.7. Risultati differenti ottenuti dai modelli tradizionali e loro motivazioni.	245
18.8. Conclusioni e possibili estensioni del modello . . . . .	246

<b>19 L'impresa come contesto tipico per la complessità</b>	<b>249</b>
<i>Pietro Terna</i>	
19.1. Ricostruire l'impresa in simulazione . . . . .	249
19.2. Un doppio formalismo . . . . .	250
19.3. Obiettivi teorici e processo di decisione . . . . .	251
<b>20 I livelli della simulazione per l'impresa</b>	<b>255</b>
<i>Michele Sonnessa</i>	
20.1. Introduzione . . . . .	255
20.2. I modelli analitici dei sistemi dinamici . . . . .	255
20.3. La simulazione dei sistemi dinamici . . . . .	256
20.3.1. Rappresentazione del tempo . . . . .	257
20.4. Le più diffuse tecniche di simulazione . . . . .	257
20.5. Simulazione di processo . . . . .	258
20.5.1. Le funzionalità tipiche . . . . .	259
20.5.2. Un esempio . . . . .	260
20.6. System dynamics . . . . .	263
20.6.1. Le variabili . . . . .	264
20.6.2. I ritardi . . . . .	265
20.6.3. I modelli di causa-effetto . . . . .	266
20.6.4. Un esempio . . . . .	267
20.7. Simulazione basata su agenti . . . . .	269
20.7.1. La programmazione ad oggetti . . . . .	269
20.7.2. Dall'OOP ai modelli ad agenti . . . . .	270
20.7.3. Il linguaggio UML . . . . .	272
20.7.4. Il paradigma modello-osservatore . . . . .	273
20.7.5. Un esempio . . . . .	273
20.8. Conclusioni . . . . .	278
<b>21 jES (java Enterprise Simulator) e jES Open Foundation</b>	<b>281</b>
<i>Pietro Terna</i>	
21.1. Introduzione . . . . .	281
21.2. Dizionario del modello e classificazione delle componenti; le cose da fare e chi le fa . . . . .	282
21.3. Generazione degli ordini: OderGenerator e OrderDistiller, con <i>WD</i> e <i>WDW</i> . . . . .	283
21.4. Descrizione delle unità, con <i>DW</i> . . . . .	284
21.5. Esempi senza e con sequenza temporale esplicita (con OrderGenerator e con OrderDistiller) . . . . .	284
21.5.1. Uso di unità semplici o complesse e prove sulla flessibilità, con generazione a caso delle ricette produttive . . . . .	285
21.5.2. Distillazione degli ordini, con le relative ricette, da un repertorio, secondo sequenze prestabilite . . . . .	288
21.5.3. Distillazione di ordini con jESOF . . . . .	291
21.5.4. Un secondo esempio con jESOF: le formiche di Langton . . . . .	295

<b>V Applicazioni</b>	<b>297</b>
<b>22 Esperimenti con agenti umani in un contesto di simulazione</b>	<b>299</b>
<i>Pietro Terna</i>	
22.1. Dalla simulazione ad agenti agli esperimenti . . . . .	299
22.2. Un esempio, relativo a una borsa simulata . . . . .	300
22.3. Aspetti tecnici . . . . .	302
<b>23 Ottimizzazione della produzione (applicazioni nel ciclo tessile)</b>	<b>303</b>
<i>Matteo Morini</i>	
23.1. Introduzione . . . . .	303
23.2. Il problema della pianificazione . . . . .	304
23.3. La produzione nell'industria tessile: un approfondimento . . . . .	306
23.3.1. Attrezzaggio delle unità produttive . . . . .	307
23.3.2. Costi dovuti a consegne ritardate . . . . .	307
23.3.3. Interferenze nelle attività di attrezzaggio e sorveglianza . . . . .	308
23.4. Valutazione mediante simulazione . . . . .	309
23.4.1. Sperimentare soluzioni . . . . .	310
23.4.2. Chi inventa le pianificazioni? Il «Golem»! . . . . .	311
23.4.3. Emergono le pianificazioni migliori . . . . .	312
<b>24 Organizzazione di sistemi aziendali</b>	<b>313</b>
<i>Pietro Terna</i>	
24.1. Il caso di una azienda meccanica con produzione tradizionale . . . . .	313
24.2. Il caso di una azienda dell'abbigliamento, organizzata in modo non convenzionale . . . . .	315
<b>25 Razionalizzazione di interventi con azione sul territorio</b>	<b>317</b>
<i>Pietro Terna</i>	
25.1. Descrizione di un sistema di intervento di pronto soccorso . . . . .	317
25.2. La simulazione . . . . .	318
<b>26 Simulazioni ad agenti e industrie ad alta intensità di capitale</b>	<b>323</b>
<i>Massimo Daniele Sapienza</i>	
26.1. Introduzione . . . . .	323
26.2. Il mercato elettrico come sistema complesso . . . . .	326
26.3. Industry Evolution Model (Iem) . . . . .	327
26.4. Electricity Market Complex Adaptive System (Emcas) . . . . .	328
26.5. Conclusioni . . . . .	331
<b>27 Una sintesi: dall'analisi what-if all'evoluzione dell'impresa</b>	<b>333</b>
<i>Gianluigi Ferraris</i>	
27.1. Simulazioni e conoscenza aziendale . . . . .	334
27.2. Analisi what if e generazione di strategie . . . . .	335
27.3. Utilizzare al meglio un processo . . . . .	336
27.4. Evolvere processi, aziende, interi distretti . . . . .	337
27.5. La realizzazione di un modello di distretto: un esercizio . . . . .	339

<b>28</b>	<b>Imprese e reti di imprese, modellistica evolutiva</b>	<b>343</b>
	<i>Pietro Terna</i>	
28.1.	La formazione di un ciclo economico dovuta alla interazione tra imprese	343
28.2.	Un modello di coevoluzione tra il sistema del lavoro e quello delle imprese	345
<b>29</b>	<b>Banche e imprese</b>	<b>351</b>
	<i>Domenico Delli Gatti, Mauro Gallegati e Gianfranco Giulioni</i>	
29.1.	Introduzione . . . . .	351
29.2.	Il modello . . . . .	352
29.3.	Simulazioni . . . . .	354
29.3.1.	Gli oggetti . . . . .	354
29.3.2.	La dinamica . . . . .	356
29.4.	Conclusioni . . . . .	360
<b>30</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>363</b>
	<i>Francesco Luna</i>	
30.1.	Conclusioni . . . . .	363
	<b>Riferimenti bibliografici</b>	<b>369</b>
	<b>Indice analitico</b>	<b>385</b>
	<b>Notizie sugli autori</b>	<b>389</b>

## Elenco delle figure

2.1	Schema ERA, <i>Environment-Rules-Agents</i> . . . . .	27
3.1	L'andamento del ricorso alle tecniche di simulazione. . . . .	38
3.2	Andamento secondo il tipo di tecnica di simulazione. . . . .	39
3.3	Distribuzione delle tecniche di simulazione per impiego. . . . .	40
7.1	Il metodo dei <i>Cross Targets</i> . . . . .	81
10.1	Due possibilità contraddittorie (a sinistra), coerenti (al centro) e parzialmente coerenti/contraddittorie (a destra). . . . .	122
10.2	Il quadro del discernimento è l'intero rettangolo, le possibilità $A_1$ e $B_1$ sono tratteggiate con inclinazioni opposte. . . . .	123
10.3	Il quadro del discernimento, ripetuto cinque volte in modo da evidenziare le posizioni relative di $A_1, A_2, B_1, B_2, B_3, C_2, C_3, C_1, C_4$ . . . . .	125
10.4	Il quadro del discernimento, ripetuto otto volte in modo da individuare le posizioni relative di $C_1, C_2, C_3, C_4, D_1, D_2, D_3, E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, E_7, E_8$ . . . . .	127
11.1	Schema di gestione dei <i>random seeds</i> o «semi» delle distribuzioni di numeri casuali. . . . .	134
12.1	Esempio di un grafo con relazioni esclusivamente locali. . . . .	139
12.2	Esempio di un grafo con relazioni casuali. . . . .	140
12.3	Esempio di un grafo a topologia «mondo piccolo». . . . .	140
12.4	Una distribuzione della connettività. Un generico punto di questa distribuzione significa, ad esempio, che nel grafo ci sono 10 nodi a connettività 5. . . . .	142
12.5	Un confronto tra la legge esponenziale 12.5 e la legge di potenza 12.6 per $\beta = \gamma = 1$ . . . . .	143

12.6	Il nodo $i$ , pur avendo connettività $k_i = 2$ , è tale che la sua rimozione spezzerebbe il grafo nelle due componenti A e B. . . . .	146
12.7	Aggiungendo un solo arco al grafo della figura 12.6, l'infracentralità del nodo $i$ diminuisce. . . . .	147
13.1	L'analisi del web semantico con l'espressione <i>agent based simulation</i> . . . . .	155
13.2	L'ingrandimento di <i>social simulation</i> dalla figura precedente. . . . .	156
14.1	La struttura di una simulazione Swarm. . . . .	161
14.2	Un esempio di <i>schedule</i> di una simulazione. . . . .	164
14.3	Il pannello di controllo e la sonda dell'osservatore. . . . .	171
14.4	La felicità dell'agente nel tempo, con frequenza di aggiornamento 1. . . . .	172
14.5	La felicità dell'agente nel tempo, con frequenza di aggiornamento 30. . . . .	172
14.6	Lo zoom di un grafico a linea, con una operazione di selezione in corso. . . . .	173
14.7	Sonde dell'osservatore e del modello. . . . .	178
14.8	Il mondo all'inizio della simulazione. . . . .	179
14.9	Al passo 200: la selezione di un insetto solitario e la sua sonda. . . . .	180
14.10	Al passo 200: l'evoluzione dell'infelicità media. . . . .	180
14.11	Al passo 600: l'insetto selezionato non è più solo né particolarmente infelice. . . . .	181
14.12	Al passo 4.500: una nuvola di gruppi in movimento. . . . .	181
15.1	Interfaccia di JAS, caricamento dei progetti. . . . .	185
15.2	La rappresentazione del mondo attraverso due strati. . . . .	190
15.3	Il modello HeatBugs. . . . .	195
16.1	L'ambiente di sviluppo di NetLogo. . . . .	203
16.2	Disposizione delle tartarughe dopo alcuni passi. . . . .	205
16.3	La situazione dopo altri passi, cambiando direzione a caso. . . . .	206
16.4	La configurazione iniziale del modello di Schelling. . . . .	207
16.5	Una configurazione di equilibrio della simulazione. . . . .	212
17.1	Sequenza di prezzi di una simulazione base, solo con agenti che operano in modo casuale. . . . .	217
17.2	Andamento del patrimonio di agenti CT che interagiscono con molti agenti casuali, essendo anche presente un piccolo gruppo di agenti che seguono rigidamente la previsione di una rete neurale e un piccolo gruppo di agenti che praticano lo <i>stop loss</i> . (Nel grafico compare anche l'andamento dei prezzi). . . . .	218
18.1	Trasposizione nel piano c/l della retta a 45° del modello macroeconomico tradizionale. . . . .	231
18.2	La <i>wedge</i> del consumatore. . . . .	232
18.3	I vari scenari di equilibrio. . . . .	234
18.4	Macro-emergenza dall'eterogeneità degli agenti ed informazione imperfetta. . . . .	238
18.5	L'effetto dell'interazione tra gli agenti sulle fluttuazioni endogene. . . . .	240

18.6	Gli effetti delle modificazioni delle preferenze degli individui sugli scambi di beni e di lavoro. . . . .	241
18.7	Esempio dei diagrammi di fase ottenibili dalla <i>shell</i> adoperata. . . . .	242
18.8	Diversi livelli degli scambi al variare del numero dei conoscenti ed amici e della spesa pubblica. . . . .	243
18.9	Moltiplicatore unitario rispetto agli scambi della spesa pubblica al variare del gruppo di conoscenti. . . . .	245
18.10	Moltiplicatore unitario della spesa pubblica pari a 15 rispetto a «conoscenti». . . . .	246
18.11	Moltiplicatore unitario della spesa pubblica pari a 30 rispetto a «conoscenti». . . . .	246
19.1	Una visione statica del modello jES. . . . .	250
19.2	Una visione dinamica del modello jES. . . . .	251
19.3	Scelta e decisione. . . . .	253
20.1	Stato del sistema al tempo 0. . . . .	258
20.2	Stato del sistema al tempo 0.1. . . . .	258
20.3	Rappresentazione del processo di servizio (Extend). . . . .	261
20.4	Utile operativo con quattro configurazioni differenti (1, 3, 5 e 6 servitori). . . . .	263
20.5	Variabili di flusso e di livello. . . . .	265
20.6	Le variabili ausiliarie e i ritardi temporali. . . . .	266
20.7	esempio di circuito di feedback positivo e negativo. . . . .	267
20.8	Modello di gestione degli investimenti (VenSim). . . . .	269
20.9	Comparazione dei risultati con politiche di marketing diverse (10%, 16% e 30%). . . . .	270
20.10	Dinamica dei clienti acquisti con le diverse politiche di marketing (10%, 16% e 30%). . . . .	271
20.11	Diagramma di causa-effetto del modello. . . . .	271
20.12	Rappresentazione UML delle classi Competitor e Consumer . . . . .	274
20.13	Il diagramma di sequenza UML del modello ad agenti. . . . .	275
20.14	Numero di aziende sopravvissute con differenti scenari. . . . .	276
20.15	Dinamica di crescita di 30 <i>competitor</i> con quote di mercato comprese tra 10% e 30%. . . . .	277
21.1	L'avvio di una applicazione jES, secondo lo standard delle applicazione Swarm . . . . .	285
21.2	Ritardi e utile in presenza di unità tutte semplici e uniche. . . . .	286
21.3	Il contenuto del file «unit.xls» per le unità complesse. . . . .	287
21.4	Ritardi (nessuna produzione) e utile in presenza di unità in parte semplici e in parte complesse, in grado di svolgere tutti i passi delle ricette, con assegnazione rigida alla prima unità. . . . .	288
21.5	Ritardi e utile in presenza di unità in parte semplici e in parte complesse, in grado di svolgere tutti i passi delle ricette, con assegnazione casuale alle unità. . . . .	288

21.6	Ritardi e utile in presenza di unità in parte semplici e in parte complesse, in grado di svolgere tutti i passi delle ricette, con assegnazione delle produzioni alle unità con coda d'attesa minore. . . . .	289
21.7	La simulazione al tempo 0. . . . .	289
21.8	La simulazione al tempo 3. . . . .	290
21.9	La simulazione al tempo 4. . . . .	291
21.10	La simulazione al tempo 8. . . . .	291
21.11	La rappresentazione astratta del modello jESOF. . . . .	293
21.12	Da sinistra a destra lo strato dell'erba, quello dei conigli (le prede) e quello delle volpi (i predatori); erba, conigli e volpi sono rappresentati dalle aree scure; il grigio intermedio è spazio vuoto; il grigio chiaro indica l'area di visibilità dell'unità. . . . .	294
21.13	Repertorio delle ricette. . . . .	294
21.14	Come si sono mosse le formiche. . . . .	295
22.1	L'interfaccia di un esperimento in linea del 2003; la figura è tratta da Cappellini [2005]. . . . .	300
22.2	Il dettaglio dei dati a richiesta; la figura è tratta da Cappellini [2005]. . . . .	301
24.1	Produzione con <i>unitCriterion</i> = 2. . . . .	314
24.2	Stesso caso, aggiungendo 3 unità complesse nel reparto di tornitura. . . . .	315
25.1	Il sistema in condizioni normali, con le code di attesa delle unità. . . . .	319
25.2	Il sistema in condizioni di carico simulato. . . . .	320
25.3	Effetti dell'intervento sulla postazione di valutazione sanitaria. . . . .	320
28.1	Il ciclo produttivo e la configurazione spaziale delle imprese con l'esperimento 5.2. . . . .	344
28.2	Il ciclo produttivo e la configurazione spaziale delle imprese con l'esperimento 5.3. . . . .	344
28.3	Versione 1 della simulazione lavoratori-imprese. . . . .	346
28.4	Versione 2 della simulazione lavoratori-imprese. . . . .	347
28.5	Versione 3 della simulazione lavoratori-imprese. . . . .	348
28.6	Versione 4 della simulazione lavoratori-imprese. . . . .	349
29.1	La struttura del modello senza banca (sinistra) e del modello con banca (destra) per quanto riguarda gli oggetti. . . . .	355
29.2	Gli oggetti di base del modello: l'impresa e la banca. . . . .	356
29.3	Diagramma di flusso della simulazione. . . . .	357
29.4	Esecuzione del modello in modalità <i>batch</i> . . . . .	358
29.5	Esecuzione del modello in modalità grafica. . . . .	359

## Premessa

Presentiamo il tema della simulazione ad agenti per le scienze sociali suggerendo quattro percorsi di lettura. Ovviamente il percorso prediletto dai curatori è quello complessivo, nell'ordine dei capitoli.

- Didattico introduttivo: capp. 1, 2, 3, 7, 13, 14, 15, 16.
- Didattico approfondito: ai precedenti si aggiungono i capp. 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25; in questo percorso compaiono le applicazioni al mondo delle imprese.
- Manualistico avanzato: ai precedenti si aggiungono i capp. 6, 9, 10, 11, 12, 27; in questo percorso compaiono riflessioni approfondite sulle metodologie di applicazione delle tecniche ad agenti, nonché una finestra sul mondo della intelligenza artificiale in senso proprio.
- Di discussione e ricerca: ai precedenti si aggiungono i capp. 4, 5, 8, 17, 18, 26, 28, 29, 30; in questo percorso si manifesta una discussione interna al libro, con posizioni anche in certa misura in dissenso rispetto alla linea principale della trattazione, ma è bene che sia così, in particolare in un campo giovane qual è quello affrontato in questo volume.

Il libro è accompagnato da un sito in linea, all'indirizzo [abm.econ.unito.it](http://abm.econ.unito.it), richiamato nel testo, dove si trovano sia gli approfondimenti tecnici degli argomenti trattati, sia numerosi complementi informativi, in particolare per le applicazioni, sia – direttamente o tramite il rinvio ad altri siti – il software utilizzato per le simulazioni.

Ringraziamo vivamente Giuseppe Marotta, Monica Albertoni e Stefano Manfredi. Al primo dobbiamo l'idea iniziale e l'incoraggiamento a scrivere questo libro; a Monica Albertoni siamo riconoscenti per l'aiuto nell'impostare e svolgere il nostro lavoro e per la pazienza con cui ha subito i nostri involontari ritardi; a Stefano Manfredi siamo grati per l'aiuto nell'impostazione del manoscritto in  $\text{\LaTeX}$ .

Ringraziamo i coautori, per il contributo di idee, per l'entusiasmo e per aver accettato le nostre «prepotenze».

Ringraziamo il Progetto Lagrange<sup>1</sup>, ideato dalla Fondazione CRT per diffondere gli studi e le applicazioni della complessità. Alcuni autori e curatori di questo libro hanno beneficiato di borse di studio o di ricerca Lagrange ed il lavoro nel suo complesso si è avvantaggiato del clima di collaborazione, reso possibile dal Progetto, tra studiosi di campi e nazionalità differenti.

Infine un grazie agli ideatori e autori del sistema CVS per il controllo e la gestione delle versioni di un lavoro<sup>2</sup>. Quel software ci ha permesso di lavorare in molti ad un prodotto complesso, modificandolo in parallelo senza troppi inconvenienti. Un vero esempio di *stigmergy*<sup>3</sup>!

Pietro Terna, Riccardo Boero, Matteo Morini, Michele Sonnessa<sup>4</sup>

Torino, ottobre 2005

---

<sup>1</sup>[www.progettolagrange.it](http://www.progettolagrange.it)

<sup>2</sup>[www.nongnu.org/cvs](http://www.nongnu.org/cvs)

<sup>3</sup>Vedere ad esempio [www.stigmergicsystems.com](http://www.stigmergicsystems.com).

<sup>4</sup>[pietro.terna@unito.it](mailto:pietro.terna@unito.it), [boero@econ.unito.it](mailto:boero@econ.unito.it), [matteo.morini@unito.it](mailto:matteo.morini@unito.it), [sonnessa@di.unito.it](mailto:sonnessa@di.unito.it)