

UNIVERSITÀ CATTOLICA DEL SACRO CUORE – MILANO

Facoltà di Scienze Politiche

Corso di Laurea Specialistica in Scienze della Comunicazione:  
Reti, Processi e Organizzazioni



## Apprendimento e Innovazione in un Mondo Artificiale

Relatore:

Chiar.mo Prof. Mario A. Maggioni

Tesi di Laurea di:

Stefano N. RONCARI

Matr. N. 3108339

Anno Accademico 2003 - 2004

Sono molte le persone che mi hanno accompagnato lungo l'appassionante percorso di questa tesi.

Un ringraziamento particolare va anzitutto a Mario Maggioni, per la sua sapiente guida, per la disponibilità e la pazienza, per le divertenti citazioni estratte dal cilindro, e per avermi sempre dimostrato la sua fiducia.

Grazie ad Alberto Bramanti, per la saggezza dei suoi consigli e per l'entusiasmo con cui ha seguito e incoraggiato lo sviluppo di questo lavoro.

Grazie a Erika Uberti, per il costante supporto organizzativo, per i chiarimenti teorici e per il tempo che mi ha dedicato tra viaggi, seminari e analisi bibliografiche.

Un sentito grazie a Pietro Terna, per la straordinaria disponibilità, per la chiarezza che ha saputo portare in un groviglio di idee e domande, per le risposte in real-time, e per la competenza con cui ha reso comprensibili problemi complessi.

La mia gratitudine va inoltre a Flaminio Squazzoni, Riccardo Boero, Matteo Morini, e alla classe di dottorato in “Cultura e Impresa”, per i brillanti suggerimenti che mi hanno puntualmente offerto.

### **Grazie anche a...**

Vale, perché ha sempre creduto in me, e per il sorriso con cui mi ha spronato a rialzarmi in ogni momento di difficoltà. Silvana e Angelo, per avermi permesso di aprire le ali. Iaia, per le discussioni che mi hanno reso sempre più cocciuto. Adri, perché con lui ho capito che non posso essere il migliore. Belinda, Giancarlo e Cri, per il loro immancabile affetto. Mik, per il sostegno che non mi ha mai negato. Damy, perché è un progga coi fiocchi. CC, per il suo “hey stex”. Ely, Ale, Ste, Marco, Simo, perché sono un regalo di questi cinque anni. Marcy, Fra, Ele, Anto, per le risate, per i popcorn e i pasticcini. Dany e Simo, perché siamo diversi ma non è un problema. Hilda, per il suo sorriso. Piero e gli altri, per una passione che mi ha dato tanto. Mauro, per avermi aiutato a crescere, con un pianoforte.

“Al principio non c'era niente  
e questo niente era un informe abisso,  
dove il nulla era caos  
e il caos era nulla.”

(libera interpretazione dal prologo  
dell'Edda, di Janne Teller)

“In principio  
Dio creò il cielo e la terra.  
Ma la terra era disadorna e deserta:  
c'erano tenebre sulla superficie dell'abisso  
e lo spirito di Dio aleggiava  
sulla superficie delle acque.”

(Genesi, La Sacra Bibbia)

# Sommario

<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>7</b>
<b>2. EMERGENZA E VITA ARTIFICIALE.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1. L'emergenza</b>	<b>12</b>
2.1.1. Caos e ordine	17
2.1.2. Un approccio interdisciplinare	20
<b>2.2. Mondi artificiali</b>	<b>29</b>
2.2.1. ABM e simulazione	30
2.2.2. Diffusione	36
2.2.2.1. Info-ricercatore	36
2.2.2.2. Torre di babele	38
2.2.3. Costruire ABM	42
2.2.3.1. Framework	42
2.2.3.2. Struttura del modello	45
2.2.3.3. Kiss e Kids	48
2.2.3.4. Mind e noMind	52
<b>3. VERSO CLUSTERBUGS.....</b>	<b>56</b>
<b>3.1. Premessa</b>	<b>57</b>
<b>3.2. Cluster di imprese</b>	<b>57</b>
3.2.1. Perché l'agglomerazione	59
3.2.2. Agglomerazione e conoscenza	64
3.2.3. Cluster high-tech	67
<b>3.3. I cluster tecno-settoriali</b>	<b>70</b>
<b>3.4. L'innovazione</b>	<b>72</b>
3.4.1. Strategia ed evoluzione	74
3.4.2. Imitazione	77
<b>3.5. Tempo, cicli e onde lunghe</b>	<b>79</b>
3.5.1. Le onde lunghe	80
3.5.2. I cicli di vita industriali	86

<b>4. DENTRO IL MODELLO.....</b>	<b>91</b>
<b>4.1. Heatbugs</b>	<b>92</b>
4.1.1. Il modello originale	92
4.1.2. Heatbugs+	97
4.1.2.1. Strutturazione del codice	97
4.1.2.2. Ottimizzazione dei selettori	98
4.1.2.3. Modifica del processo di nascita	98
4.1.2.4. Modifica del processo di movimento	100
4.1.2.5. Introduzione del campo visivo	101
<b>4.2. Clusterbugs</b>	<b>104</b>
4.2.1. Il ritorno dei bug	104
4.2.2. Gli obiettivi analitici	111
4.2.3. Interpretare il modello	115
4.2.3.1. Il tempo	116
4.2.3.2. Lo spazio	120
4.2.3.2.1. Dimensione geografica	121
4.2.3.2.2. Dimensione tecno-settoriale	122
4.2.4. La realizzazione	124
4.2.5. L'assetto finale	128
4.2.5.1. L'ingresso nel mercato	129
4.2.5.2. L'uscita dal mercato	131
4.2.5.3. L'organizzazione della conoscenza	132
4.2.5.3.1. L'apprendimento	133
4.2.5.3.2. L'obsolescenza	136
4.2.5.4. L'innovazione	137
4.2.5.5. La rilocalizzazione	141
4.2.5.5.1. Scansione dello spazio	142
4.2.5.5.2. Valutazione di opportunità	143
4.2.5.5.3. Trasferimento	147
<b>5. IN CONCLUSIONE.....</b>	<b>149</b>
<b>5.1. I risultati</b>	<b>150</b>
5.1.1. Mercato più selettivo	152
5.1.2. Minore probabilità di inventare	153

5.1.3. Maggiori ostacoli alla realizzazione dell'innovazione	154
5.1.4. Maggiore obsolescenza	156
5.1.5. Assenza di "spillover puro"	157
<b>5.2. Futuri sviluppi</b>	<b>159</b>
<b>5.3. Considerazioni conclusive</b>	<b>161</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>166</b>
<b>7. APPENDICE.....</b>	<b>180</b>

# 1

## Introduzione

La natura è fatta di fenomeni complessi, spesso incomprensibili, indecifrabili. Relazioni straordinariamente elaborate, degne dell'intelligenza più evoluta, costituiscono un delicato equilibrio che coinvolge ogni forma di vita.

Le dinamiche che sottendono tale bilanciamento di forze sono state tradizionalmente avvolte da un alone di mistero. Eppure, negli ultimi anni, si sta diffondendo una nuova prospettiva di indagine che ne rintraccia l'origine in una "capacità auto-organizzativa" risultante dalla semplice *interazione* fra entità elementari: pur non avendone intenzione, né consapevolezza, i singoli agenti concorrerebbero a generare delle strutture aggregate in grado di coesistere armonicamente. In quest'ottica il "caos", che sembra governare una pluralità di fenomeni naturali, andrebbe piuttosto inteso come un ordine governato da leggi complesse, del quale ogni organismo è assieme il prodotto e la causa.

Indipendentemente dal significato profondo che si voglia attribuire a questo fenomeno, nuove correnti in diversi ambiti scientifici stanno cercando di penetrare la "scatola nera" della complessità non già osservandola nell'insieme, ma partendo dall'analisi delle relazioni intersoggettive da cui essa sembra *emergere* in modo spontaneo.

In tale contesto un rilevante contributo è offerto dall'informatica evolutiva, che rende possibile la realizzazione di "mondi artificiali" in grado di riprodurre – sia pure con inevitabile approssimazione – l'emergenza "dal basso" di un ordine complesso. Si tratta di un approccio analitico estremamente innovativo che tuttavia, per ragioni di ordine tecnico e metodologico, tarda a diffondersi particolarmente nelle scienze sociali, nonostante le sue ampie prospettive di impiego in tale ambito.

L'oggetto di questo lavoro consiste precisamente in un'esperienza di ricerca finalizzata a studiare fenomeni socioeconomici complessi attraverso l'impiego di strumenti informatici evolutivisti. Più specificamente, l'indagine si concentra sull'analisi delle correlazioni esistenti tra il processo innovativo e le dinamiche di trasmissione della conoscenza tra imprese, in un contesto di agglomerazione spontanea rappresentato dai settori ad alto contenuto tecnologico. *Clusterbugs* è il



modello di simulazione che cerca di soddisfare tale curiosità analitica, attraverso la riproduzione artificiale di un “mondo” in cui imprese virtuali interagiscono ed evolvono, agendo in risposta al comportamento di altri attori ed alle puntuali caratteristiche dell'ambiente.

Per via dell'assoluta innovatività dell'approccio di indagine, la realizzazione del modello ha richiesto lo sviluppo di specifiche competenze progettuali e implementative, che è stato promosso dal ciclo di seminari di simulazione *agent-based* gestito (gratuitamente) dal prof. Pietro Terna<sup>1</sup> dell'Università di Torino, una delle personalità di maggiore rilievo nello scenario della simulazione “ad agenti” (cfr. par. 2.2), membro del *board of directors* di Swarm<sup>2</sup>.

*Clusterbugs* è inoltre il risultato di un percorso di ricerca condotto con la supervisione e la diretta partecipazione del prof. Mario Maggioni<sup>3</sup>, e con il costante supporto della comunità degli sviluppatori impegnati in questo filone di indagine. Il modello è infatti basato su tecnologie open-source attorno a cui si sono sviluppati gruppi di utenti portati a considerare la diffusione e la condivisione della conoscenza come importanti fattori di sviluppo e di crescita collettiva, proprio in ragione di un meccanismo che genera progresso a partire dall'interazione e dallo scambio informativo tra individui “in rete”<sup>4</sup>.

L'intero progetto di indagine, di cui questa tesi rappresenta un primo risultato, è stato oggetto di presentazione formale in due diverse occasioni: il 4 febbraio 2005, a Torino, una prima versione del modello è stata sottoposta – insieme ad alcuni dubbi metodologici – alla classe di studio dei dottorandi in Cultura e Impresa (indirizzo “Modelli matematici/informatici per l'impresa”); il 4 marzo 2005, inoltre, nell'ambito del *II Workshop di Vita Artificiale*<sup>5</sup> (Roma), è stata discussa

---

1 Dipartimento di Scienze Economiche e Finanziarie “G. Prato” – Facoltà di Economia: <http://web.econ.unito.it/terna/>.

2 Come si illustrerà nel primo capitolo, si tratta di uno dei principali framework di simulazione a livello mondiale, sviluppato dal Santa Fe Institute (New Mexico).

3 Università Cattolica di Milano – Dipartimento di economia internazionale, delle istituzioni e dello sviluppo (DISEIS) – Facoltà di Scienze Politiche.

4 Questo stesso documento è stato redatto con OpenOffice, un software open-source per il trattamento di materiali digitali di varia natura: <http://www.openoffice.org/>

5 Cfr. <http://gral.ip.rm.cnr.it/giva-aisc/ws2va/>

una versione avanzata del modello, molto simile a quella attuale. In entrambi i casi sono emerse delle opportunità di confronto che hanno permesso di trarre indicazioni rilevanti per l'ottimizzazione del modello e l'orientamento di ricerche future. Una seconda versione di *Clusterbugs* è infatti già in fase di progettazione: partendo dalle considerazioni raccolte e da nuovi interessi maturati nel corso dell'indagine, il nuovo modello incorporerà delle modifiche strutturali per analizzare i fenomeni di interesse in una prospettiva differente.

Da un punto di vista formale, il presente lavoro si articola in tre fondamentali momenti espositivi: in primo luogo si illustreranno le principali tematiche connesse al fenomeno dell'*emergenza* ed alle soluzioni tecnologiche per l'implementazione di “mondi artificiali”; successivamente si proporrà un quadro riassuntivo dei contributi teorici relativi alle dinamiche economiche considerate dal modello; in ultima istanza si affronterà una dettagliata presentazione di *Clusterbugs*, con riferimento alle problematiche tecniche e metodologiche affrontate nel corso del suo sviluppo. Seguirà una sezione conclusiva volta a presentare i principali risultati dell'indagine e le sue possibili direttive di sviluppo.

# 2

## Emergenza e vita artificiale

### Abstract

In questa sezione si affronterà l'analisi delle principali tematiche connesse all'emergenza della complessità, attraverso l'esplorazione delle implicazioni di tale fenomeno in una prospettiva segnatamente multidisciplinare.

Alla panoramica teorica sul fenomeno dell'emergenza seguirà l'illustrazione dei moderni sistemi di simulazione per lo studio della complessità, accompagnata da una riflessione circa l'effettivo potenziale analitico di tali strumenti ed il nuovo ordine di problemi che essi comportano.

## 2.1. L'EMERGENZA

*People are responding to an environment, which consists of people responding to an environment of people's responses.* (Schelling, 1978, p.14)

Così Thomas Schelling riassume quel complesso meccanismo che lega l'uomo al sistema, il singolo all'aggregato, il micro al macro. In ogni sistema complesso – sociale, animale o artificiale – l'azione dell'individuo risente dell'influenza di un'incredibile varietà di fattori, che traggono origine dal comportamento interattivo di tutti i membri della popolazione.

Non è più possibile interpretare ogni fenomeno collettivo sulla base di forze puramente individuali, indipendenti ed autonome, così come non è possibile risolvere la questione assegnando al sistema lo “scettro del potere” e considerando le azioni dell'individuo come risultato meccanico di macro-determinazioni subdolamente imposte “dall'alto”. La realtà non è fatta di *individui* e di *sistemi*, ma di interazione e di comunicazione, di scambi informativi che pervadono ogni livello dell'azione, coinvolgendo organismi di varia natura e complessità e generando strutture aggregate mutevoli, che a loro volta assumono coerenza, organizzazione e meccanismi evolutivi propri. Ciò è vero, come si cercherà di illustrare nei prossimi paragrafi, in ogni ambito dell'esperienza, dal più elementare stadio della vita – la cellula – alle più articolate organizzazioni sociali internazionali.

Per definire il delicato processo che dall'azione di “entità semplici” (agenti) conduce alla definizione di “pattern collettivi” complessi, si tende attualmente ad impiegare il termine *emergenza*, che sottolinea precisamente la “micro-fondazione” di ogni struttura “macro”. In questi termini si intendono studiare i fenomeni complessi partendo dall'idea che essi derivino (*emergano*) da processi interattivi di livello più profondo. Come definisce Wikipedia<sup>6</sup>:

---

<sup>6</sup> Si tratta dell'enciclopedia digitale che promuove la libera diffusione della conoscenza attraverso la rete: <http://www.wikipedia.org>

“Emergence is the process of deriving some new and coherent structures, patterns and properties in a complex system. Emergent phenomena occur due to the pattern of interactions between the elements of a system over time. Emergent phenomena are often unexpected, nontrivial results of relatively simple interactions of relatively simple components.”

In particolare, si parlerà di *proprietà emergenti* per definire le qualità di un sistema che non appartengono singolarmente a nessuna delle sue componenti, ma derivano piuttosto dalle *relazioni* che si stabiliscono tra di esse. Ne sono esempi il grado di densità di uno stormo di uccelli, la rapidità di oscillazione del mercato azionario, o addirittura – più in generale – l'*intelligenza* del “sistema”. In una prospettiva emergente, infatti, la stessa intelligenza deriverebbe dall'*interconnessione* di unità semplici, individualmente prive di qualsiasi capacità elaborativa: per questo motivo gli esseri umani possono dirsi intelligenti sebbene i loro singoli neuroni non lo siano affatto.

L'espressione *comportamento emergente* riguarda invece specificamente lo sviluppo di azioni collettive non pianificate e non prevedibili da parte dei singoli agenti<sup>7</sup>. Un esempio chiarificatore di comportamento emergente riguarda la dinamica dei *giochi*, che per definizione consistono nello svolgimento di un'attività creativa a partire da una serie di regole fissate a priori. Una metafora che si riprenderà nel prossimo capitolo è quella del gioco delle carte: poiché ogni “mano” richiama l'azione strategica dei diversi partecipanti, in risposta al generale andamento della partita, ogni giocata risulterà radicalmente diversa dalle altre, sebbene le regole di partenza siano sempre le stesse. Proprio su questa logica, come vedremo, si fonderà l'efficacia dei sistemi di “simulazione ad agenti” come strumenti per indagare fenomeni complessi.

Con l'espressione *strutture emergenti* ci si riferisce alla comparsa di *pattern*, di regolarità, a partire da interazioni sviluppate al livello “micro”. Accade spesso, in natura, che strutture collettive emergano spontaneamente, senza alcuna volontà delle parti e senza alcuna imposizione esterna. Si tratta, in altre parole, di quello che è stato definito come il passaggio dal caos all'ordine (Holland, 1998), ovvero

---

7 E' un'idea analoga a quella sostenuta da De Kerckhove (1997) che, in relazione agli organismi sociali in rete, elabora il concetto di “intelligenza connettiva” partendo dalla formulazione di “intelligenza collettiva” proposta da Levy (1994).

di un processo di tipo *bottom-up* che sfida i principi dell'entropia e che conduce ad un pattern costituito da molto più che la semplice *somma delle parti*: la chiave di tale fenomeno risiede nel fatto che esso non deriva dal semplice accostamento casuale di unità indipendenti ed auto-referenti, ma dall'interazione tra le unità stesse, ovvero dalla comunicazione e dalla reciproca influenza dei singoli agenti, che reagendo definiscono reciprocamente il proprio ruolo all'interno del pattern. Classici esempi consistono nella tipica conformazione a “V” degli stormi di uccelli, nelle forme più creative assunte dai banchi di pesci, nella disposizione regolare degli studenti nelle aule accademiche (Schelling, 1978), nell'aspetto cupo delle trombe d'aria, nella conformazione delle nuvole, o addirittura delle galassie...

Infine, il concetto di *sistema emergente* si riferisce all'insieme di tutti gli aspetti illustrati fino a questo punto. Il termine “sistema”, in particolare, implica una sostanziale interrelazione tra i diversi elementi; in altre parole, una *organizzazione*. Si può quindi intendere un sistema emergente come un insieme aggregato di unità elementari, in comunicazione fra loro, caratterizzato da due elementi fondamentali: una certa *coerenza organizzativa* interna – determinata dall'insieme delle relazioni intersoggettive e dei meccanismi adattivi e reattivi che le governano – ed una *coerenza strutturale* esterna, che lo renda percepibile come un organismo dotato di compiutezza ed organicità<sup>8</sup>.

Entità di questo tipo provengono, ancora una volta, da contesti estremamente variegati: dalle comunità sociali ai formicai, dagli sciami di insetti agli stessi stormi di uccelli (alla cui coerenza strutturale si è fatto riferimento poc'anzi), ai sistemi planetari, etc. In ambito economico, un esempio di grande interesse è costituito dal mercato azionario: da un punto di vista aggregato, esso regola i prezzi relativi di compagnie di tutto il mondo, pur non avendo un leader, un “amministratore”, un'entità che governi e indirizzi il suo andamento. Nonostante ogni agente/investitore agisca sulla base di un'informazione limitata ad un numero ristretto di aziende, operando scelte strategiche autonome, il mercato azionario nel suo complesso assume una certa “soggettività”, una precaria

---

8 La particolare definizione di “sistema emergente” proposta in questa sede rappresenta un tentativo di formalizzazione condotto a partire dai diversi contributi a cui questo capitolo fa riferimento.

fisionomia che sembra renderlo a tratti intelligibile, un potere autonomo di tale portata da poter decretare, a sorpresa, il successo o il fallimento di singole attività in tutto il pianeta.

Un altro esempio di particolare interesse proviene dalla biologia e riguarda l'organizzazione del formicaio. Si tratta di una comunità sociale straordinariamente complessa, in grado di auto-organizzarsi senza seguire alcun piano di sviluppo prestabilito. La regina non impone ordini diretti, né assegna compiti specifici alle singole “operaie”; al contrario, ogni formica reagisce a stimoli chimici derivanti dalle emanazioni delle larve, delle altre formiche, degli intrusi, del cibo (Holldöbler e Wilson, 1994). Ogni formica è, insomma, un'unità autonoma che reagisce semplicemente al contesto strettamente locale in cui si trova; eppure, nonostante l'assenza di un nucleo decisionale centralizzato, le colonie di formiche – al pari di altri insetti come le termiti – manifestano dei comportamenti aggregati di innegabile complessità, non solo attraverso la costruzione di architetture di stanze e cunicoli incredibilmente articolate, ma addirittura dotandosi di sistemi di specializzazione o risolvendo problemi geometrici<sup>9</sup>.



---

Figura 1 – Disposizione a “V” di uno stormo di anatre

---

9 Per esempio, le formiche collocano sistematicamente i cadaveri nelle zone situate alla *massima distanza* dall'ingresso del formicaio, individuandole in base a processi collaborativi. Un'analoga competenza spaziale riguarda anche altri insetti, come le api, che costruiscono celle la cui forma (esagonale) ottimizza il rapporto tra volume e superficie (e quindi tra lo “spazio utile” ricavato e il consumo di “materiali di costruzione”).

Un'ultima riflessione su cui vale la pena soffermarsi in questa sede riguarda il concetto di *complessità*, a cui si farà più volte riferimento nel corso del presente lavoro. Si tratta, in effetti, di una qualità radicata nella natura stessa dell'emergenza e, di conseguenza, negli strumenti di indagine che si propongono di osservarla, o di riprodurla. Seguendo Terna (2003), un sistema “complesso” differisce da un sistema “complicato” per due aspetti fondamentali: anzitutto, il funzionamento del sistema complesso non può essere compreso partendo dalla pura analisi delle sue componenti; in secondo luogo, le dinamiche coinvolte al suo interno fanno sì che nessuna parte sia singolarmente indispensabile allo sviluppo complessivo:

“un motore a scoppio è certamente molto complicato, ma smontandolo riusciamo a comprendere come ciascuna sua parte interviene nel sistema, di cui afferriamo molto bene il funzionamento; un formicaio è un sistema complesso (Holldöbler e Wilson [1994]), il cui funzionamento è difficile da comprendere; soprattutto, l'esame isolato delle diverse componenti (i diversi tipi di formiche) ci dice pochissimo sul ruolo delle diverse parti e sulla meccanica del sistema. Un aspetto ulteriore, non irrilevante: in un sistema complicato, un solo piccolo particolare fuori uso blocca il funzionamento dell'insieme; i sistemi complessi sono invece robusti rispetto al malfunzionamento delle parti.” (Terna, 2003, p.353)

In tale ottica, quindi, diviene evidente come le organizzazioni sociali o animali, e in generale tutti i contesti di interazione non esclusivamente meccanica – nella quale, cioè, le parti non hanno alcuna libertà di azione – possano essere definiti come *sistemi complessi*.

A chiarire ulteriormente il concetto di complessità, dedicandosi completamente al suo studio, è una precisa corrente scientifica sviluppatasi negli ultimi decenni, che prende il nome di Teoria del caos.



### 2.1.1. Caos e ordine

Come è stato sottolineato, il fenomeno dell'emergenza riguarda dunque ambiti estremamente diversi fra loro: in generale, tutti i campi in cui è coinvolta una complessità inestricabile e incomprensibile dall'uomo. Proprio per questa difficoltà intellettuale, tale fenomeno è stato spesso definito come l'essenza del *caos*.

Se nella scienza classica il caos era, per definizione, “assenza di ordine”, negli ultimi anni la prospettiva è mutata radicalmente, generando l'attuale propensione a considerare piuttosto tale fenomeno come una dimensione retta da leggi *non definibili a priori*<sup>10</sup>.

Questo cambio di rotta è stato introdotto dalla c.d. “Teoria del caos”, una corrente teorica che si è concentrata sull'analisi della complessità e sulla sua scomposizione in unità semplici, nata nel momento in cui la scienza classica sembrava aver esaurito i mezzi per spiegare gli aspetti irregolari e incostanti della natura. È anzitutto una teoria scientifica – nata sulla scorta di sperimentazioni fisiche, biologiche e socio-economiche, interpretate dalla cosiddetta “matematica della complessità”<sup>11</sup> – che ha cambiato il modo di guardare al mondo che ci circonda.

La celebre affermazione di Santayana (1951, p.1) – “Chaos is a name for any order that produces confusion in our minds” – è quindi emblematica di un contesto scientifico che non riconduce più il caos all'assoluta *casualità* e alla totale mancanza di modelli intelligibili, ma piuttosto a un ordine talmente

---

10 Questa apparente mancanza di ordine, tuttavia riconducibile a regole ben definite, è identificata con il nome di “dynamical instability” e costituisce uno dei principali assunti della Teoria del caos, insieme al concetto di “sensitive dependence on initial conditions”, secondo cui eventi anche insignificanti possono produrre effetti emergenti di grande complessità.

11 Capra identifica tale approccio in questi termini: “Nel corso degli ultimi trent'anni i concetti e le tecniche per affrontare questa enorme complessità hanno formato un insieme che comincia a delinearci come un quadro di riferimento matematico e coerente. Non c'è ancora un nome definitivo per questa nuova matematica. Detta volgarmente 'matematica della complessità', tecnicamente viene definita come 'teoria dei sistemi dinamici', 'dinamica dei sistemi', 'dinamica complessa' o 'dinamica non lineare'” (Capra, 1996, p.130; versione italiana: “La rete della vita”, RCS Libri, 1997).

complesso da sfuggire alla percezione e alla comprensione umana, se dotata dei tradizionali strumenti di indagine<sup>12</sup>. Ciò non toglie, tuttavia, che nuove tecniche analitiche possano farsi strada in questa nuova prospettiva scientifica, per cercare di cogliere almeno in parte quell'*ordine elementare* che sottende la complessità:

“Una goccia d'acqua che si spande nell'acqua, le fluttuazioni delle popolazioni animali, la linea frastagliata della costa, i ritmi della fibrillazione cardiaca, l'evoluzione delle condizioni meteorologiche, la Grande Macchia Rossa di Giove, gli errori del computer, le oscillazioni dei prezzi... Sono fenomeni apparentemente assai diversi, con un solo tratto in comune: per la scienza tradizionale, appartengono al regno dell'informe, dell'imprevedibile, dell'irregolare. In una parola, al “caos”. Ma da due decenni scienziati di diverse discipline stanno scoprendo che dietro il “caos” c'è in realtà un ordine nascosto, che dà origine a fenomeni estremamente complessi a partire da regole molto semplici.” (Gleick, 1987, p.29)<sup>13</sup>

Nello specifico, la Teoria del caos giunge a tali conclusioni individuando la possibilità di produrre risultati estremamente complessi a partire da semplici calcoli matematici, assolutamente comprensibili dall'uomo. Più in particolare, il caos diventerebbe il risultato di *iterazioni ripetute* di particolari *formule matematiche*, in cui però ogni iterazione parte da uno “stato” differente, influenzato dall'effetto dell'iterazione precedente: l'origine del caos starebbe dunque in un semplice meccanismo di *feedback*, che parteciperebbe a modificare dinamicamente il contesto su cui le formule agiscono.

Le implicazioni di questa scoperta acquistano un'evidenza immediata nei più diversi ambiti in cui l'uomo si rapporta alla complessità. Il feedback è infatti il senso ultimo della comunicazione, dell'interazione, un fattore che partecipa a modificare in ogni momento il contesto e gli stessi attori, costituendo il motore del cambiamento e dell'evoluzione. Come spiega Ferraresi, in una prospettiva semiotica:

---

12 La stessa nozione di “organizzazione” implica una forte presenza del caos, inteso come imprevedibilità, indeterminismo, compresenza di elementi di ordine e di disordine, di equilibrio e di disequilibrio.

13 La versione italiana è tratta dalla traduzione ufficiale pubblicata nello stesso anno da RCS Libri: “Caos - La nascita di una nuova scienza”.

“[...] dopo ogni conversazione ne esce un uomo nuovo, accresciuto, cambiato o anche solamente diverso.” (Ferraresi, 2003, p.145)

Diversi algoritmi producono diversi livelli di complessità e, in generale, ogni evento produce effetti diversi a seconda dello step “evolutivo” in cui interviene. Ne deriva che il sistema non sarà prevedibile finché non si conosceranno ogni suo algoritmo ed ogni sua variabile. Ma come scoprirle? Di certo un meccanismo “a ritroso” è estremamente complicato, tendenzialmente impossibile. L'unico sistema per comprendere le dinamiche complesse, in questa prospettiva teorica, è quindi cercare di riprodurle dal basso, tentando di scoprire le regole e gli input iniziali da cui l'emergenza ha preso avvio.

Una delle più celebri formulazioni della teoria del caos consiste nel cosiddetto “butterfly effect”, l'effetto per cui un battito d'ali di una farfalla provocherebbe un uragano dalla parte opposta del pianeta. Tale immagine, che si fa risalire ad un intervento di Lorenz durante una riunione dell'“American Association for the Advancement of Science” di Washington (nel 1972)<sup>14</sup>, condensa la portata di una fondamentale trasformazione nel modo di guardare la realtà, di una nuova concezione del mondo come “sistema complesso”, frutto mutevole di interazioni microscopiche fra unità semplici.

In definitiva va rilevato che, sebbene la teoria del caos tenda innegabilmente a concentrarsi sugli aspetti specificamente matematici e statistici del problema, i risultati che essa ha prodotto hanno costituito un fondamentale punto di avvio per la scoperta e l'esplorazione dell'*emergenza* in un'assoluta varietà di ambiti scientifici, modificandone in certi casi gli stessi assunti di base.

---

14 Il titolo dell'intervento era precisamente “Predictability: Does the Flap of a Butterfly's Wings in Brazil set off a Tornado in Texas?”.

## 2.1.2. Un approccio interdisciplinare

In tutte le scienze, negli ultimi anni, la prospettiva emergente si sta in effetti diffondendo come un'utile “chiave di lettura” per rapportarsi alla realtà. La tendenza a ricercare nelle “unità semplici” le risposte a problemi complessi sta coinvolgendo i più diversi ambiti del sapere, dalla biologia alla robotica, dalle scienze sociali all'informatica, dalla fisica all'ingegneria genetica. E i risultati sono estremamente promettenti.

In biologia, ad esempio, sono state formulate interessanti ipotesi che collocano la teoria evuzionista sotto una luce completamente nuova. La tradizionale formulazione darwiniana, rafforzata dalle scoperte di Mendel, trova infatti delle difficoltà esplicative: per quanto diluito nell'arco di quattro miliardi di anni, il meccanismo della selezione naturale non sembra in grado di spiegare la varietà e la velocità dei cambiamenti evolutivi, soprattutto di quelle migliaia di trasformazioni che non producono un significativo vantaggio competitivo. I progressi della teoria del caos, della matematica della complessità, della biologia molecolare, hanno permesso di identificare dei meccanismi evolutivi alternativi a quello della trasmissione di mutazioni genetiche casuali. Pare infatti che le cellule abbiano la capacità di *comunicare* fra loro, di combinarsi e scambiarsi informazioni nella forma di “frammenti di materiale genetico” (Capra, 1996) e che, in base a tale capacità, un'intera colonia di organismi unicellulari come i batteri possa condividere l'adattamento all'ambiente molto più velocemente di quanto consentito dalla mutazione casuale. Come in qualsiasi altra rete di agenti, dunque, i batteri potrebbero trasmettersi informazioni orizzontalmente (tra gli individui di una stessa generazione) prima ancora che verticalmente (da una generazione all'altra)<sup>15</sup>. E analoghe possibilità di comunicazione esisterebbero anche per gli organismi pluricellulari, le cui cellule nucleate sarebbero in grado di “collaborare” con i batteri che le “invadono” assorbendo nuove informazioni da

---

15 Un esempio portato a sostegno di questa posizione è rappresentato dal fatto che la resistenza dei batteri ad un nuovo farmaco o antibiotico sembra trasmettersi all'intera popolazione nel giro di pochi anni.

tale rapporto simbiotico<sup>16</sup>. In quest'ottica, dunque, la selezione naturale sembrerebbe premiare non già gli organismi più *forti*, ma quelli capaci di comunicazione e collaborazione.

Al di là delle fondamentali problematiche etiche che inevitabilmente solleva, la stessa ingegneria genetica prende avvio da tali considerazioni, fondandosi su una concezione del corpo vivente come “sistema”, piuttosto che come “insieme di organi”. È in tale prospettiva che si può immaginare, ad esempio, di curare una malattia non intervenendo sull'organo da cui emerge il sintomo, ma innescando un processo di guarigione che si diffonda “dal basso”, attraverso un processo interattivo e collaborativo a livello cellulare.

In informatica, l'intera concezione dell'intelligenza artificiale si sta trasformando: il tentativo di realizzare programmi complicatissimi in grado di mappare all'interno di un “cervello virtuale” i meccanismi cognitivi umani (secondo una logica top-down) è progressivamente abbandonato in favore di nuove tecniche orientate a far emergere l'intelligenza in modo spontaneo, ispirandosi ai processi naturali di adattamento e reazione (Johnson, 2001). Tale approccio, che prende il nome di Vita Artificiale (*A-Life*)<sup>17</sup>, si concentra sulla realizzazione di unità software elementari, dotate di una basilare capacità di comunicazione e di apprendimento, che vengono fatte interagire al fine di studiarne l'evoluzione nel tempo. L'obiettivo finale è riprodurre artificialmente le dinamiche che caratterizzano i “natural living systems” (Levy, 1992), così da poterne approfondire la comprensione. A tal fine vengono impiegati dispositivi informatici in grado di simulare l'apprendimento esperienziale o la selezione degli individui<sup>18</sup>, in una prospettiva rigorosamente bottom-up. È proprio nell'ambito della *A-Life* che sono sorti i cosiddetti “modelli ad agenti” (ABM – Agent Based Models),

---

16 Tale processo, che conduce all'arricchimento/trasformazione di cellule nucleate in seguito alla loro invasione da parte di batteri, è detto “simbiogenesi” (Capra, 1996).

17 Questo appellativo è stato coniato da Christopher Langton nel 1987, durante una sua conferenza intitolata “International Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systems” (nota anche come “Artificial Life I”) presso il National Laboratory di Los Alamos.

18 Ci si riferisce, in particolare, a soluzioni informatiche che includono reti neurali, algoritmi genetici ed algoritmi evolutivi.

fondamentali strumenti di simulazione che hanno ampliato le prospettive di indagine dei più diversi filoni scientifici, consentendo la rappresentazione di “scenari di interazione” attraverso cui indagare una varietà di fenomeni pressoché illimitata<sup>19</sup>.

Considerazioni analoghe riguardano la robotica, che si sta rapidamente aprendo alle prospettive offerte dall'approccio emergente, non solo equipaggiando gli automi con dispositivi di “swarm-intelligence”<sup>20</sup> (sistemi di intelligenza individuale basati sul paradigma della *A-Life*), ma anche prevedendo la possibilità di risolvere problemi complessi attraverso la cooperazione di più agenti elementari. Si tratta dei cosiddetti *swarm-bots*<sup>21</sup>, robot piuttosto semplici che si muovono autonomamente ma, all'occorrenza, interagiscono fra loro formando dei piccoli “sciame”. In tal modo, attraverso strategie auto-organizzate, gli agenti riescono a superare ostacoli di varia natura e a svolgere compiti che sarebbero irrealizzabili per ogni singolo individuo<sup>22</sup>. Le applicazioni di questi sistemi di cooperazione sono diverse e comprendono ad esempio la perlustrazione coordinata di zone contaminate o pericolose per l'uomo, o la ricerca dei superstiti di gravi incidenti (grazie alla capacità di aggirare gli ostacoli in modo non-invasivo), senza contare le possibilità offerte dagli sciame di nano-robot, che potrebbero essere impiegati nel prossimo futuro in medicina, per curare l'organismo dall'interno.

---

19 Una più accurata illustrazione di tali modelli sarà condotta nella seconda sezione del capitolo.

20 Cfr. Bonabeau, Dorigo, Theraulaz, 1999; Camazine, Deneubourg, Franks, Sneyd, Theraulaz, Bonabeau, 1999.

21 Cfr. Nolfi, Deneubourg, Floreano, Gambardella, Mondada, Dorigo, 2003; Baldassarre, Nolfi, Parisi, 2003.

22 Si vedano, al riguardo, i siti <http://asl.epfl.ch> e <http://gal.ip.rm.cnr.it/evorobot>

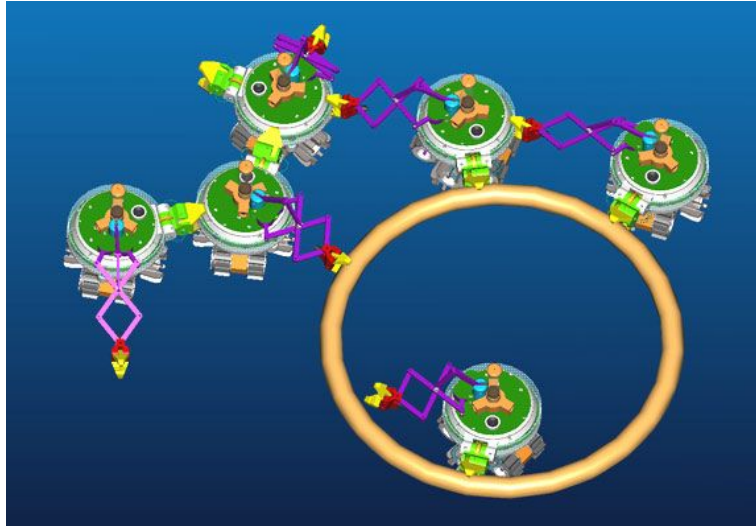


Figura 2 – Swarm-bots in azione

Per quanto riguarda le scienze sociali, anche al loro interno l'approccio emergente sta conoscendo una certa diffusione, sebbene in questo caso la definizione di strumenti di indagine realmente efficaci sia oggettivamente problematica, per via della profonda complessità che caratterizza intrinsecamente il comportamento umano. In altre parole, sebbene sia ragionevolmente possibile “pensare” ai fenomeni sociali – quantomeno ad alcuni di essi – come risultati emergenti di dinamiche intersoggettive, analizzare tali fenomeni in questa prospettiva è estremamente complicato.

Bisognerebbe anzitutto comprendere le motivazioni “micro” in base a cui le persone adottano certe scelte di comportamento, per poi cercare di risalire alle possibili origini dei fenomeni aggregati. In ambito sociologico, ad esempio, sarebbe estremamente interessante studiare in questa chiave i comportamenti “di massa” come i meccanismi di diffusione della moda, di generazione dei movimenti di opinione, di trasmissione e trasformazione degli stili di vita... tutti fenomeni che – in accordo alla definizione di sistemi emergenti – assumono una certa coerenza ed organicità che permette di identificarli come “oggetti” costituiti dall'interazione di unità singole.

Tuttavia, come fare? Come impiegare con successo gli attrezzi della *teoria del*

*caos* per riuscire a comprendere le dinamiche di comportamenti aggregati derivanti da una quantità irriducibile di variabili sociali, culturali, psicologiche?

Come rileva Schelling (1978), la radice del problema risiede nella natura “purposive” del comportamento umano, ovvero nel fatto che ogni persona agisce in base a preferenze, strategie, finalità, del tutto soggettive.

“[...] there is a notion of people's having preferences, pursuing goals, minimizing effort or embarrassment or maximizing view or comfort, seeking company or avoiding it, and otherwise behaving in a way that we might call “purposive.” (Schelling, 1978, p.17)

Che poi da un tale *disordine* possa in ogni caso derivare l'*ordine*, nella forma di dinamiche emergenti più o meno omogenee, è un fatto innegabile (si pensi al caso emblematico della moda) e, grazie alla teoria del caos, sappiamo anche comprenderne la ragione: la “chiave” è certamente l'*interazione*, quel processo che conduce ogni individuo di un sistema complesso a scambiare informazioni con i suoi simili, a sviluppare atteggiamenti reattivi e retro-attivi e, così facendo, ad influenzare a sua volta tutti i soggetti con cui entra in contatto: “what we typically have is a mode of *contingent behavior* – behavior that depends on what others are doing” (*ibidem*, p.17).

Il ricercatore dovrebbe allora adottare un approccio fortemente multidisciplinare, in modo da studiare queste dinamiche partendo dai più profondi moventi della psiche ed estendendo progressivamente il “campo visivo” in modo da comprendere le interazioni sociali del “microcosmo” di ogni individuo e, successivamente, i meccanismi di influenza e di contaminazione reciproca tra i gruppi, seguendo un percorso “a ritroso” che, ancora una volta, procede dal basso verso l'alto.

In termini semplicistici, una volta compresi i principali criteri di scelta in merito ad un problema particolare, si potrebbe allora pensare di anticipare con una certa approssimazione il modo in cui il soggetto si comporterà, mettendosi al suo posto e immaginando di risolvere il problema così come si ritiene che egli lo veda: come evidenzia ancora Schelling (*ibidem*), è il metodo



del “vicarious problem solving” che caratterizza gran parte della microeconomia neoclassica.

Tuttavia, in un'ottica qualitativa, un tale sforzo analitico corre il rischio di sopravvalutare fortemente la razionalità degli individui: gli esseri umani sono dotati di un'innegabile capacità di *problem solving*, ma proprio in ragione della loro complessità ed intelligenza possono essere sviati dai propri obiettivi razionali per via di stimoli inconsci contingenti:

“With people, we can get carried away with our image of goal seeking and problem solving. We can forget that people pursue misguided goals or don't know their goals, and that they enjoy or suffer subconscious processes that deceive them about their goals” (*ibidem*, pp.18-19)

La soluzione è allora, come sempre, partire da problemi piuttosto semplici, in ambiti circoscritti. A titolo esemplificativo, per comprendere l'emergenza di fenomeni aggregati come la moda, si potrebbe iniziare da un'analisi di un singolo aspetto del problema, come il tipico rapporto centro-periferia: in tale ottica si potrebbe analizzare il modo in cui le tipologie di abbigliamento differiscono tra un certo numero di aree geografiche situate nel centro cittadino e in periferia, accostando ad opportune ricerche empiriche strumenti di indagine come i “modelli ad agenti”, che aiutino a simulare l'emergenza della complessità partendo da elementi eterogenei e non necessariamente definiti con precisione. Rinviando alla prossima sezione di questo lavoro un'analisi approfondita delle effettive potenzialità analitiche dei modelli ad agenti, in questa sede si intende piuttosto rilevare che un *modus operandi* come quello proposto offre delle interessanti prospettive di sviluppo nella comprensione delle dinamiche della complessità sociale e che, di conseguenza, una tale prospettiva non deve essere esclusa a priori.

Una consistente opposizione alla diffusione di questo approccio di indagine deriva infatti dall'opinione – piuttosto diffusa nelle scienze sociali – che lo stesso tentativo di individuare delle “regolarità” nel comportamento collettivo implichi necessariamente una considerazione meccanicistica dell'uomo, che porti ad ignorarne la radicale particolarità e unicità. Tale posizione, tuttavia, non tiene conto del fatto che l'emergenza di strutture coerenti è una realtà,

sebbene nessuno intenda sostenere che essa derivi da una sostanziale omologazione od omogeneità delle parti. Come si è cercato di evidenziare, al contrario, l'aspetto realmente interessante dell'approccio emergente è che questi pattern emergono inaspettatamente proprio dall'*interazione* di organismi *fortemente eterogenei*.

Tra le scienze sociali, quella che risulta maggiormente orientata, per sua natura, a indagare fenomeni “macro” con prospettive “micro” è l'economia, e in particolare la sua branca evoluzionista, che si fonda sulla considerazione di una sostanziale eterogeneità e limitazione razionale degli agenti economici (cfr. par. 3.4.1). Il principale oggetto di studio dell'economia – il mercato – è infatti una tipica struttura emergente dall'interazione di unità che agiscono sulla base di criteri non eccessivamente complessi (se ci si concentra sui meccanismi di prezzo/quantità) e di un'informazione ristretta al proprio immediato contesto locale:

“The dairy farmer doesn't need to know how many people eat butter and how far away they are, how many other people raise cows, how many babies drink milk, or whether more money is spent on beer than on milk. What he needs to know is the prices of different feeds, the characteristics of different cows, the different prices farmers are getting for milk according to its butter-fat content” (*ibidem*, p.20)

In qualche modo, tuttavia, ogni aspetto della vita sociale ed economica sembra essere coordinato: i prodotti alimentari, l'energia, i trasporti... tutti questi ambiti funzionano senza che un “burattinaio” li amministri *dall'alto* e, a loro volta, interagiscono fra loro dando origine a un sistema economico estremamente complesso in cui ogni attività è collegata alle altre, sebbene nessuno ne abbia, singolarmente, la consapevolezza<sup>23</sup>. L'emergenza, in economia, è da un certo punto di vista quello che già nel '700<sup>24</sup> Adam Smith aveva definito come una “mano invisibile”, una tendenza implicita a portare ordine nel sistema ed armonizzare le performance globali attorno ad un

---

23 Proprio per questo, in realtà, avvengono statisticamente dei periodi di crisi e di sviluppo, in base alle complesse dinamiche emergenti dalla domanda e dall'offerta di mercati anche distanti dal proprio, secondo la metafora del “butterfly effect” (cfr. par. 2.1.1).

24 Cfr. “An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations”, 1776.

equilibrio – sia pure delicato e soggetto a fluttuazioni. Terna riassume quest'idea con grande chiarezza:

“[...] l'economia (intesa come ciò che accade nella società, con la formazione dei prezzi e delle quantità oggetto di scambio, con lo sviluppo o la sua mancanza, con i cicli economici...) è il risultato dell'azione umana, ma non è un progetto degli uomini [...]. Ovviamente esistono soggetti che operano nelle nicchie dell'economia e traggono profitti da disegni più o meno complessi; ad esempio, si avvantaggiano del fatto di avere compreso, per un breve tratto di tempo, come stanno operando altri soggetti e quali ineluttabili conseguenze quelle azioni produrranno. Ma questa non è l'economia [...] intesa come grande flusso di eventi, bensì un insieme di rivoli e rivoletti. [...] Forzando le tinte, gli agenti economici sono lontani dal sistema dell'economia tanto quanto le formiche sono lontane dal loro formicaio.” (Terna, 2003, pp.351-352)

Interessanti sono anche le implicazioni nell'ambito della *policy*: può essere infatti estremamente importante valutare se esistano delle soluzioni, alternative a quelle emergenti in modo naturale, che siano in grado di assicurare una maggiore soddisfazione sia della collettività nel suo complesso, sia di ogni individuo singolarmente. Schelling (1978) spiega questo problema facendo riferimento alla situazione di un edificio in fiamme: agendo in modo del tutto naturale, senza un'opportuna regolamentazione del processo di evacuazione, ognuno tenderebbe a precipitarsi fuori dall'edificio cercando di farsi strada tra la folla; in questo modo, tuttavia, l'effetto-panico emergente ostacolerebbe l'ordinato fluire delle persone, sicché molte di esse rischierebbero di perdere la vita. I *singoli individui* rischierebbero insomma di rimanere vittime di un fenomeno aggregato che essi stessi hanno alimentato partendo dall'obiettivo contrario: la propria salvezza.

“In a burning building it may be wise to run, not walk, to the nearest exit, especially if everybody else is running; what has to be evaluated is how many get safely out of the building if, each doing the best he can to save himself, they all run.” (Schelling, 1978, p.19)

Non sempre, dunque, l'azione naturale dei membri di un sistema porta a risultati ottimali per gli stessi individui, proprio perché il fenomeno emergente assume una certa autonomia, una propria dinamica di sviluppo che va oltre le possibilità di controllo della singola componente. Diventa allora importante,

in quest'ottica, comprendere il problema ed elaborare una regolamentazione che intervenga allo scopo di armonizzare il benessere collettivo con quello individuale.

## 2.2. MONDI ARTIFICIALI

Come si è cercato di evidenziare, lo studio delle dinamiche emergenti è estremamente difficile, proprio perché esse sono il risultato imprevedibile e inaspettato di una gamma estremamente variegata di fenomeni contingenti. Tale difficoltà non deve tuttavia scoraggiare il ricercatore, poiché anche i più piccoli successi possono servire ad escludere ipotesi interpretative prive di fondamento analitico:

“Sometimes the results are surprising. Sometimes they are not easily guessed. Sometimes the analysis is difficult. Sometimes it is inconclusive. But even inconclusive analysis can warn against jumping to conclusions about individual intentions from observations of aggregates, or jumping to conclusions about the behavior of aggregates from what one know or can guess about individual intentions.” (Schelling, 1978, p.14)

Il progresso tecno-scientifico degli ultimi decenni, in particolare nell'ambito della Vita Artificiale (cfr. par. 2.1.2), ha inoltre permesso lo sviluppo di nuovi dispositivi in grado di agevolare lo studio della complessità, per il semplice fatto che consentono di riprodurre “in vitro” l'emergenza, partendo da formulazioni relative alle sole unità discrete.

Il principale risultato, in tal senso, è rappresentato dai cosiddetti Agent-Based Models (ABM), dispositivi informatici che consentono di riprodurre delle “arene virtuali” in cui “agenti” di varia natura e complessità si scontrano, scambiano informazioni, si riproducono, evolvono...

Riprendendo la metafora della *A-Life*, tali arene sono spesso definite come *mondi artificiali*, per sottolineare l'efficacia degli ABM nel rappresentare “ecosistemi evolutivi” in cui fattori endogeni ed esogeni concorrono a costruire e distruggere delicati equilibri, a definire scenari in perenne trasformazione, traendo ispirazione dal reale sviluppo della vita sulla Terra.

Nelle scienze sociali, i primi esperimenti nell'utilizzo degli ABM risalgono solo a quindici anni fa. Un articolo del 1990 (Lavoie, Baetjer, Tulloh) afferma infatti, con tono avveniristico, l'avvento di strumenti di simulazione in grado di produrre

effetti emergenti:

“[...] the aim would be to set up constraining conditions, specifying institutional environments or decision rules for agents, and then to run the simulation in order to see what happens. The idea is not to create a mathematical model that already implies its conclusions in its premises. Rather, it is to run the simulations as mental experiments, where what is of interest is not what the end results are so much as how the process works. And we, the programmers, would not know how the process was going to come out until we ran the mental experiments. The order would emerge not by the programmer's design, but by the spontaneous interplay of its component parts.”. (Lavoie, Baetjer, Tulloh p.135)

Da allora, grazie ai progressi della scienza dell'informazione, le tecnologie per la costruzione di modelli ad agenti hanno conosciuto un consistente sviluppo, e sono sorte diverse “piattaforme” di supporto alla loro implementazione. Tuttavia, per ragioni che saranno analizzate nei prossimi paragrafi, il loro impiego nelle scienze sociali non si è diffuso come ci si sarebbe aspettati, nonostante le possibilità di utilizzo siano davvero molteplici.

### **2.2.1. ABM e simulazione**

“La simulazione, in questo nostro contesto, è soprattutto uno strumento per costruire modelli della realtà: tutti coloro che da bambini hanno giocato con una bambola o con una automobilina sanno che cosa è un modello, vale a dire una rappresentazione semplificata di qualcosa che esiste sotto forma di oggetto, di insieme di relazioni in uno spazio (una città o una casa), di istituzioni in un sistema sociale (l'amministrazione di una città) e così via.” (Terna, 2005)

Così Terna fornisce una prima interpretazione dell'oggetto “simulazione”, come “modellizzazione” tipica del processo cognitivo umano. In un'ottica più specificamente analitica, la simulazione può essere intesa come la trasposizione in termini logico-procedurali di un “modello funzionale” tratto dalla realtà, e costituito dall'insieme dei processi che descrivono il funzionamento del sistema reale di riferimento.

In quest'ottica risulta quindi evidente la possibilità di impiegare diverse

*tecniche di simulazione* per studiare la realtà. Riprendendo la distinzione di Ostrom (1988), Terna propone un'interessante tipologia di tali strumenti, che permette di inquadrare in modo più preciso la peculiarità metodologica dei modelli ad agenti:

- **Modelli letterario-descrittivi.** Con questa espressione si possono identificare quelle costruzioni teoriche, pertanto estremamente flessibili, che si limitano a fornire una descrizione verbale, “qualitativa”, di un certo fenomeno, senza tuttavia consentirne la validazione attraverso processi di calcolo:

“Descrivo una battaglia e mi chiedo che cosa sarebbe successo se un certo reggimento fosse o non fosse arrivato in tempo: posso provare a congetturare le conseguenze, ma senza avere la capacità di svolgere calcoli.” (*ibidem*)

- **Modelli matematico-statistici.** Si tratta, in questo caso, dell'estremo opposto: sono modelli altamente formalizzati e orientati alla massima computabilità, ma risentono inevitabilmente della necessità di semplificare sensibilmente la realtà per poterla ricondurre a un sistema di equazioni matematiche. È insomma l'impianto tipico dell'economia neoclassica, che è portata a postulare condizioni come l'omogeneità o la razionalità sostanziale degli attori economici:

“Per restare al tema delle battaglie, facciamo riferimento al modello della scontro navale di Trafalgar, in cui le forze e l'azione degli opposenti è concentrata in poche equazioni, che consentono di variare i risultati a seconda dei dati. Il limite di questo tipo di modelli è che impongono molte semplificazioni e sono piuttosto rigidi. Come verificare, ad esempio, con un modello ad equazioni, le conseguenze di una diversa disposizione delle navi inglesi?” (*ibidem*)

- **Modelli ad agenti.** Gli ABM si propongono quindi, nella distinzione di Terna, come una tecnica innovativa, capace di unire la flessibilità analitica dei modelli descrittivi alle potenzialità computazionali di quelli matematici: “un codice informatico è insieme dotato di requisiti formali, di adattabilità e flessibilità e, ovviamente, di calcolabilità” (*ibidem*).

“pensiamo invece alla straordinaria flessibilità di un modello descritto con un linguaggio informatico [...] con tanti pezzetti di software che riproducono le singole navi dei due schieramenti contrapposti e le fanno agire secondo ipotesi diverse, scoprendo via via conseguenze diverse. Una flotta è molto più di un insieme di navi: è il risultato dell'azione delle navi e delle loro interrelazioni.” (*ibidem*)

Con i modelli ad agenti si possono dunque rappresentare dei “mondi”, reali o ipotetici (“produced by art rather than nature”<sup>25</sup>): se nel primo caso si potrà giungere ad approfondire la conoscenza della realtà partendo dall'osservazione del modello, nel secondo caso si potranno invece condurre analisi teoriche che permettano di rappresentare degli “scenari possibili” e di trarne delle ipotesi da sottoporre ad ulteriori indagini. Queste sono, in effetti, le due principali funzioni degli ABM<sup>26</sup>.

È inoltre opportuno sottolineare che la prospettiva in cui si collocano i modelli di simulazione “formalizzati” – matematici o ad agenti – non consiste nella pretesa di fornire una rappresentazione perfetta della realtà oggetto di studio: oltre ad essere evidentemente poco plausibile, ciò significherebbe sostanzialmente riprodurre un mondo che, di nuovo, sarebbe tanto complesso quanto indecifrabile. Al contrario, il contributo analitico di tali modelli consiste nel permettere al ricercatore di rapportarsi ad un “mondo semplificato” che risulti in qualche misura *rappresentativo* del mondo reale, quantomeno nel ristretto numero di dinamiche considerato dalla singola indagine. Questo fatto può sembrare poco soddisfacente, ma costituisce in realtà l'unica strada praticabile per studiare – e *scoprire* – la complessità<sup>27</sup>. D'altra parte, se potessimo rappresentare fedelmente il mondo in cui viviamo, vorrebbe dire che ne abbiamo già compreso ogni aspetto. Ne deriva che in ogni caso, per trovare un senso al *caos*, si dovrà partire da una sua

---

25 Cfr. Simon, 1981, p.70.

26 In particolare, come si avrà modo di sottolineare, il modello sviluppato nell'ambito di questo lavoro si colloca nella seconda prospettiva di ricerca.

27 Le sole vie alternative sarebbero, in tal senso, gli esperimenti o le ricerche sul campo, tuttavia entrambi estremamente problematici per diverse ragioni: nel primo caso, principalmente per via dei comprovati condizionamenti umani dell'ambito degli esperimenti, e per l'eccessivo dispendio di tempo e denaro richiesto da ogni singola ricerca per ottenere risultati rappresentativi; nel secondo caso, per la scarsa praticabilità di osservazioni dirette su larga scala e per l'impossibilità di verificare ipotesi relative a scenari diversi da quelli contingenti.



rappresentazione più intelligibile.

La possibilità di trarre dal modello delle considerazioni riguardo al mondo reale deriva dall'adozione di una particolare prospettiva di utilizzo del modello stesso: dopo aver ultimato la sua realizzazione, e dopo aver verificato statisticamente la sua capacità di produrre un effetto aggregato paragonabile – nel ristretto ambito delle variabili considerate – a quello riscontrato nella realtà, si procederà introducendo delle modifiche al livello “micro” ed osservandone l'impatto sul percorso evolutivo del “mondo artificiale”, seguendo la tipica costruzione “What if...?": che cosa accadrebbe se un certo elemento subisse una particolare variazione?

In questo modo, attraverso ripetuti cicli di simulazioni, oltre a valutare (con un certo livello di approssimazione) i rischi ed i benefici derivanti dall'occorrenza di specifici fenomeni, si potranno riscontrare delle relazioni emergenti tra le variabili considerate (*covariazioni*), che solleveranno nuove domande, nuove ipotesi, nuove possibilità di ricerca per approfondire progressivamente la comprensione delle intricate dinamiche che sottendono la complessità.

Va infatti sottolineato che uno degli aspetti più interessanti dei modelli ad agenti consiste nella possibilità che essi offrono di *scoprire* correlazioni e fenomeni inattesi. Ciò di cui ogni sviluppatore di ABM va in cerca sono risultati contro-intuitivi, che manifestino l'essenza stessa dell'emergenza, come generazione di dinamiche imprevedibili e inaspettate a partire dalla semplice definizione delle unità interagenti.

Lo stesso Terna evidenzia l'efficacia scientifica dell'approccio inferenziale, sottolineando tuttavia che esso non deve restare una pura costruzione mentale, priva di possibilità di verifica (come accade invece nei modelli verbali-descrittivi):

“il *what if* è un utilissimo strumento di analisi, che può essere sviluppato anche sulla base di pure congetture logiche, ma che in moltissimi casi ha bisogno di essere suffragato dal calcolo.” (Terna, 2005)

Tale possibilità di calcolo sarebbe fornita, precisamente, dai modelli ad agenti.

La riflessione sul meccanismo di *scoperta* “What if” rimanda inesorabilmente a un concetto analogo, eppure per certi versi contrastante. Si tratta della nota costruzione ipotetica sulla cui accezione più generica si fonda gran parte del pensiero economico (se non generalmente scientifico), e che Friedman (1953) ha formulato in questi termini:

“A meaningful scientific hypothesis or theory asserts that certain forces are, and other forces are not, important in understanding a particular class of phenomena. It is frequently convenient to present such a hypothesis by stating that the phenomena [...] behave in the world of observation *as if* they occurred in a hypothetical and highly simplified world containing only the forces that the hypothesis asserts to be important.” (Friedman, 1953, p.14)

Il quadro tracciato fino a questo punto dal contributo di Friedman sembra adattarsi perfettamente alla logica degli ABM: ciò che essi fanno è esattamente ipotizzare che il fenomeno reale indagato si comporti *come se* accadesse sulla base delle dinamiche semplificate riprodotte nel modello. Tuttavia Friedman va oltre tale considerazione, rischiando di esaltare l'assoluta irrilevanza della fondatezza degli “assunti” teorici iniziali:

“Such a theory cannot be tested by comparing its “assumptions” directly with “reality”. Indeed, there is no meaningful way in which this can be done. Complete “realism” is clearly unattainable, and the question whether a theory is realistic “enough” can be settled only by seeing whether it yields predictions that are good enough for the purpose in hand. [...] Truly important and significant hypotheses will be found to have “assumptions” that are wildly inaccurate descriptive representations of reality and, in general, the more significant the theory, the more unrealistic the assumption” (*ibidem*, pp.14-15)

Purché il risultato di un modello si avvicini alla realtà, insomma, la fondatezza degli assunti di base non avrebbe in quest'ottica alcuna importanza. È evidente come l'estremizzazione di questa tesi risulti inconciliabile con la moderna prospettiva emergente, nel cui ambito sono proprio le micro-fondazioni dei comportamenti soggettivi a dover essere

modellate in modo da rappresentare il più fedelmente possibile la realtà oggetto di studio. L'efficacia e l'affidabilità dei modelli ad agenti derivano espressamente da quel processo che potremmo definire “validazione incrociata”: ovvero dalla possibilità di ottenere risultati aggregati realistici e plausibili partendo da elementi soggettivi che incorporino i reali moventi della popolazione indagata.

Un ulteriore aspetto rilevante dei sistemi di simulazione, e in particolar modo di quelli basati su agenti, riguarda la loro valenza *maieutica*, ovvero il supporto che essi offrono alla comprensione del fenomeno indagato, già nel corso della loro realizzazione. Si tratta di un fenomeno particolare, che induce il ricercatore a fare chiarezza sull'oggetto di studio prima ancora di iniziare l'indagine. La costruzione del modello, nel momento in cui richiede l'esplicitazione dei processi decisionali degli agenti, costringe infatti il progettista ad approfondire aspetti anche molto particolari dei vari fenomeni coinvolti: quali sono i fattori più rilevanti nella scelta di acquisto, nel particolare ambito indagato? Quali sono gli elementi che determinano la percezione della qualità da parte dell'acquirente? Che tipo di relazione esiste tra due particolari variabili? Nel porsi tali domande, il ricercatore è quindi portato a condurre delle indagini parallele avvalendosi di strumenti diversi, come approfondite survey della letteratura, apposite ricerche empiriche, elaborazioni secondarie sui dati raccolti nell'ambito di precedenti indagini, etc.:

“La simulazione richiede che specifichiamo il mondo che stiamo studiando, da semplice a complesso; eventualmente, iniziando con una costruzione semplice e via via modificandola, sino a che divenga complessa. Inoltre, la costruzione di un modello di simulazione non ci consente di utilizzare “scatole nere” di cui trascurare il contenuto e beneficamente ci impone la formulazione di ipotesi da verificare in ogni parte del modello. [...] In molti casi, e non solo nei più semplici, la costruzione del modello di simulazione è di per sé produttiva di indirizzi per la soluzione di problemi noti o latenti.”  
(Terna, 2003, pp.349-350)

In definitiva, la ricerca chiama ricerca. E, per via della loro estensione analitica – che coinvolge il particolare e il generale, l'individuo e il sistema – i modelli ad agenti si configurano come uno strumento di indagine che, a vari

livelli, fornisce un reale contributo alla comprensione e all'esplicitazione dei meccanismi che governano l'emergenza di fenomeni complessi.

## 2.2.2. Diffusione

Nel paragrafo introduttivo di questa sezione si è accennato al fatto che gli ABM non hanno conosciuto la diffusione che la loro flessibilità sembrava promettere. Sebbene si tratti di uno strumento innegabilmente innovativo e versatile, che realmente permette di indagare fenomeni emergenti di qualsiasi natura, gli ostacoli al suo sviluppo sembrano essersi dimostrati superiori ai suoi pregi.

Le ragioni di questo relativo insuccesso vengono comunemente<sup>28</sup> ricondotte a due problematiche fondamentali: la prima, che caratterizza intrinsecamente la stessa natura del modello ad agenti, è di ordine prettamente tecnico; la seconda, invece, consiste in una sostanziale “dispersione” dei progressi compiuti in quest'ambito di simulazione.

### 2.2.2.1. Info-ricercatore

Occorre anzitutto puntualizzare la natura tecnica dei modelli ad agenti: si è già affermato che si tratta di uno strumento informatico, che cioè si basa sull'utilizzo dell'elaboratore; ma, all'atto pratico, in cosa consiste esattamente un ABM?

Ogni “modello” consiste in realtà in un *programma*, in un software realizzato appositamente per rappresentare il contesto reale che si intende studiare. Ancor più precisamente, consiste in una serie di righe (pagine)

---

28 Cfr. Luna e Perrone, 2002; Luna e Stefansson, 2000.

di codice di programmazione.

Assume quindi una certa evidenza il fatto che un ricercatore “tradizionale”, soprattutto nell'ambito delle scienze sociali – in cui è normalmente richiesta una ridotta competenza tecnologica – potrà approcciarsi a questo tipo di strumento solo affrontando un apposito periodo di training, sia pure di livello introduttivo. È vero, infatti, che esistono delle “piattaforme” studiate appositamente per agevolare la realizzazione degli ABM, fornendo allo sviluppatore una serie di strumenti che ne “alleggeriscono” il lavoro, ma – a tutt'oggi – è in ogni caso fondamentale possedere una certa capacità di *programmare software*. E tale capacità richiede a sua volta lo sviluppo di una particolare *mentalità*, di una nuova prospettiva attraverso cui “pensare” i problemi oggetto di indagine. Proprio perché non è l'unico strumento di simulazione disponibile, né il primo in ordine cronologico, la modellazione ad agenti richiede infatti un profondo cambiamento di metodo rispetto alle alternative procedurali: bisognerà abbandonare, in sostanza, la tentazione di descrivere un fenomeno “per come lo si vede” (dall'alto), attraverso la sua descrizione verbale o matematica, e ripensare i tradizionali oggetti di studio considerandoli in un'ottica di “stratificazione”, dove ogni livello del fenomeno vede l'interazione di diverse tipologie di “agenti”.

Ne deriva che, finché una tale competenza non sarà diffusa, non solo la *realizzazione* degli ABM risulterà estremamente complicata, ma la stessa *comprensione* dei modelli sviluppati sarà possibile solo ad un livello superficiale, tale da destare tendenzialmente più perplessità che certezze. Vi è insomma un ostacolo anche alla *diffusione* dello strumento attraverso quel meccanismo di “passa parola” che costituisce spesso il veicolo preferenziale di trasmissione della conoscenza:

“Social scientists are not computer scientists, but their skills in the field have to become better and better to cope with the growing field of social simulation and agent-based modelling techniques” (Terna, 1998)

Una prima – e assolutamente rilevante – risposta a quest'ordine di problemi consiste nell'organizzazione di corsi propedeutici allo sviluppo delle competenze tecniche e progettuali indispensabili per avvicinarsi all'implementazione – e alla comprensione – dei modelli ad agenti. In Italia, il ciclo di seminari gestito (gratuitamente) da Pietro Terna presso l'Università di Torino, o quello che prenderà avvio tra poche settimane presso l'Università di Roma, rappresentano un chiaro esempio di come tale consapevolezza si stia diffondendo nel mondo accademico.

### 2.2.2.2. Torre di Babele

Il secondo ostacolo alla diffusione dei modelli ad agenti riguarda la proliferazione dei possibili “ambienti di sviluppo”. Come si accennava poc'anzi, infatti, al fine di agevolare l'implementazione degli ABM sono stati sviluppati dei *framework* che forniscono al ricercatore una *libreria* di funzioni e di oggetti preconfezionati, “pronti all'uso”, in modo da risparmiargli l'onere di realizzare da capo quelle “entità generali” che ricorreranno in qualsiasi tipo di modello:

“A way to reduce the weight of software development is to employ generalised agent development tools, accepting both the boundaries necessarily existing in the various packages, and the subtle and dangerous differences existing in the concept of agent in computer science, artificial intelligence and social sciences.” (Terna, 1998)

Per comprendere meglio l'utilità di tali “piattaforme” è tuttavia necessario introdurre brevemente il tema della programmazione ad oggetti (*Object Oriented Programming*). Con questa espressione si identifica una particolare tipologia di linguaggi di programmazione (principalmente *C++* e *Java*) caratterizzata dalla prospettiva di “ragionare per oggetti”. In termini semplicistici, ciò significa che invece di realizzare un unico, lunghissimo listato volto a descrivere *ogni* aspetto del programma – ogni azione e ogni relazione – in un'ottica puramente sequenziale, si tende invece a riprodurre nel codice la classificazione “ad oggetti” che

caratterizza l'impostazione mentale umana. A titolo esemplificativo, per realizzare un programma che governi il movimento di un semplice robot, si dovranno definire i diversi concetti del *dominio applicativo*, ovvero lo “spazio esterno”, il “motore”, lo “sterzo”, il “freno”, etc. Ognuno di tali concetti sarà quindi programmato come un *oggetto*, ovvero una porzione di codice “a se' stante”, che definisce una serie di proprietà relative all'oggetto stesso: velocità, potenza, dimensione... A questo punto, per far muovere il robot, sarà sufficiente creare delle relazioni tra le diverse entità ed inviare dei “messaggi” ad ognuna di esse: ad esempio, fornendo il messaggio “acceso/spento” al motore, o “ruota a sinistra/destra” allo sterzo. Se la porzione di codice che governa lo sterzo mostrerà dei difetti, inoltre, essa potrà essere modificata singolarmente, o agilmente sostituita con un nuovo “oggetto” più efficiente, proprio perché organizzata come un'entità autonoma rispetto alle altre componenti del software. Non solo: se per qualche ragione si volesse aggiungere un secondo motore, basterebbe definire l'esistenza di due “esemplari” (*instances*) del tipo “motore”, impiegando un numero estremamente ridotto di linee di codice.

Senza approfondire eccessivamente questa interessante strategia di programmazione, ciò che interessa rilevare in questa sede è la consistente flessibilità e modularità che la caratterizza in modo intrinseco. Tornando quindi alle simulazioni ad agenti, risulta evidente il vantaggio che può derivare dalla disponibilità di una collezione di *oggetti* e *metodi* (messaggi) già pronti, testati e funzionanti, soprattutto considerando che molti di essi saranno utilizzati frequentemente in ogni tipo di modello – come accade, ad esempio, per gli oggetti “spazio bidimensionale”, “agente”, “mondo”, etc. E' proprio in quest'ottica che si collocano i framework succitati, definibili precisamente come infrastrutture di API (Advanced Programming Interfaces), ovvero dispositivi che forniscono un supporto allo sviluppo del software.

Il cosiddetto problema della *Torre di Babele* deriva dal fatto che negli ultimi anni sono sorte, in modo indipendente, diverse infrastrutture software di questo tipo, con oggetti e architetture differenti. Addirittura,

come rilevano Luna e Perrone (2002), diverse piattaforme utilizzano spesso diversi *linguaggi*: modelli scritti in *C++* all'interno di una certa piattaforma risulteranno assolutamente inaccessibili ai ricercatori che abbiano avuto modo di specializzarsi nel solo utilizzo di *Java* all'interno di un altro framework.

La conseguenza diretta di questa diversificazione è una *dispersione* dei diversi contributi di ricerca, una “incomunicabilità di base” tra gli stessi sviluppatori di modelli che, a sua volta, penalizza in modo rilevante la diffusione della simulazione *agent-based* così come la comprensione e validazione dei singoli modelli da parte della comunità scientifica.

Un ulteriore aspetto del problema riguarda l'impossibilità di sfruttare appieno la modularità dei linguaggi *object-oriented* e degli stessi framework di supporto: per via della sostanziale eterogeneità dei modelli diviene infatti estremamente difficile, per il singolo ricercatore, riutilizzare il codice prodotto da altri sviluppatori ed ottimizzarlo in modo da promuovere quello sviluppo incrementale che sarebbe invece prerogativa degli ABM. Come puntualizzano Luna e Stefansson:

“Unfortunately, too often the acceptability of the frame of analysis and the transmissibility of its results are spoiled by the difficulty to *read* the model and hence by the “unreplicability” of the results reported. It is hence becoming pivotal to construct a common language, not dissimilar from French for Diplomacy or more recently English. Simulations will have to be written in some Esperanto: it is obvious that the current Babel is against the emergence of a renewed enthusiastic effort in economic theory.” (Luna e Stefansson, 2000, p.XXIV)

Diversi autori<sup>29</sup>, in quest'ottica, hanno sottolineato l'importanza di perseguire una convergenza verso un unico “ambiente” di sviluppo degli ABM (in termini di framework e linguaggi) e verso un'unica *logica* di sviluppo di tali dispositivi. L'individuazione di uno standard diventa infatti fondamentale quantomeno nelle scienze sociali, dove l'impiego di

---

29 Cfr. Axelrod, 1997b; Bruderer and Maiers, 1997; Terna, 1998.



tali modelli stenta ad imporsi sia da un punto di vista puramente metodologico che, a maggior ragione, da un punto vista tecnico.

L'effetto *Torre di Babele* è peraltro sintomatico di una più ampia tendenza del mondo open-source, nel quale la simulazione ad agenti si colloca a pieno titolo. Il fenomeno, noto come *forking*, deriva specificamente dal fatto che in tale contesto ognuno può personalizzare e riutilizzare il codice come preferisce, eventualmente anche dando origine a nuovi software: se infatti, da una parte, il paradigma open-source è assolutamente efficace (proprio perché sfrutta l'intelligenza *distribuita* di una rete di sviluppatori<sup>30</sup>), dall'altra, essa è costantemente soggetta al rischio che alcuni individui decidano di staccarsi dal gruppo e proseguire in una direzione autonoma. È un po' come se lo “sciame” si disperdesse, rilasciando singoli individui inevitabilmente meno efficienti del nucleo di partenza. In effetti, molti framework sono sorti partendo dal codice sorgente<sup>31</sup> di una stessa piattaforma originale<sup>32</sup>, a cui singoli sviluppatori – o ristrette sotto-comunità – hanno apportato progressive modifiche costruendosi “su misura” un software in grado di rispondere ad esigenze specifiche:

“When a new leader emerges while the “old” one is still active, then a single technical divergence on a programming choice may enlarge and ending up into the extreme division.” (Maggioni, 2004, p.20)

Il punto è che, se tali esigenze fossero state sottoposte alla più ampia comunità originale, con ogni probabilità gli stessi problemi sarebbero stati risolti più rapidamente, più efficacemente, e ottimizzando i benefici di tutti limitando le “esternalità negative” connesse alla *Torre di Babele*<sup>33</sup>.

---

30 Come spiega Maggioni (2002c, p.8), “the intrinsic capacity of [an open-source software community] to keep on with continuous technological change and to rapidly identify and solve a number of bugs is explained in term of self-organisation, a feature of the system which spontaneously emerges from the daily interaction of many developers.”

31 In ogni caso, tutti ne hanno tratto “l'impostazione logica” di base, come spesso viene riconosciuto ufficialmente.

32 Nella fattispecie, come si illustrerà nel prossimo paragrafo, si tratta di *Swarm*.

33 La scelta dell'ambiente è infatti soggetta a forti “esternalità di rete”, poiché il “valore” del framework dipende in modo rilevante dalla quantità di utenti che condividono tale standard.

Durante lo sviluppo dello stesso *Clusterbugs* è emersa in alcune occasioni l'esigenza di personalizzare le librerie del framework per renderle più adatte al progetto di indagine. Il puntuale supporto della comunità di sviluppatori ha tuttavia permesso di comprendere l'importanza della *compatibilità* del modello al fine di garantirne l'accessibilità, la comprensione e la fruibilità da parte degli altri ricercatori. Con questa consapevolezza, e ancora una volta con l'aiuto degli sviluppatori più esperti, si sono potuti trovare dei “compromessi”, delle soluzioni alternative che – sebbene formalmente diverse da quelle immaginate – nella sostanza hanno permesso di raggiungere gli obiettivi di ricerca preservando al contempo il rispetto dello *standard* e quindi l'intelligibilità del modello necessaria per la sua diffusione e per il suo eventuale miglioramento ad opera di altri utenti.

### **2.2.3. Costruire ABM**

Nei prossimi paragrafi si esplorerà il mondo dei modelli ad agenti in un'ottica più specificamente operativa, affrontandone aspetti tecnici e metodologici che risultano fondamentali per precisare le peculiarità della prospettiva di ricerca in cui si colloca *Clusterbugs*, lo strumento di simulazione che costituisce l'oggetto primario del presente lavoro.

#### **2.2.3.1. Framework**

Nello scorso paragrafo è stato presentato il concetto di *framework*, come infrastruttura software in grado di supportare il ricercatore nello sviluppo del modello, e si è sostenuta l'esigenza di promuovere una progressiva *convergenza* verso una particolare piattaforma. A questo proposito occorre specificare che, da un punto di vista prettamente tecnico, non esiste un generale accordo su quale sia il framework “migliore”, proprio

perché tali infrastrutture – sebbene strutturalmente diverse – forniscono un supporto qualitativamente simile allo sviluppatore, in termini di dimensione ed efficienza delle librerie messe a disposizione.

Una soluzione ragionevole, tuttavia, può consistere nella scelta della piattaforma che raccoglie, al momento, il maggior numero di utenti; tale criterio è infatti importante non solo per rendere statisticamente più “indolore” la convergenza (costringendo un minor numero di persone a “migrare” verso un nuovo *ambiente*), ma anche e soprattutto per il fatto che un'ampia comunità di utenti fornisce maggiori possibilità di supporto agli sviluppatori provenienti da altre piattaforme.

Nella fattispecie, seguendo tale criterio, la scelta cadrebbe a favore di *Swarm*<sup>34</sup>, il framework sviluppato nel 1994 presso il Santa Fe Institute<sup>35</sup> (New Mexico), da un team di ricercatori composto da Chris Langton, Roger Burkhart, Manor Askenazi, Nelson Minar, Glen Robella, Marcus Daniels, Alex Lancaster e Sven Thommesen. Le librerie (API) iniziali sono state realizzate in *Objective-C*, ma la versione attuale consente lo sviluppo di modelli sia tramite *C++*, sia tramite *Java*, quest'ultimo particolarmente diffuso per via della sua natura multi-piattaforma, che gli consente di sviluppare programmi funzionanti su qualsiasi tipo di computer e sistema operativo. Al pari delle altre principali piattaforme, *Swarm* è un prodotto *open-source*, ovvero distribuito gratuitamente anche sotto forma di codice sorgente, che ogni utilizzatore potrà partecipare a migliorare con il proprio contributo diretto.

Lo stesso modello oggetto di questo lavoro è stato sviluppato in ambiente *Swarm*, per due ragioni di assoluto rilievo: anzitutto, per l'ampia disponibilità di documentazione fornita a corredo del “package” per illustrarne il funzionamento e le specifiche implementative; in secondo luogo, proprio in virtù della consolidata comunità di utenti pronta a fornire il proprio supporto a sviluppatori di qualsiasi livello. Nel caso

---

34 Cfr. <http://www.swarm.org>

35 Cfr. <http://www.santafe.edu/>

specifico di *Clusterbugs* si è fatto un costante ricorso ai consigli degli “esperti”, e il sostegno ricevuto dalla comunità ha superato ogni aspettativa.

Nonostante la scelta di *Swarm* come framework di riferimento si sia dimostrata assolutamente positiva (anche da un punto di vista prettamente tecnico), si ritiene opportuno, in questa sede, dare un'idea della varietà di alternative che si propongono al ricercatore orientato a sviluppare un modello ad agenti. Se ne riportano di seguito alcuni esempi:

- **Repast.** Acronimo di “Recursive Porous Agent Simulation Toolkit”; sviluppato dalla *Chicago University* e attualmente gestito da un'organizzazione no-profit (ROAD – Repast Organization for Architecture and Development).  
<http://repast.sourceforge.net/>
- **Ascape.** Sviluppato dalla *Brookings Institution* (Washington).  
<http://www.brook.edu/es/dynamics/models/ascape/>
- **StarLogo.** Sviluppato dal *MIT* (Massachusetts Institute of Technology).  
<http://education.mit.edu/starlogo/>
- **ABLE.** Acronimo di “Agent Building and Learning Environment”; sviluppato dal centro di ricerca *T.J. Watson* della IBM.  
<http://www.alphaworks.ibm.com/tech/able>
- **Jas.** Acronimo di “Java Agent-based Simulation library”; sviluppato da *Michele Sonnessa* (Università di Torino) come un ambiente sostanzialmente analogo a *Swarm* ma basato interamente su Java. Un aspetto distintivo è la dotazione di un'interfaccia web (*Sim2Web*)<sup>36</sup> che consente di effettuare simulazioni on-line. Tuttavia non dispone del supporto della comunità di utenti.  
<http://sourceforge.net/projects/jaslibrary/>

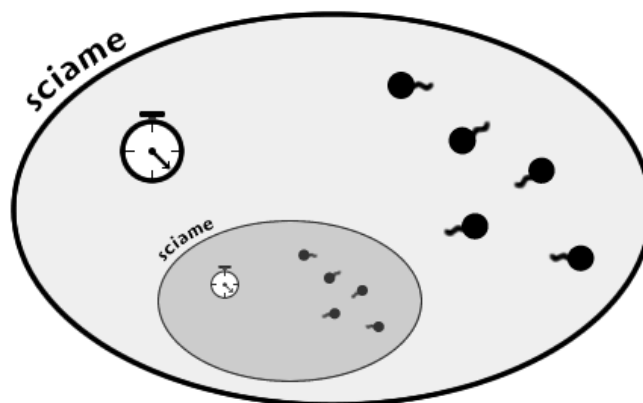
---

36 Cfr. <http://wf.econ.unito.it/sim2web/>

- **MAML.** Acronimo di “Multi-Agent Modelling Language”; sviluppato dal laboratorio *Complex Adaptive Systems Lab* della Central European University, con sede in Ungheria. Più che di un framework a se' stante, si tratta di un *tool* per agevolare lo sviluppo di modelli basati su Swarm.  
<http://www.maml.hu/>
- **AgentSheets.** Sviluppato dalla società americana *AgentSheets Inc.*; è rivolto agli utenti meno esperti e permette di realizzare una certa varietà di modelli a partire da fogli di calcolo elettronico.  
<http://www.agentsheets.com/>

### 2.2.3.2. Struttura del modello

I modelli di simulazione ad agenti si basano generalmente su una “struttura logica” abbastanza standardizzata, che consiste in una gerarchia di oggetti e in una metodologia di gestione del tempo. In questo paragrafo si cercherà di esplicitare l'architettura dei modelli realizzati con *Swarm*, in modo da fornire alcuni elementi per agevolare la comprensione del modello oggetto del presente lavoro.




---

Figura 3 – Struttura di un modello Swarm  
[semplificazione del quadro fornito da Terna, 2002b]

**Lo sciame.** Le applicazioni in Swarm sono basate anzitutto sul concetto di “sciame” (`modelSwarm`). Uno sciame è un insieme di uno o più *oggetti* e di una *tabella dei tempi* in cui vengono pianificate, cronologicamente, le attività che tali oggetti dovranno svolgere. Lo sciame costituisce, a sua volta, l'oggetto di più alto livello in una simulazione ad agenti.

**Gli oggetti.** Gli oggetti che popolano uno sciame possono essere degli “oggetti singoli” oppure, a loro volta, degli sciami (esiste, cioè, la possibilità di *nidificare* gli sciami, collocandoli uno dentro l'altro come in un sistema di scatole cinesi). Gli “oggetti singoli”, a loro volta, possono essere attivi o passivi. Nel primo caso si parla di *agenti*, individui che interagiscono fra loro e con l'ambiente circostante; nel secondo caso si può invece parlare di *risorse* di varia natura con cui gli agenti si rapportano nel corso della simulazione (lo stesso spazio bidimensionale, il cibo, eventuali ostacoli, etc.).

**La tabella dei tempi.** La tabella dei tempi rappresenta, infine, la cronologia degli avvenimenti. In un'applicazione Swarm occorre infatti definire un certo numero di *messaggi* che, nel corso della simulazione, il sistema dovrà inviare ai singoli agenti o ai diversi sciami che compongono il modello. Nella fattispecie, ogni messaggio recepibile dagli agenti e dagli sciami viene incapsulato in un “selettore” (`Selector`), sicché la “consegna dei messaggi” da parte del sistema consisterà più propriamente nell'attivazione dei selettori specificati per ogni oggetto. All'atto pratico, ciò che il ricercatore deve fare è dunque compilare una lista (nel linguaggio *Swarm*, un `ActionGroup`) di tutti i selettori che andranno attivati, specificando per ognuno di essi l'oggetto (o il gruppo di oggetti) a cui essi andranno sottoposti. Successivamente, una volta ultimata la lista, occorrerà inserirla “nell'agenda” del sistema (`Scheduler`), indicando l'intervallo di tempo entro il quale si desidera che le azioni vengano ripetute.

Questo criterio di gestione del tempo, peraltro tipico in generale di ogni framework di modellazione ad agenti, implica una breve riflessione sul

concetto di *contemporaneità*. In un contesto di Vita Artificiale, che si propone in certa misura di riprodurre lo svolgimento naturale di fenomeni reali, è infatti indispensabile che il tempo sia amministrato in maniera analoga alla realtà: poiché, come si è più volte sottolineato, da piccole variazioni al livello “micro” possono derivare grandi e imprevedibili trasformazioni al livello “macro”, l'idea di introdurre nel mondo artificiale un vincolo assoluto di *sequenzialità* delle azioni rischia di minare alla radice la plausibilità dello scenario emergente. E, per come l'ActionGroup e lo Scheduler sono impostati, sembrerebbe proprio che tale vincolo sia imprescindibile. Come sottolineano Luna e Stefansson:

“Since Swarm was designed with the need of natural scientists in mind, it takes time and the notion of concurrency very seriously. In nature concurrency is governed by the laws of physics, but when one start using a computer, simulation actions have to be taken in a well predefined order. The aim of the Swarm designers was that of forcing the experimenter to make explicit his/her assumption to the order of events” (Luna e Stefansson, 2000, p.XXVIII)

La stessa struttura dell'elaboratore, d'altra parte, rende inevitabile l'esecuzione di operazioni in modo sequenziale, come una lista ordinata di “1” e di “0”. Non bisogna tuttavia rassegnarsi ed ammettere la sconfitta: esistono almeno due strategie per cercare di evadere la rigida sequenzialità temporale degli eventi imposta dalla macchina.

Bisogna anzitutto considerare che il tempo della simulazione è scandito da “tick” (cfr. par. 4.2.3), unità discrete entro ognuna delle quali, a turno, ciascun agente è chiamato ad agire: è, insomma, come se il cronometro della simulazione funzionasse a scatti, aspettando che ogni agente sia stato interrogato prima di procedere all'unità di tempo successiva.

Partendo da tale architettura, è possibile introdurre un certo *asincronismo* nella gestione del tempo simulato, semplicemente collocando uno sciame dentro l'altro come illustrato più sopra. Si tratta, in altre parole, di suddividere gli agenti e le azioni all'interno di più sciami, ognuno dotato di una propria “agenda” e di una propria “lista di

azioni?”. In questo modo, gli eventi seguirebbero linee temporali differenti, generando una maggiore complessità nella determinazione dei turni di azione.

La seconda strategia, estremamente semplice, consiste nell'imporre al sistema di variare in ogni unità di tempo, e in modo casuale, l'ordine degli agenti a cui indirizzare i messaggi. Sebbene anche in questo caso non sia possibile realizzare un'effettiva contemporaneità – per via degli ineludibili vincoli di elaborazione illustrati poc'anzi – da un punto di vista statistico, nel corso della simulazione, si genererà una varianza tale da ridurre sensibilmente la distorsione derivante dalla sequenzialità del mondo artificiale.

D'altra parte, in un certo senso, anche nella realtà l'assoluta contemporaneità è piuttosto rara: per via di fattori casuali, e di una serie di micro-adattamenti elaborati spontaneamente dagli individui, sarà infatti estremamente difficile che due soggetti decidano di compiere un'azione nello stesso identico istante – anche perché in natura il tempo non procede per unità discrete, sicché sarà sempre possibile individuare un minimo asincronismo. Ne consegue che l'importante è, piuttosto, che agli agenti del modello non siano costretti a seguire meccanicamente un'ordine prestabilito, perché ciò significherebbe imporre esogenamente un rilevante fattore di distorsione.

### **2.2.3.3. Kiss e Kids**

Quali criteri deve soddisfare un modello di simulazione per indagare efficacemente il fenomeno di interesse? Quale grado di complessità sarà opportuno implementare?

Sono domande di notevole portata metodologica, che si sono imposte con forza nello stesso sviluppo di *Clusterbugs*. E tuttavia, come spesso accade,



non esiste una risposta univoca, definibile a priori. Esistono piuttosto due approcci estremi, tra i quali è opportuno rintracciare la soluzione che meglio si adatta al puntuale oggetto di studio e alle finalità di ricerca contingenti.

La prima prospettiva, identificata da Axelrod (1997a) con l'appellativo “KISS” (*Keep It Simple, Stupid*), sostiene l'esigenza di basare i modelli di simulazione su una struttura il più possibile semplice e lineare, senza cedere alla tentazione di inserire nel modello tutti quegli elementi inessenziali che possono generare un “disturbo” sproporzionato rispetto alla loro rilevanza analitica. Preservando la semplicità del modello si potrà infatti agevolare la comprensione dei fenomeni emergenti, ovvero l'individuazione dei meccanismi che legano l'effetto emergente alle dinamiche modellate: la variabile dipendente alla variabile indipendente.

“The KISS principle is vital because of the character of the research community. When surprising results are discovered – as they often are in this symposium – it is very helpful to be confident that we can understand everything that went into the model that produced the surprises.” (Axelrod, 2000, p.136)

In questo modo il ricercatore potrà tenere sempre sotto controllo i meccanismi che, da un certo assetto del modello, conducono ad una certa definizione dello scenario emergente e, di conseguenza, potrà verificare con precisione quale sia l'impatto di ogni singola variabile sul modello e il *motivo* di tale impatto. In secondo luogo, riducendo la quantità di dettagli inseriti nel modello, si riduce parimenti il rischio di effettuare degli errori nella rappresentazione artificiale del fenomeno reale: la modellazione di pochi fattori, della cui veridicità si è ragionevolmente certi<sup>37</sup>, produrrà degli esiti certamente più attendibili rispetto a una costruzione che considera una grande varietà di fattori interessanti, tuttavia modellati sulla base di semplici supposizioni:

---

37 Ad esempio in virtù di rilevazioni empiriche, o di assunti teorici globalmente condivisi.

“The point is that while the topic being investigated may be complicated, the assumptions underlying the agent-based model should be simple. The complexity of agent-based modeling should be in the simulated results, not in the assumptions of the model.” (Axelrod, 1997b, p.26)

Nella prospettiva opposta si sostiene, tuttavia, che realizzare modelli in cui si conosce l'effetto di ogni singola variabile equivalga ad incorporare gli esiti “emergenti” della simulazione nelle stesse ipotesi di partenza. Di conseguenza, in tale ottica verrebbe meno l'intera efficacia dello strumento:

“Artificial economies have to be “playable” - and so a lot of institutional details have to be explicitly specified. For example, events have to be scheduled to occur in a logically meaningful and physically realizable order – a firm cannot produce until it has hired the workers it will use to do so. Also, market rules have to spell out how prices are formed and who ends up trading with whom, as a function of the allowable actions of the agents who trade in the market. And if firm can borrow, some form of bankruptcy law has to be implemented, since a firm might find unable to make good on the terms of its loans” (Lane, 1993, p.189)

Questo diverso approccio, definito “KIDS” (*Keep It Descriptive, Stupid*) da Edmonds e Moss (2004), mira piuttosto a produrre una rappresentazione il più possibile completa e dettagliata del fenomeno che si intende indagare, perché solo descrivendo in modo accurato la realtà di partenza si potranno trarre delle considerazioni attendibili dall'analisi dello scenario emergente. La modellazione dovrebbe allora procedere in modo inverso: invece di partire da una descrizione elementare, eventualmente arricchita di nuovi dettagli in modo incrementale, occorrerebbe definire in partenza un quadro descrittivo articolato, per poi adottare delle semplificazioni solo qualora i risultati emergenti risultino poco fedeli alla realtà.

“We suggest a new slogan: “Keep It Descriptive Stupid” or KIDS – which is supposed to suggest the approach to modelling where one starts with a descriptive model (which may be quite complex) and then only simplifies it where this turns out to be justified. This is in contrast to the KISS paradigm where one only tries a more complex model if simpler ones turn out to be inadequate. Multi-agent based simulation (MABS) not only enables the KIDS approach but epitomises it.” (Edmonds e Moss, 2004, pp.1-2)

La scelta della semplicità di progettazione come criterio di validazione del modello sarebbe prevalentemente, secondo i sostenitori del KIDS, una scelta “di convenienza”, volta a giustificare un rifiuto aprioristico di rapportarsi alla complessità: poiché l'uomo è un “limited being” (*ibidem*, p.2), può risultare semplicemente *comodo*, in questa prospettiva, ignorare la complessità intrinseca della realtà, e ritenere che essa debba basarsi esclusivamente su premesse elementari. La decisione – ex ante – di rappresentare fenomeni di ogni tipo con modelli necessariamente semplici rischia allora di produrre una *volontaria* distorsione della realtà.

“The fact that complex outcomes can emerge from apparently simple systems (as in mathematics or ALife) does not mean that the complex phenomena we now observe is reducible to simple models [...]. In other words constructing a model that is simpler only “for the sake of simplicity” may be a case of wilfully ignoring evidence.” (*ibidem*, pp.3-4)

In definitiva, da entrambe le parti vengono sollevate argomentazioni almeno parzialmente condivisibili. La scelta dell'approccio da adottare andrà dunque attentamente ponderata caso per caso, in relazione ai singoli contesti di ricerca (come riconoscono gli stessi Edmonds e Moss, “Neither the KISS nor the KIDS approach will *always* be the best one, and complex mixtures of the two will be frequently appropriate”<sup>38</sup>). In generale, è forse possibile suggerire che soluzioni più vicine alla prospettiva del KISS possano essere adottate con successo quando gli obiettivi di indagine sono piuttosto *generici* e finalizzati a produrre delle formulazioni teoriche; viceversa, una descrizione particolareggiata della

---

38 *ibidem*, p.10.

realità di riferimento risulterà tendenzialmente preferibile nei casi in cui l'oggetto di indagine consista in un fenomeno o contesto *specifico*, per cui l'emergenza di uno scenario rappresentativo della realtà dipenderà evidentemente dall'accuratezza con cui i parametri del modello riescono a riprodurre la peculiarità.

#### **2.2.3.4. Mind e noMind**

Una questione importante, trasversalmente implicata dallo stesso dibattito KISS-KIDS, riguarda la complessità degli agenti che popolano il modello: è “preferibile” che essi siano dotati di un'intelligenza evoluta o è sufficiente che le loro azioni siano dettate da criteri di scelta elementari?

Terna (2000, 2002a, 2003) affronta il problema definendo “minded” e “noMinded” due tipologie di agenti collocate nelle due metà di un continuum che dalle interpretazioni più radicali del *KISS-principle* conduce alla modellazione di una “mente” dotata di capacità elaborative paragonabili a quelle umane<sup>39</sup>.

In particolare, l'elemento di discriminazione tra le due categorie di agenti consiste nella presenza/assenza di una *capacità di adattamento* e di una *capacità di apprendimento*: in altri termini, di una generale possibilità di evolvere nel tempo, modificando le proprie *qualità* e le proprie *competenze* nel corso della simulazione.

Bisogna tuttavia specificare che una generica capacità evolutiva può essere modellata seguendo strategie differenti, la cui complessità dipende strettamente dall'*oggetto* dell'evoluzione: se si desidera che a variare siano soltanto le *proprietà/qualità* dell'agente e del mondo, le tecniche da

---

39 Ci si riferisce in particolar modo all'approccio BDI, che identifica la capacità cognitiva degli agenti in base a tre componenti: credenze, desideri e intenzioni – *Beliefs, Desires, Intentions* (Kinny, Georgeff, Rao, 1996).

adottare saranno abbastanza elementari<sup>40</sup>; viceversa, se si intende modellare un'evoluzione *cognitiva* degli agenti, sarà necessario implementare dei meccanismi piuttosto elaborati di gestione della memoria e dell'apprendimento.

Per fare un esempio, si riuscirà agevolmente a consentire agli agenti del modello di “accumulare ricchezza” nel corso della simulazione, o di comportarsi in modo diverso a seconda degli individui con cui entreranno in contatto, perché tali *regole comportamentali* (“euristiche”<sup>41</sup>) possono essere fissate a priori: il comportamento “intelligente” viene in questo caso tradotto in un apposito *algoritmo*, inteso come una sequenza di operazioni logiche basata sulla tradizionale costruzione “if... then... else...”<sup>42</sup>.

Tutt'altra questione sarà invece dotare ogni agente della capacità di imparare (dall'esperienza) quali siano gli individui di cui è opportuno fidarsi, o quale sia il meccanismo che permette di accumulare ricchezza nel modo più efficiente, perché in tal caso le stesse *regole comportamentali* dovranno essere sottoposte ad una continua revisione. In questa prospettiva, insomma, gli agenti non si limiteranno a reagire alla situazione che evolve, in base a criteri decisionali definiti a priori, ma trarranno dall'ambiente delle “inferenze cognitive” (Boero, Castellani, Squazzoni, 2004) che permetteranno loro di *comprendere*, a seconda delle caratteristiche puntuali proprie e dell'ambiente, quali siano i comportamenti più efficaci e quale sia il momento opportuno per metterli in pratica. All'atto pratico, si tratta di inserire nel modello un

---

40 Come dimostrano Boero, Castellani e Squazzoni (2004), infatti, gli agenti possono essere dotati di una certa capacità di adattamento e di ragionamento anche attraverso strategie piuttosto semplici.

41 Riprendendo Gigerenzer e Selten (2001), Boero, Castellani e Squazzoni (2004, p.11) definiscono le euristiche come delle “regole esperienziali”: “Esse sono tecniche 'veloci e frugali' che guidano l'azione dei *bugs* lungo i vari *step* computazionali che essi devono intraprendere”.

42 Questo approccio è tipico dell'intelligenza artificiale “classica” (cfr. par. 2.1.2), che ha comunque consentito di sviluppare dei sistemi elaborativi complessi in grado di prendere decisioni valutando ogni volta la situazione sulla base di un'amplissima gamma di regole *date*; un classico esempio è rappresentato dai programmi per simulare il gioco degli scacchi.

meccanismo di *feedback* che alimenti il “frame cognitivo” di ogni agente (*ibidem*), permettendogli non solo di *generare* un contesto complesso attraverso l'interazione, ma anche di *recepire* da tale emergenza rilevanti informazioni circa la validità/efficacia del proprio comportamento.

In base a questa distinzione fra le due modalità evolutive, gli agenti *minded* saranno quelli appartenenti al secondo gruppo – ovvero sottoposti ad un processo di trasformazione più radicale, relativo alle stesse capacità cognitive – mentre gli agenti *noMinded* rientreranno nel primo gruppo.

Ancora una volta, è difficile indicare quale sia la soluzione migliore *in assoluto*: è opinione diffusa che gli agenti *minded* permettano di ottenere un comportamento più *verosimile* (poiché determinato da un processo cognitivo più simile a quello umano), senza tuttavia implicare un intervento “invasivo” da parte del ricercatore<sup>43</sup>. Ma chi ci assicura che gli agenti del modello – rispetto a quelli reali – non imparino troppo rapidamente, o troppo lentamente? O che, nell'apprendimento reale, non intervengano fattori socio-culturali che il modello non può comunque considerare? O, ancora, che gli stessi criteri di apprendimento definiti dal ricercatore non vincolino il comportamento dell'agente in misura analoga – o addirittura superiore - alla loro assenza?

Ciò che si intende sottolineare, insomma, è che la soluzione *minded* non costituisce *di per se* una risposta definitiva al problema della “plausibilità razionale” degli agenti perché potenzialmente può anch'essa basarsi su logiche evolutive infondate<sup>44</sup>; di conseguenza, tale strategia evolutiva non può rappresentare l'unica via possibile per affermare la validità analitica di un modello ad agenti.

---

43 L'alternativa, per lo sviluppatore, consisterebbe infatti nell'esplicitare in un algoritmo ogni specifica possibilità di scelta, in base a criteri cognitivi la cui “attendibilità” – in relazione ai reali processi decisionali umani – è peraltro difficilmente verificabile in termini oggettivi.

44 Va comunque rilevato che, generalmente, l'evoluzione *minded* viene modellata attraverso l'impiego di *reti neurali*, che costituiscono una forma di apprendimento “standard” basata su rinforzi positivi e negativi derivanti dall'esperienza.

Con una certa approssimazione si può sostenere che l'impiego di agenti *noMinded* costituisca una valida soluzione nell'ambito di ricerche interessate a indagare le dinamiche di emergenza “dal basso” e lo sviluppo di una *swarm-intelligence* a partire dall'interazione di unità semplici. Più in generale, tale scelta implementativa può risultare efficace in tutti gli ambiti in cui la capacità evolutiva degli agenti non costituisce un requisito essenziale ai fini analitici. Occorre infatti ricordare che il concetto di *noMinded* non implica una mancanza di “intelligenza”: ciò che esso esclude è piuttosto la capacità di *modificare* nel tempo tale intelligenza. Tendenzialmente, inoltre, le ricerche condotte con questo tipo di agenti saranno quelle meno specificamente interessate alla *descrizione* di contesti reali specifici; l'obiettivo prevalente sarà piuttosto quello di “micro-fondare una teoria dei fenomeni macro sociali che si [basi] essenzialmente sulla corrispondenza fra macro fenomeni artificiali generati dai modelli e macro evidenze empiriche” (Boero-Castellani-Squazzoni, 2004, p.8).

L'utilizzo di agenti *minded*, viceversa, può risultare preferibile qualora si voglia indagare in modo più specifico e attendibile lo sviluppo di fenomeni particolari, nel cui ambito le capacità di apprendimento e di evoluzione degli agenti – e la percezione dei feedback provenienti dal sistema – rivestano un'importanza cruciale. Una prospettiva di questo tipo è specificamente preferita nell'ambito della sociologia figurazionale e, più in generale, nell'ambito di indagini volte a rintracciare una fondazione teorica dei fenomeni “macro” sulla base di una *plausibilità* empirica garantita dalla modellazione di dinamiche evolutive e ricorsive<sup>45</sup>.

---

45 Cfr. Gilbert, 1996; Conte e Castelfranchi, 1996; Edmonds e Dautenhahn, 2001; Conte, Edmonds, Scott e Sawyer, 2001.

# 3

## Verso Clusterbugs

### Abstract

In questo capitolo si prenderanno in esame le basi teoriche su cui poggia Clusterbugs, attraverso l'illustrazione dei principali contributi allo studio delle tematiche contemplate dal modello.

Nello specifico, l'analisi della letteratura riguarderà fenomeni come lo sviluppo del processo agglomerativo (con particolare riferimento ai settori ad alto contenuto tecnologico), le dinamiche dell'agglomerazione tecno-settoriale, le caratteristiche del processo innovativo e i suoi percorsi di sviluppo, la ricorrenza di fluttuazioni cicliche nelle performance dei sistemi economici.



## 3.1. PREMESSA

In questa sezione si tenterà di tracciare una breve panoramica dello *stato dell'arte* della letteratura circa le principali tematiche coinvolte a vario titolo dal nostro progetto di ricerca.

Si tratta sostanzialmente di una presentazione schematica dei principali approcci teorici ad argomenti piuttosto eterogenei, ai quali si farà riferimento nel corso dei prossimi paragrafi. Sebbene la contestualizzazione di tali contributi risulti certamente più immediata se rapportata direttamente al loro impiego nel modello, per motivi di organicità espositiva si ritiene opportuno condensarle nella presente sezione descrittiva, sia pure evidenziandone di volta in volta l'utilità analitica nella prospettiva di *Clusterbugs*.

## 3.2. CLUSTER DI IMPRESE

Il fenomeno agglomerativo, ovvero l'emergenza di *pattern spaziali* di attività imprenditoriali, costituisce il punto di partenza della nostra indagine, tanto che lo stesso *Clusterbugs* cerca di riprodurlo artificialmente sulla base di forze endogene.

Si tratta di un fenomeno che raccoglie l'interesse di diverse aree disciplinari, dall'economia politica alle scienze regionali, dalla ricerca operativa alla geografia industriale, all'economia aziendale (Maggioni, 2002a), e la cui rilevanza deriva principalmente dalla centralità che in esso assume l'*interazione* fra imprese appartenenti ad ambiti diversi, eppure complementari.

I principali contributi allo studio del fenomeno, infatti, attribuiscono all'aspetto relazionale un'importanza cruciale nella caratterizzazione del cluster<sup>46</sup>. Due formulazioni di particolare rilievo sono state offerte da Porter (1998) e da Den

---

46 “Cluster” (letteralmente, “raggruppamento” o “grappolo”) è il termine con cui viene normalmente definita la concentrazione spaziale e funzionale di imprese derivante da processi di agglomerazione.

Hertog e Roelandt (1999):

“[Clusters are] Geographic concentrations of interconnected companies, specialised suppliers, service providers, firms in related industries, and associated institutions (for example, universities, standards agencies, and trade associations) in particular fields that compete but also co-operate.” (Porter, 1998, p.197)

“[Clusters are] networks of production of strongly interdependent firms (including specialised suppliers) linked to each other in a value adding production chain. In some cases, clusters also encompass strategic alliances with universities, research institutes, knowledge intensive business services, bridging institutions (brokers, consultants) and consumers” (Den Hertog e Roelandt 1999, p.1)

Un celebre esempio di agglomerazione, particolarmente calzante con tali definizioni, è rappresentato dall'esperienza della Silicon Valley. Questo appellativo (“Valle del Silicio”) identifica oggi una zona di circa 700 Km<sup>2</sup> a sud-est di San Francisco (California), nota in tutto il mondo per l'eccezionale concentrazione di colossi industriali nel particolare ambito dell'alta tecnologia. Tutto iniziò negli anni '50, quando la Stanford University, in difficoltà economiche ma in possesso di ampie proprietà terriere, fondò il parco industriale di Standford, con lo scopo di creare un centro di alta tecnologia in stretta collaborazione con il mondo accademico. Nel 1951 Varian Associates affittò un primo spazio, seguito da imprese come Eastman Kodak, General Electric, Hewlett-Packard (Tajnai, 1985). Tali organizzazioni interagivano strettamente fra loro e con l'università, arruolando giovani talenti neo-laureati (come William Hewlett e David Packard). Da allora, nel giro di soli 50 anni, le iniziative imprenditoriali si sono moltiplicate e includono oggi migliaia di aziende leader nell'innovazione tecnologica in beni e servizi, come Intel, Apple, Cisco, Sun Microsystems, Google, eBay...

Grazie ad una serie di fattori di ordine storico e geografico, e in particolar modo alla straordinaria concentrazione di capitale umano ed economico di alto valore, la Silicon Valley ha insomma innestato un circolo virtuoso in grado di chiamare continuamente a sè nuove idee, nuovi capitali, nuove tecnologie, nuovi successi imprenditoriali.

### 3.2.1. Perché l'agglomerazione

Maggioni (2002a) precisa che fenomeni di concentrazione spaziale dell'attività economica sono riscontrabili in ogni contesto nazionale, sulla base di moventi diversi, di ordine storico, geografico, o economico.

Di assoluto rilievo, a tale riguardo, è il contributo di Marshall (1890), che si interessa al fenomeno decenni prima dello sviluppo di un'effettiva geografia economica, individuando tre fondamentali fattori di agglomerazione:

1. **Labour market pool.** Con questa definizione ci si riferisce alla disponibilità di un “bacino di manodopera specializzata” che accompagna tendenzialmente la costituzione di un cluster e che incentiva la nascita di nuove imprese al suo interno: l'agglomerazione attiverrebbe, in altri termini, un processo circolare in grado di agevolare in maniera crescente l'incontro tra domanda e offerta di lavoro.

“A localised industry gains a great advantage from the fact that it offers a constant market for skill. Employers are apt to resort to any place where they are likely to find a good choice of workers with the special skill which they require; while men seeking employment naturally go to places where there are many employers who need such skill as theirs and where therefore it is likely to find a good market.” (Marshall, 1890, p. 225)

2. **Specialised inputs supply.** Il secondo fattore di agglomerazione consiste nella disponibilità di un'offerta di input produttivi specifici: la possibilità di aggregare la domanda di approvvigionamento di più imprese dello stesso tipo renderebbe infatti possibile l'impiego di apparati produttivi di alto livello che nessun attore potrebbe permettersi singolarmente.

“The economic use of expensive machinery can sometimes be attained in a very high degree in a district in which there is a large aggregate production of the same kind, even though no individual capital employed in the trade be very large. For subsidiary industries devoting themselves each to one small branch of the process of production, and working it for a great many of their neighbours, are able to keep in constant use machinery of the most highly specialized character, and to make it pay its expenses.” (*ibidem*, p. 225)

**3. Knowledge spillover.** Il terzo elemento della categoria marshalliana consiste nella rapida circolazione di conoscenza all'interno del cluster: l'opportunità di comunicare e di confrontarsi con professionisti dello stesso ambito, nonché la possibilità di venire a conoscenza di soluzioni e progetti elaborati in altre zone del cluster, permetterebbe infatti di agevolare lo sviluppo di nuove idee e l'ottimizzazione di quelle esistenti.

“The mysteries of the trade become no mystery; but are as it were in the air [...] Good work is rightly appreciated, inventions and improvements in machinery, in processes and in the general organization of the business have their merits promptly discussed: if one man starts a new idea, it is taken up by others and combined with suggestions of their own; and thus become the source of further new ideas.” (*ibidem*, p. 225)

Solo cent'anni dopo questa teorizzazione del fenomeno agglomerativo, nel 1991, Krugman riprenderà in modo sistematico l'analisi della correlazione tra il territorio e l'attività economica, fondando quella che egli stesso denominerà “New Economic Geography” (NEG). Nella sua più celebre opera in materia (Krugman, 1991), l'autore statunitense mette in luce come la concentrazione spaziale delle attività economiche sia collegata all'esistenza di *economie di agglomerazione*, le quali emergono dall'interazione di diversi fattori, come le economie di scala, i costi di trasporto<sup>47</sup> e le interdipendenze produttive tra le imprese del cluster: in estrema sintesi, la NEG considera che, attraverso un processo circolare (*loop*), le economie di scala ed i costi di trasporto spingano

---

47 Nell'ambito della NEG tali costi sono modellati in base alla metafora dell'“iceberg”, derivante da un'originale intuizione di Samuelson (1954): per semplificare la prospettiva di indagine evitando di modellare esplicitamente un settore dei trasporti, si immagina che il bene trasportato perda progressivamente valore (si deteriori) al crescere della distanza, come se si trattasse di un iceberg soggetto a scioglimento.

il produttore a localizzarsi in un'unica zona, il più possibile vicino alla domanda; ma, a loro volta, i potenziali acquirenti tenderanno a trasferirsi là dove si realizza una maggiore concentrazione dell'offerta. Da ciò deriverebbe una tendenza reiterativa verso una progressiva concentrazione spaziale di imprese anche eterogenee, la cui numerosità e varietà produrrà un progressivo aumento del “valore” del cluster, che potrà rivolgersi a mercati sempre più ampi minimizzando progressivamente i costi di produzione.

Nell'ambito di questo filone di indagine è emerso un crescente interesse nei confronti delle dinamiche localizzative delle attività imprenditoriali, e i moderni contributi partecipano a definire un quadro sempre più completo dell'articolato rapporto tra economia e territorio.

A partire dalle prospettive di analisi aperte da Marshall e Krugman, Preissl e Solimene (2003) individuano una serie di “stimoli agglomerativi” più specifici, che riconducono a tre categorie sostanziali, per quanto non sempre nettamente distinguibili:

- **Vantaggi derivanti dalla *prossimità spaziale*:** diffusione di conoscenza, riduzione dei costi di transazione (trasporti, assicurazioni, reperimento informazioni<sup>48</sup>...), condivisione delle infrastrutture;
- **Vantaggi derivanti dal *livello di attività*:** economie di scala (rese possibili dalla grande disponibilità di potenziali acquirenti all'interno del cluster, nonché dalla possibilità di “unire le forze” per soddisfare una domanda esterna più ampia), presenza di esternalità (ogni “progresso” all'interno del cluster gioverà all'intera popolazione, poiché ognuno potrà potenzialmente beneficiare delle risorse sviluppate dagli altri<sup>49</sup>) e possibilità di specializzazione (attraverso una “divisione del

---

48 I costi di informazione sono rilevanti nel processo di analisi dell'offerta: la struttura del cluster consente tuttavia di ridurli, poiché l'informazione riguardo ai beni e servizi che i vari membri possono offrire circola molto rapidamente all'interno della rete locale.

49 Più grande è il cluster, più numerosi saranno i potenziali partner, le potenziali fonti di sapere e le potenziali competenze che esso renderà disponibili ai propri membri. Ne è un esempio il mercato del lavoro: è infatti probabile che risorse umane qualificate, provenienti da un'impresa del cluster, trovino possibilità di impiego presso altri membri.

lavoro” tra i membri del cluster);

- **Vantaggi derivanti dall'*interazione*:** trasmissione di conoscenza tacita (non codificata, in grado di circolare rapidamente nel cluster e al contempo di restare inaccessibile agli attori esterni) e conseguenti rapporti di fiducia (possibilità di stabilire una comunicazione informale, meno costosa); sviluppo di rapporti di competizione e cooperazione (il cluster combina i vantaggi che derivano da entrambe le forme di relazione tra imprese<sup>50</sup>).

Concentrandosi sulla rilevanza della comunicazione faccia-a-faccia come fondamentale implicazione della prossimità geografica, Storper e Venables illustrano poi ulteriori benefici specifici dell'agglomerazione:

“Face-to-face contact has four main features: it is an efficient communication technology; it can help solve incentive problems; it can facilitate socialization and learning; and it provides psychological motivation” (Storper e Venables, 2004, p.1)

La definizione della comunicazione faccia-a-faccia come “efficiente tecnologia di comunicazione” riguarda sostanzialmente la possibilità di veicolare un'informazione più *completa* – ricca di allusioni, sottintesi, connotazioni, percepibili direttamente insieme al messaggio – e la disponibilità di un feedback immediato. Per quanto riguarda il secondo aspetto – gli incentivi alla buona riuscita della comunicazione – Storper e Venables sottolineano l'importanza della *fiducia* reciproca nel determinare l'efficacia dello scambio informativo; nella comunicazione diretta sarebbero infatti evidenti l'*interesse* ed il *coinvolgimento* di entrambe le parti poiché, per costruire tale interazione, ogni attore spende tempo, denaro e impegno, ed è consapevole che il partner sta facendo lo stesso<sup>51</sup>. Gli ultimi due aspetti rilevati da Storper

---

50 “Cluster dynamics are nurtured by the competitive action of rival firms that not only compete for customers but also for inputs, as well as by the confidence created between co-operating units.” (Preissl e Solimene, 2003, p.49)

51 “The time and money costs of co-presence (schmoozing) can be substantial, far outweighing the cost of the message. These costs are sunk, so indicate a willingness to embark on the repeated relationship; [...] In this sense, for complex context-dependent information, the medium is the message. And the most powerful such medium for verifying the intentions of

e Venables riguardano, da una parte, la facilitazione dell'apprendimento derivante da un "background" di codici condivisi e dalla possibilità di aggiornamenti occasionali (garantita dall'appartenenza ad un "giro" sociale); dall'altra parte, l'incentivo psicologico che deriva dalla possibilità di imparare dagli altri per riuscire a "far meglio" di loro<sup>52</sup>.

In definitiva, considerata una gamma così ampia e differenziata di vantaggi, perché *non tutte* le imprese si riuniscono in cluster? Secondo Maggioni (2002a) da un punto di vista ideale, avendo come obiettivo la massimizzazione dei profitti, le imprese tenderebbero a scegliere la collocazione migliore tra quelle disponibili (in termini di concentrazione degli input produttivi, costi di localizzazione e di trasporto, vicinanza alla domanda, etc.), e da ciò deriverebbe un mondo in cui le attività imprenditoriali si concentrano in un numero relativamente ristretto di "aree strategiche". Se ciò nella realtà non avviene, è per via di due fattori: in primo luogo, perché gli attori sono dotati di una *razionalità limitata* e di un'*informazione imperfetta* circa il mondo in cui operano (sicché non sono in grado di scegliere la soluzione oggettivamente migliore in ogni istante); in secondo luogo, perché ogni impresa è portata a considerare non solo i benefici *geografici*, ma anche quelli *agglomerativi* (ovvero dipendenti dal comportamento delle altre imprese), il che complica sensibilmente il quadro degli "scenari ideali". Vanno infatti considerate, in tal senso, tanto le *economie di agglomerazione*, quanto le *diseconomie di agglomerazione*:

"On the one hand, agglomeration economies (or agglomeration gross benefits) which produce increasing returns to location in certain sites, facilitating clustering process; on the other hand, agglomeration diseconomies (congestion effects) and inputs competition which push firms apart from each other." (Maggioni, 2002a, p.150)

Il comportamento strategico di ogni attore, che riguarda la scelta della localizzazione migliore e del momento più opportuno per stabilirvisi, risulterà

---

another is direct F2F contact." (Storper e Venables, 2004, pp.9-10)

52 "we imitate others, try to do better than them and derive pleasure from succeeding at so doing. When we make an effort, and are on the route to success, there is a bio-physical "rush" that pushes us forward" (Storper e Venables, 2004, p.12)

di conseguenza tutt'altro che scontato, e produrrà una distribuzione di imprese estremamente variegata.

### 3.2.2. Agglomerazione e conoscenza

Un aspetto fondamentale del processo agglomerativo, già accennato nelle pagine precedenti, riguarda la trasmissione e la condivisione della *conoscenza*, intesa come risorsa complessa che implica la “comprensione, elaborazione ed assimilazione dell'informazione” (Malerba, 2000, p.84).

Nella struttura reticolare del cluster, infatti, la conoscenza trova un ideale veicolo di diffusione:

“Although knowledge is an asset that firms prefer to keep within their own spheres, most innovation processes benefit from knowledge spillovers. Here [in the cluster] R&D results are transferred from one company to another through various formal and informal mechanisms that all accelerate technological advancement in a region and/or in the economy as a whole.” (Preissl e Solimene, 2003, p.44)

Più specificamente, i flussi conoscitivi che caratterizzano i cluster di imprese sembrano coinvolgere un sapere di natura prevalentemente *tacita*, ovvero non codificabile esplicitamente in modo esaustivo<sup>53</sup> e, di conseguenza, non incorporabile in un supporto materiale o virtuale. Si tratta, inoltre, di un sapere di tipo prevalentemente pratico, di cui lo stesso titolare è spesso inconsapevole, per cui è opinione condivisa che possa essere acquisita solo attraverso le relazioni informali<sup>54</sup> o l'esperienza diretta.

La rilevanza della conoscenza tacita, che costituisce per diversi autori una

---

53 A tale proposito, Storper e Venables (2004, p.11) osservano che “Much of such knowledge can only be successfully communicated as metaphor (Nisbet, 1969), whose meanings are highly culture and context-dependent (Lakoff and Johnson, 1980).”

54 Come sostengono ancora Storper e Venables, la relazione faccia-a-faccia è caratterizzata da “the astonishing rise in the complexity of information – verbal, visual and symbolic – which can be communicated near instantly.” (Storper e Venables, 2004, p.2)



parte essenziale del sapere scientifico e tecnologico (Winter, 1987; Malerba, 2000), è infine condensata da Michael Polanyi nella celebre formula “we can know more than we can tell” (M. Polanyi, 1966).

Perché, dunque, l'agglomerazione consente di ottimizzare il trasferimento di questo sapere? Essenzialmente, perché entrambi hanno una caratterizzazione *locale e relazionale*.

In primo luogo, quindi, il fatto che i cluster rappresentino una concentrazione spaziale di attività imprenditoriali si concilia in modo particolarmente efficace con la natura strettamente localizzata della conoscenza tacita, determinata dall'impiego dell'interazione faccia-a-faccia come canale di diffusione preferenziale<sup>55</sup>.

In secondo luogo, la diffusione di un sapere così “personale” e basato sull'esperienza può trovare un efficace propulsore nello spostamento delle stesse risorse umane da un'impresa all'altra, all'interno del cluster. In questo modo, ognuno potrà entrare in contatto con realtà diverse ed attraversare reti relazionali differenti, accrescendo sensibilmente le proprie possibilità di apprendimento:

“[...] the circulation of knowledgeable workers between firms, enhancing the ability of these firms to recombine knowledge, imitate best practices, and otherwise improve their products.” (Storper e Venables, 2004, p.3)

“These networks defy sectoral barriers: individuals move easily from semiconductor to disk drive firms or from computer to network makers. They move from established firms to startups (or vice versa) and even to market research or consulting firms, and from consulting firms back into startups” (Saxenian, 1990, p.97)

In terzo luogo, infine, la stessa necessità di interazioni dirette, personali,

---

55 Proprio in ragione di questo legame con la comunicazione diretta, il costo di trasferimento della conoscenza non-codificata aumenta sensibilmente al crescere della distanza: “Although the cost of transmitting information may be invariant to distance, presumably the cost of transmitting knowledge rises with distance. That is, proximity and location matter.” (Audretsch e Feldman, 1996b)

trova una puntuale risposta nella struttura relazionale del cluster. Esso è infatti animato da persone che si incontrano, si confrontano, si spostano; partecipano a conferenze, seminari, discussioni, attività sociali specificamente organizzate da istituzioni locali... e in tutte queste occasioni stabiliscono relazioni e originano flussi di conoscenza, di quel particolare tipo che può essere trasmesso solo attraverso relazioni informali e personali:

“In these forums, relationships are easily formed and maintained, technical and market information is exchanged, business contacts are established, and new enterprises are conceived... This decentralized and fluid environment also promotes the diffusion of intangible technological capabilities and understandings.” (Saxenian, 1990, p.98)

Adirittura, come spiega Saxenian (1990), lo stesso linguaggio tecnico utilizzato dagli specialisti tende a differenziarsi a seconda delle regioni, tanto che alcuni termini impiegati dagli ingegneri di semiconduttori della “Silicon Valley” risultano incomprensibili ai colleghi della “Route 128” di Boston.

In definitiva, quindi, se la conoscenza codificata risulta similmente recepibile all'interno ed all'esterno del cluster, non essendo soggetta ad una particolare influenza della prossimità/distanza geografica, l'ambito in cui emerge la forza propulsiva dell'agglomerazione è piuttosto il trasferimento della conoscenza tacita.

Un'ulteriore considerazione riguarda, più in generale, la dinamica dell'apprendimento all'interno del cluster. Come hanno mostrato Cohen e Levinthal (1989), tale processo richiama – oltre ad un incremento della conoscenza – un progressivo incremento della “competenza di apprendere”: più il sapere scientifico esterno è complesso, più diventa necessario possedere un'avanzata capacità di identificarlo, assorbirlo e sfruttarlo attivamente; tale capacità, tuttavia, può essere maturata solo attraverso processi di “allenamento” che si sviluppano esclusivamente con l'esperienza. Di conseguenza, gli agenti localizzati in un contesto che incentiva le relazioni informali e i trasferimenti conoscitivi matureranno una maggiore “capacità di imparare” e beneficeranno, in tal modo, di maggiori prospettive di sviluppo.

### 3.2.3. Cluster high-tech

Un altro aspetto interessante del fenomeno agglomerativo è che la struttura del cluster costituisce una soluzione particolarmente efficace nell'ambito dei *settori ad alto contenuto tecnologico*, dove l'attività innovativa assume un ruolo fondamentale:

“High-tech activity (measured both in terms of number of establishments and level of employment) show a significant degree of spatial concentration. Even though clustering is not an exclusive feature of innovative industries, these industrial sectors are, in general, more clustered than total manufacturing” (Maggioni, 2002a, pp.58-59)

In prima istanza, infatti, la prossimità spaziale tra attori diversi consente di raccogliere le diverse competenze richieste nell'ambito di un processo complesso come quello innovativo, attraverso l'integrazione delle capacità *firm-specific* con quelle che non appartengono allo specifico ambito di attività dell'impresa (es. ricerche di mercato, consulenze fiscali o legali, servizi bancari e finanziari, etc.):

“Imprese localizzate in aree territoriali con una densità elevata di competenze e servizi diversi hanno, infatti, una probabilità più elevata di trovare in tempi rapidi i servizi richiesti per un ordinato ed efficace fluire del processo innovativo” (Malerba, 2000, p.360)

In seconda istanza, occorre considerare che l'innovazione è strettamente legata alla circolazione della conoscenza, in particolar modo di tipo tacito, tanto che – come sottolinea Saxenian (1990) – l'attività innovativa è favorita dalla *comunicazione* tra gli individui ancor più che dal possesso di un'elevata dotazione di conoscenza “in assoluto” da parte dei singoli lavoratori.

Anche Maggioni (2002a) sottolinea l'importanza particolare che gli spillover di conoscenza, così come le economie di agglomerazione, rivestono all'interno delle industrie high-tech, per le quali l'innovazione non è semplicemente una fonte di vantaggio competitivo, ma un requisito irrinunciabile per la

sopravvivenza delle imprese:

“[...] there is a conventional wisdom in the economic literature that high-tech firms are even more likely to cluster than other types of firms because of the relevance that agglomeration economies and knowledge spillovers play in these industries.” (Maggioni, 2002a, p.6)

Risulta dunque comprensibile che l'attività innovativa risulti più accentuata in quelle regioni dove esiste una maggiore concentrazione delle fonti della conoscenza, e dove gli spillover conoscitivi sono più abbondanti.

“If the ability to receive knowledge spillovers is influenced by distance from the knowledge source, then geographic concentration should be observed, especially in industries where knowledge spillovers are likely to play a more important role.” (Audretsch e Feldman, 1996b, p.630)<sup>56</sup>

Per tutte queste ragioni, insomma, i cluster innovativi – ovvero relativi ad imprese high-tech – costituiscono un contesto privilegiato in cui studiare i processi conoscitivi implicati nelle dinamiche di apprendimento e di innovazione: proprio in quest'ottica si colloca la nostra ricerca.

Lo strumento di indagine che è stato scelto nell'ambito del presente lavoro, vale a dire la *simulazione ad agenti*, risulta peraltro – a nostro avviso – particolarmente adeguato all'oggetto di studio, poiché è in grado di dare ragione dell'estrema complessità che caratterizza un mondo di agenti eterogenei in continua interazione e il cui comportamento dipende direttamente da un contesto relazionale dinamico, in continua evoluzione.

Un'ultima nota, riguardo a un problema che è stato rilevato nel corso della ricerca: come è possibile affermare che i cluster agevolano il trasferimento di conoscenza? Come si possono misurare, in altre parole, i *flussi di conoscenza*?

---

56 L'intero lavoro illustrato in Audretsch e Feldman (1996b) è dedicato all'analisi delle relazioni tra le “esternalità conoscitive” dell'industria e la propensione dell'industria stessa alla concentrazione spaziale dell'attività innovativa: partendo dall'assunzione che gli spillover siano più rilevanti nelle industrie high-tech, gli autori giungono ad affermare che “industries in which knowledge spillovers are more prevalent [...] have a greater propensity for innovative activity to cluster than industries where knowledge externalities are less important” (*ibidem*, p.639)

Le difficoltà di rilevazione e di quantificazione sono evidenti, soprattutto in relazione ad una conoscenza di tipo tacito, non formalizzato, come quella innovativa. Come rileva Krugman:

“Knowledge flows [...] are invisible; they leave no paper trail by which they may be measured or tracked.” (Krugman 1991, p.53)

Una risposta – peraltro accettata con favore da buona parte della comunità scientifica – è fornita da Jaffe, Trajtenberg e Henderson, in un saggio del 1993: “Knowledge flows *do* sometimes leave a paper trail”<sup>57</sup>. La “traccia di carta” a cui gli autori si riferiscono, lasciata da tali “trasferimenti invisibili”, sarebbe costituita dalle *citazioni dei brevetti*: questo indicatore, in effetti, è stato impiegato con successo nell'ambito di diverse ricerche, alcune delle quali<sup>58</sup> hanno peraltro dimostrato con evidenza la particolare concentrazione di citazioni all'interno delle regioni in cui i brevetti vengono registrati, a conferma della particolare diffusione di conoscenza che caratterizza contesti di agglomerazione.

---

57 Cfr. Jaffe, Trajtenberg e Henderson, 1993, p.578.

58 Si vedano ad esempio Jaffe, Trajtenberg e Henderson (1993) e Audretsch e Feldman (1996a)

### 3.3. I CLUSTER TECNO-SETTORIALI

Il processo agglomerativo non riguarda però esclusivamente la dimensione spaziale: come evidenziano Preissl e Solimene (2003), esiste una particolare forma agglomerativa che deriva non già dalla prossimità geografica, ma da una sorta di “prossimità informativa” che congiunge le imprese appartenenti ad una medesima “area settoriale”: si tratta dei *sistemi tecnologici / settoriali di innovazione*.

Per comprendere il significato di tale espressione occorre anzitutto specificare il concetto di *sistema tecnologico*, così come definito da Carlsson e Stankiewicz:

“[...] a network of agents, interacting in a specific economic/industrial area under a particular institutional infrastructure to generate, diffuse and utilise a technology. Technological systems are defined in terms of knowledge or competence flows rather than flows of ordinary goods and services. They consist of dynamic knowledge and competence networks.” (Carlsson e Stankiewicz, 1991, p.111)

A questa idea di “rete”, attraversata da “flussi di conoscenza”, Breschi e Malerba (1997) affiancano il concetto di *regime tecnologico*, come “contesto conoscitivo” svincolato da una rigida corrispondenza geografica e definito dalle proprietà e dalle modalità di elaborazione e diffusione della conoscenza:

“[...] a technological regime is defined by the level and type of opportunity and appropriability conditions, by the cumulateness of technological knowledge, by the nature of knowledge, and the means of knowledge transmission and communication” (Breschi e Malerba, 1997, p.132)

La rilevanza di tale definizione risiede nel fatto che una certa strutturazione del regime tecnologico determina la nascita di specifiche tipologie di attività innovative che potrebbero assumere, pertanto, forme anche molto diversificate: potrebbe emergere, ad esempio, una popolazione di innovatori ristretta e relativamente stabile nel tempo, così come una popolazione numerosa e “turbolenta”.

Partendo da tali considerazioni, Breschi e Malerba giungono infine alla formulazione del concetto di *sistema settoriale di innovazione*, per indicare l'esito

di un processo di comunicazione e di interazione – basato sullo sviluppo di attività innovative di interesse comune – che conduce le imprese di un certo settore a costituire una rete relazionale formalmente riconosciuta e dotata di una certa stabilità:

“[A sectoral system of innovation] is composed of those firms that are active in the innovative activities of a sector. More accurately, a sectoral innovation system can be defined as that system (group) of firms active in developing and making a sector's products and in generating and utilising a sector's technologies; such a system of firms is related in two different ways: through processes of interaction and cooperation in artefact-technology development and through processes of competition and selection in innovative and market activities.” (Breschi e Malerba, 1997, p.131)

Questa definizione non si pone, in realtà, in conflitto con la tradizionale identificazione geografica dei cluster di imprese. Si tratta, piuttosto, di due approcci *complementari* allo studio dell'agglomerazione. Come sottolineano ancora Preissl e Solimene (2003), poiché la conoscenza è strettamente correlata alla tecnologia ed al settore di attività, la sola indagine spaziale rischierebbe infatti di trascurare delle rilevanti specificità legate a tali ambiti e in grado di influenzare sensibilmente la struttura e le dinamiche dei sistemi innovativi.

Va peraltro rilevato che gli stessi sistemi settoriali partecipano in un certo senso alla definizione dei *confini geografici* dei cluster, entro cui avvengono i flussi di conoscenza (Swann, Prevezer e Stout, 1998): essi dipenderanno, infatti, dal tipo di relazione che ogni impresa del settore stabilirà con i propri fornitori e con i propri clienti (lungo un continuum che va dalla forte correlazione sistemica alla relativa indipendenza), ovvero dal grado di concentrazione spaziale dei legami che costituiscono la rete relazionale, per cui si potranno riscontrare sistemi settoriali regionali così come nazionali, internazionali o globali.

## 3.4. L'INNOVAZIONE

La dinamica innovativa rappresenta il principale oggetto di indagine del nostro modello, nonché la “struttura portante” su cui esso si basa. E' quindi importante tracciarne una contestualizzazione teorica che faccia riferimento ai principali contributi economici in materia<sup>59</sup>.

A tale riguardo, la limitata applicabilità della teoria neoclassica – che affronta il problema solo indirettamente, come fattore esogeno di spostamento della funzione di produzione – ha promosso la costituzione di nuove correnti teoriche più specificamente orientate all'indagine delle dinamiche che caratterizzano il processo innovativo.

Il principale limite dell'approccio neoclassico – incentrato sulla funzione di produzione, nel cui ambito le possibilità tecnologiche sono assunte come un elemento dato<sup>60</sup> – è di trascurare la rilevanza del processo generativo delle innovazioni e del cambiamento tecnologico come fenomeno in parte endogeno al sistema economico.

Una tale prospettiva è invece emersa a partire dagli anni '70, quando diversi autori hanno cercato di penetrare la “scatola nera” del processo innovativo mettendone in discussione i caratteri di globalità e di esogeneità implicati dall'impianto teorico neoclassico (Atkinson-Stiglitz, 1969; David, 1975; Rosenberg, 1976 e 1982; Freeman-Soete, 1987; Dosi, 1988).

I primi elementi di un quadro teorico “alternativo” si riscontrano nella concezione Schumpeteriana dello sviluppo economico e dell'innovazione (Schumpeter, 1912), che ha ispirato gran parte dei contributi recenti. Schumpeter ha infatti il merito

---

59 Per l'elaborazione della parte iniziale di questo paragrafo sono debitore nei confronti di Matteo Cardani, che ha condotto un'accurata rassegna della letteratura nella tesi “Cambiamento tecnologico e teoria economica” (a.a. 1988-1989).

60 L'approccio neoclassico considera l'impresa come un'organizzazione dotata di razionalità globale/illimitata e sostanziale, caratterizzata da un comportamento ottimizzante (massimizzazione dei profitti) e puramente “adattivo” rispetto a un flusso di innovazioni esogeno (Simon, 1984; Nelson e Winter, 1982).



di aver evidenziato alcune fondamentali caratteristiche dell'innovazione e dello sviluppo economico, come la natura discontinua e “disequilibrante” dell'innovazione e del cambiamento tecnologico; il carattere ciclico dello sviluppo economico, sottoposto a mutamenti strutturali; il ruolo attivo e creativo dell'imprenditore-innovatore, dotato di razionalità limitata e il cui comportamento non può essere ridotto alla massimizzazione di un obiettivo dato.

A partire da queste considerazioni, i contributi più recenti hanno messo in luce ulteriori tratti distintivi dell'innovazione:

- *multidimensionalità* del processo innovativo, frutto di una molteplicità di elementi non riconducibili al singolo atto di introduzione dell'innovazione (Mansfield, 1968; Rosenberg, 1976, 1982; Abernathy e Utterback, 1978; Von Hippel, 1976, 1979 e 1980; Freeman, 1982 e 1988; Momigliano, 1983 e 1985);
- emergenza dell'innovazione a partire dall'*interazione tra processi di generazione e di diffusione* non rigidamente distinguibili, ma articolati in “sciami” di innovazioni radicali ed incrementali (David, 1975; Rosenberg, 1976, 1982; Momigliano, 1983 e 1985; Malerba, 1985; Freeman, 1988);
- *cumulatività* del processo di cambiamento tecnologico, attraverso lo sviluppo di miglioramenti incrementali (Rosenberg, 1976 e 1982; Nelson e Winter, 1977 e 1982; Sahal, 1981 e 1985);
- *carattere inter-settoriale* del progresso innovativo, basato su dinamiche di convergenza tecnologica tra industrie diverse (Antonelli, 1982; Stoneman, 1983).

Da tali premesse deriva quindi in modo abbastanza evidente un radicale cambiamento di prospettiva nell'intendere il rapporto tra sviluppo economico ed innovazione: le imprese risultano ora piuttosto il *propulsore* del cambiamento tecnologico, nella misura in cui sono impegnate in un processo di ricerca, apprendimento e creazione di nuove soluzioni produttive (processi/prodotti). Non

solo: la natura localizzata, cumulativa e *firm-specific* del processo di apprendimento e di innovazione implica necessariamente il riconoscimento di una sostanziale differenziazione tra le imprese. Tale eterogeneità tecno-economica sembra essere un esito inevitabile del processo innovativo.

È proprio per tale ragione che, a nostro parere, assumono crescente importanza nuovi strumenti di indagine capaci di rendere conto della complessità del fenomeno attraverso la rappresentazione di scenari emergenti dall'interazione di soggetti radicalmente eterogenei.

### 3.4.1. Strategia ed evoluzione

Dal quadro teorico tracciato, in effetti, hanno preso avvio nuove tecniche analitiche, che si sono concentrate attorno a due principali approcci modellistici: quello *strategico* e quello *evolutivo*.

L'approccio strategico<sup>61</sup> tende a formalizzare all'interno di un modello la *competizione tecnologica*, preservando tuttavia la tradizionale ipotesi di comportamento ottimizzante da parte delle imprese, e concentrandosi sull'analisi delle configurazioni di equilibrio. In particolare, la competizione tra imprese è modellata – facendo ricorso alla teoria dei giochi – nei termini di un gioco non-cooperativo, in cui gli attori si contendono un “premio” predefinito, consistente in un certo ammontare di profitti legati all'innovazione.

In questi modelli, dunque, ogni impresa definisce la propria strategia innovativa (essenzialmente, il livello della spesa in ricerca e sviluppo) sulla base di due fattori: da una parte l'obiettivo di massimizzazione del valore atteso del flusso di profitti e, dall'altra, una serie di congetture circa il

---

61 Cfr. Scherer, 1967; Loury, 1979; Lee-Wilde, 1980; Dasgupta-Stiglitz, 1980a e 1980b; Brander-Spencer, 1983; Gilbert-Newbery, 1982 e 1984; Reinganum, 1981, 1983, 1984 e 1985; Stewart, 1983; Vickers, 1986; Beath et al., 1987.

comportamento dei rivali. I risultati dei modelli sono poi generalmente formalizzati nei termini di un equilibrio di Nash (1951) tra le strategie di un gioco non cooperativo.

In definitiva, la rilevanza dell'approccio strategico risiede nella sua capacità di illustrare la correlazione tra le strategie innovative attivate dalle diverse imprese, in relazione agli investimenti in ricerca e sviluppo.

Per quanto riguarda invece l'approccio evolutivo<sup>62</sup>, esso parte da premesse differenti, rinunciando definitivamente agli assunti neoclassici di massimizzazione e di equilibrio. Partendo dalla considerazione che il cambiamento tecnologico introduce una dinamicità e un'incertezza rilevanti nella struttura di mercato, e che la razionalità delle imprese è fortemente limitata – quanto a capacità di calcolo, previsione ed elaborazione delle informazioni – si ritiene infatti che l'ipotesi di comportamento ottimizzante, finalizzato alla massimizzazione di un insieme statico e definito di alternative di scelta, sia poco plausibile. Come afferma Simon (1984), dunque, l'impresa agirebbe piuttosto alla *ricerca di un livello soddisfacente* di crescita e di profittabilità. In quest'ottica, il miglioramento della performance tecnologica – conseguito attraverso processi di innovazione o imitazione – garantisce alle imprese maggiori opportunità di profitto, che a loro volta costituiscono un incentivo per la *crescita* dell'impresa (attraverso un incremento degli investimenti).

A differenza dell'approccio strategico, dunque, quello evolutivo ritiene che sia impossibile determinare a priori la strategia innovativa *ottimale*, la quale invece viene espressa, in un'ottica strategica, attraverso l'equilibrio di Nash. Secondo gli evolutivi, tali equilibri possono essere ottenuti solo al prezzo di una sostanziale svalutazione dei tratti caratteristici della competizione tecnologica, vale a dire l'incertezza, la limitazione della razionalità, nonché il fatto che la selezione delle strategie innovative deriva da un processo di

---

62 Cfr. Nelson-Winter, 1974, 1976, 1978, 1982; Winter, 1984; Iwai, 1984a e 1984b; Metcalfe-Gibbons, 1986; Metcalfe, 1988 e 1989; Silverberg, 1984 e 1988; Silverberg-Dosi-Orsenigo, 1988.

*apprendimento progressivo.*

Nella competizione tecnologica, infatti, nessun attore può sapere *ex ante* quale sia la migliore strategia possibile; le *diverse* strategie impiegate dall'impresa andranno piuttosto incontro ad un processo di *selezione* che premierà le soluzioni di volta in volta più adeguate e penalizzerà quelle meno efficienti. Da ciò deriva che gli agenti dei modelli evolutivi saranno sottoposti ad un continuo processo di *differenziazione* sulla base delle scelte contingenti operate da ciascuno:

“La teoria evolutiva [...] focalizza l'attenzione sulla conoscenza, sui processi dinamici collegati alla ricerca e all'innovazione e sull'impresa che apprende, è depositaria di conoscenze e ha competenze specifiche. [...] pone attenzione ai processi di generazione di varietà a livello di tecnologie, prodotti, comportamenti e organizzazioni, di selezione tra la varietà esistente e di sviluppo di meccanismi inerziali”. (Malerba, 2000, p.83)

In ultima analisi, il processo di evoluzione della struttura di mercato non è scandito da una successione di equilibri temporanei (nei quali le imprese massimizzano i profitti e adottano la tecnica produttiva più efficiente), ma è caratterizzato da quella che Dosi e Orsenigo (1988, p.25) definiscono “disequilibrium dynamics”, ovvero una dinamica che presuppone la presenza strutturale di disequilibrio, eterogeneità tra le imprese e continua evoluzione della struttura di mercato.

Una critica che viene mossa comunemente all'approccio evolutivo, tuttavia, riguarda il fatto che in tale prospettiva vengono spesso formulati dei modelli con finalità prevalentemente *euristiche*, ovvero di verifica di ipotesi puntuali, limitando di conseguenza la possibilità di trarre dei risultati analitici di portata generale.

### 3.4.2. Imitazione

Un'ultima riflessione va svolta a proposito del *processo imitativo*, che tipicamente accompagna lo sviluppo dell'innovazione.

Ciò che preme rilevare in questa sede è che, nonostante la connotazione negativa che tale fenomeno tende ad assumere in relazione al problema della regolamentazione – in quanto “nemico” da combattere per assicurare l'appropriabilità della conoscenza – l'imitazione costituisce in realtà un fondamentale meccanismo di apprendimento, che può risultare indispensabile alla sopravvivenza di imprese inserite in un contesto di continuo mutamento tecnologico.

In altre parole l'imitazione, che può essere considerata come la capacità di recepire ed assimilare i c.d. *spillover* – ovvero i “flussi di conoscenza” che travalicano i confini dell'innovatore risultando accessibili a terze parti – è un fenomeno che, sia pure collocato al livello *micro* delle interazioni fra imprese, può produrre a livello aggregato dei benefici per l'intero sistema economico.

Come afferma Malerba (2000), l'imitazione costituisce infatti uno dei principali canali di *diffusione* della conoscenza e dell'innovazione:

“la diffusione delle innovazioni discende da due fenomeni quasi sempre contemporanei, ma logicamente distinti, consistenti rispettivamente: - nella *selezione* operata dal mercato a danno delle imprese ritardatarie e a favore di quelle innovative; - nell'*imitazione* delle imprese innovative da parte di quelle ritardatarie” (Malerba, 2000, p.285)

L'utilità di tale diffusione non risiede poi semplicemente nel fatto che l'intero sistema potrà beneficiare dei progressi tecnologici sviluppati da un'impresa: in quest'ottica il processo innovativo tenderebbe a “staticizzarsi” di volta in volta attorno a singole innovazioni da parte di singoli attori. Al contrario, il processo di diffusione offre le basi per un'evoluzione dinamica, poiché consente di avviare un ulteriore processo di sviluppo, attraverso *innovazioni incrementalì* a cui ogni attore sarà potenzialmente chiamato.

Ancora, Spence (1984) individua due effetti rilevanti prodotti dagli *spillover* sull'attività innovativa delle imprese, suggerendo una lettura dell'imitazione come fattore di sviluppo: da una parte (“efficiency effect”), la disponibilità di spillover ridurrebbe il dispendio di risorse necessario per raggiungere un livello tecnologico soddisfacente, mentre dall'altra (“incentive effect”), la possibilità di imitazione – riducendo la potenziale profittabilità dell'innovazione – costituirebbe di conseguenza un continuo incentivo ad innovare.

Un'ultima considerazione riguarda l'importanza del trasferimento di conoscenza. Nei paragrafi precedenti si è sottolineato che tale risorsa ricopre una primaria importanza per l'impresa, tanto nel determinare la sua capacità innovativa, quanto per consentirle di sviluppare le proprie competenze e reagire prontamente al contesto dinamico in cui opera. In quest'ottica la possibilità di “imparare dagli altri” diventa quindi una condizione fondamentale per generare una spirale di crescita diffusa. In effetti, poiché ogni comunicazione genera apprendimento (come “flusso di conoscenza”) e poiché, in senso lato, qualsiasi apprendimento si basa su un processo imitativo (Ash, 1952), un contesto ipoteticamente privo di imitazione sarebbe un contesto di imprese indipendenti, rigidamente separate l'una dall'altra, incapaci di attivare relazioni di qualsiasi genere. Sarebbe quindi, in ultima analisi, un contesto privo di circolazione di conoscenza, caratterizzato pertanto da consistenti difficoltà di sviluppo e di innovazione.

In definitiva, se è vero – come si è sostenuto nei precedenti paragrafi – che la particolare disponibilità di spillover conoscitivo rappresenta uno dei principali fattori di agglomerazione, un mondo senza imitazione sarebbe quasi certamente un mondo senza cluster. E, se è vero che i cluster favoriscono lo sviluppo dell'attività innovativa e del progresso tecnologico, sarebbe un mondo meno avanzato e meno dinamico.

### 3.5. TEMPO, CICLI E ONDE LUNGHE

Come si specificherà nei prossimi paragrafi, uno dei problemi che si sono dovuti affrontare nella realizzazione di *Clusterbugs* riguarda la necessità di programmare nel “mondo artificiale” un processo di temporizzazione (*timing*) dell'attività innovativa ed un meccanismo di auto-regolazione della popolazione (tale da garantire un sostanziale equilibrio tra la “nascita” di nuovi agenti e la loro eliminazione). In quest'ottica abbiamo ritenuto opportuno riferirci al fenomeno dei *cicli economici*.

Tale processo consiste essenzialmente nel movimento oscillatorio che le performance economiche di un certo sistema<sup>63</sup> sembrano assumere nel tempo, rispetto ad indicatori quali i prezzi, i tassi di interesse, i salari, gli output produttivi, gli investimenti, i profitti, l'occupazione. È stato infatti riscontrato empiricamente un andamento ciclico di tali valori, con momenti di picco alternati a momenti di crisi, periodi di crescita alternati a periodi di declino, secondo un processo normalmente distinto in quattro fasi: espansione, recessione, depressione, ripresa.

Tali cicli, tipici del sistema capitalistico<sup>64</sup>, sembrano inoltre verificarsi a diversi livelli, configurando un sistema di macro-oscillazioni all'interno del quale sono “modulati” dei movimenti ondulatori di portata minore: le tre dimensioni comunemente distinte dalla letteratura storica ed economica sono identificate con il nome di *cicli di Kitchin* (della durata di circa 40 mesi), *cicli di Juglar* (con una durata media di 8-11 anni) e *cicli di Kondratieff* (di circa 50-60 anni), questi ultimi identificati anche con l'espressione *Onde lunghe*, in ragione della loro particolare estensione temporale<sup>65</sup>.

---

63 Analisi in tal senso sono state condotte in diversi ambiti, a livello settoriale, nazionale e globale.

64 Lo stesso Schumpeter (1912, p.255) afferma che “il ciclo è la forma che lo sviluppo economico assume nell'era del capitalismo” (traduzione vers. italiana: “Teoria dello sviluppo economico”, Sansoni, Firenze, 1971).

65 Come specificano Maggioni e Merzoni (2002, p.45) tali macro-fluttuazioni riguardano le “grandi innovazioni” che hanno concorso a “determinare il sentiero di sviluppo dei sistemi economici”.

Va tuttavia rilevato che, particolarmente per quanto attiene alle tendenze di più ampio raggio, non vi è un'assoluta evidenza empirica che confermi inequivocabilmente il regolare succedersi di tali fenomeni. Autori diversi forniscono interpretazioni spesso dissonanti riguardo a medesime serie statistiche, per quelle che sembrano due fondamentali ragioni: da una parte, la scarsa disponibilità di rilevazioni empiriche precise e attendibili, soprattutto nel periodo antecedente al 1900<sup>66</sup>; dall'altra, la sostanziale difficoltà di trarre da un ristretto numero di indicatori, relativi a fenomeni diversi (prezzi, salari, occupazione, etc.), delle considerazioni su un fenomeno aggregato estremamente complesso (il ciclo economico), influenzato da una vastissima gamma di fattori di ordine storico e politico oltre che economico.

In definitiva, formulare delle ipotesi interpretative sul significato – e sulla stessa evidenza – dei cicli economici è un compito tutt'altro che agevole e fortemente influenzato – come vedremo – dalla particolare “chiave di lettura” adottata di volta in volta dal ricercatore. Nonostante ciò, bisogna comunque riconoscere che la maggioranza degli studiosi riconosce l'esistenza di tali ciclicità e risulta concorde anche rispetto ad alcune loro puntuali caratteristiche.

### **3.5.1. Le onde lunghe**

Il principale problema che accompagna lo studio dei cicli economici consiste nel comprenderne la causa. Tale questione riguarda in particolar modo le onde lunghe, che risultano estremamente complesse per via della loro ampiezza, entro cui i possibili fattori intervenienti (anche di tipo accidentale) sono assai numerosi<sup>67</sup>.

---

66 Come rileva Freeman (1996, p.XXXI), “[...] the debate covers a very long period (more than two centuries) and the statistics for the first half of this period are poor and mainly refer to prices and interest rates rather than to output, investment, profits and employment. Moreover, for the first wave the debate really concerns only one country (Great Britain)”.

67 Una parte rilevante delle considerazioni di questo paragrafo deriva dalla raccolta realizzata da Freeman (1996) all'interno della serie “The International Library of Critical Writings in Economics”.



Quali, tra i tanti indicatori proposti, sono responsabili dell'emergenza delle onde lunghe, e quali invece ne costituiscono una conseguenza?

A questo proposito, l'assoluta maggioranza degli autori conviene che non esiste un unico fattore scatenante, ma che – al contrario – le onde lunghe sono il risultato dell'interazione tra una moltitudine di fattori. Ciò nonostante, se negli anni '30 la maggior parte della letteratura si concentra sull'analisi di fattori come la guerra<sup>68</sup>, la riserva monetaria e la disponibilità di materie prime<sup>69</sup>, negli anni '80 la maggior parte dei contributi mostra invece un interesse primario per il ruolo che l'*innovazione* – di mercato e tecnologica – svolge nell'influenzare l'andamento delle performance economiche.

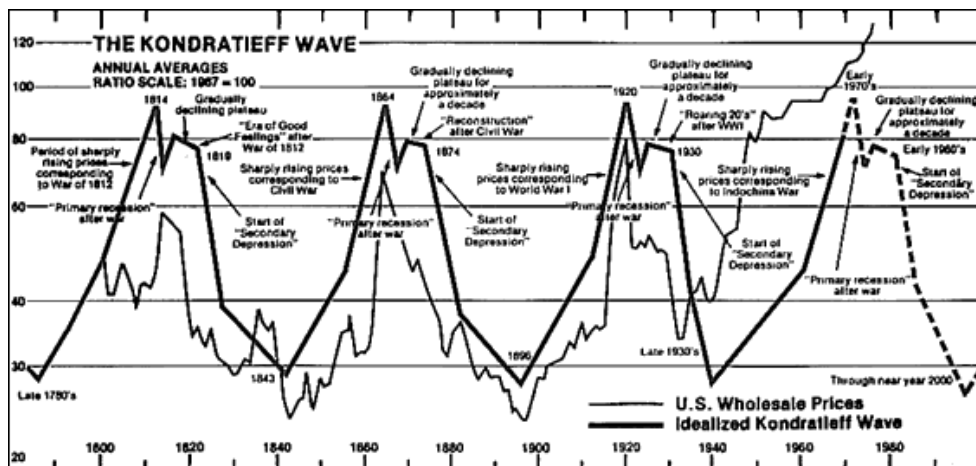


Figura 4 – I cicli di Kondratieff relativi all'andamento dei prezzi all'ingrosso negli Stati Uniti, in un'immagine pubblicata sulle riviste "Media General Financial Weekly" (1974) e "International Moneyline" (1981)

68 L'influenza della guerra sull'andamento del mercato è evidente nel corso di tutta la storia, dalle guerre napoleoniche alla guerra civile americana, alle due guerre mondiali, alla guerra in Crimea, in Vietnam... Vi è tuttavia una diversità nei modi di intendere tale influenza: questi conflitti sono stati interpretati sia come "shock" esterni al sistema, sia (es. dallo stesso Kondratieff) come parte integrale dell'onda lunga.

69 In questo caso si allude principalmente al ritardo che l'offerta di input produttivi matura nei confronti della domanda, per cui momenti di carenza di materie prime (con conseguente aumento dei prezzi) avrebbero accompagnato la crescita della domanda, mentre momenti di eccesso di materie prime (crollo dei prezzi) avrebbero seguito la riduzione della domanda.

Sebbene già Van Gelderen (1913) avesse riscontrato l'importanza delle nuove attività e delle nuove tecnologie nel determinare l'andamento delle onde lunghe, tale interesse per il processo innovativo è portato avanti in particolar modo da Schumpeter (1939), a partire dalla convinzione – peraltro largamente condivisa – che siano le *aspettative di profittabilità* a stimolare gli investimenti e, di conseguenza, la crescita economica<sup>70</sup>.

“Surely, nothing can be more plain or even more trite common sense than the proposition that innovation, as conceived by us, is at the center of practically all the phenomena, difficulties, and problems of economic life in capitalist society.” (Schumpeter, 1939, vol. I, p.87)

Per Schumpeter, in un'economia capitalista, un maggiore tasso di innovazione costituisce infatti un incentivo verso nuovi investimenti, in ragione di una maggiore fiducia – a livello diffuso – circa il successo dei nuovi mercati.

E, in se stesso, questo fatto è comprovato da precise rilevazioni empiriche:

“Sufficient comprehensive evidence were available of the favourable influence of innovative opportunities on profit expectations and investment decisions and of synchronizing band-wagon effects generated by competitive pressures and imitation”. (Freeman, 1996, p.XXVI)

Ma come possono tali “impulsi di crescita”, provenienti da una grande varietà di innovazioni e di aree geografiche, in momenti diversi, essere così sincronizzati da generare delle fluttuazioni omogenee con una periodicità di mezzo secolo?<sup>71</sup>

La risposta avanzata dallo stesso Schumpeter è questa: singole innovazioni non sarebbero probabilmente in grado di produrre un tale effetto, ma *cluster di innovazioni* sì. Secondo l'economista austriaco, infatti, le innovazioni avverrebbero non già disperse nello spazio e nel tempo, ma concentrate in “grappoli”. Ne deriva che esse non vanno considerate separatamente, ma in relazione fra loro, come elementi diversi eppure orientati in una “direzione

---

70 La paternità di tale idea è fatta risalire a Keynes (1930): “Entrepreneurs are induced to embark on the production of fixed capital or deterred from doing so by their expectations of the profit to be made”.

71 Una critica di questo tipo è stata avanzata da Kuznets (1940).

comune”:

The combined effects of such clusters or systems could, according to the proponents of these ideas (among whom I would number myself), be as great or greater than that of railways in their time. The railways themselves of course combined many innovations and not just one.” (Freeman, 1996, p.XVII)

A sostegno di questa concezione “agglomerativa” dell'innovazione si sono sviluppate tre principali linee di ricerca attorno alle seguenti tematiche:

- *Il raggruppamento di innovazioni discrete* (Mensch, 1975; Kleinknecht, 1986): in questo caso i cluster di innovazioni sono analizzati in quanto gruppi di attività distinte, eppure collocate in un'analogia distribuzione temporale. In altre parole, si prendono in considerazione le ragioni per cui tali innovazioni ricoprono una certa collocazione all'interno delle “onde”, senza indagare i rapporti di affinità/diversità che le congiungono.
- *Lo sviluppo di sistemi e paradigmi tecnologici* (Perez, 1983; Freeman e Perez, 1988): in quest'ambito si sottolinea – al contrario – la relazione esistente tra le diverse innovazioni, che si intendono costitutive di un “sistema tecnologico” in grado di influenzare tutti i settori ed i servizi attraverso “famiglie” di innovazioni correlate. Le innovazioni tecnologiche vengono inoltre rapportate all'*innovazione manageriale* (nuove forme di organizzazione e nuovi stili di management) nonché a modifiche istituzionali (nuovi standard produttivi, nuovi sistemi di tassazione, nuove regolamentazioni, etc.).
- *Nuovi investimenti infrastrutturali in successione* (Grübler e Nakicenovic, 1991): questa linea di ricerca riprende anzitutto l'idea di “sistema tecnologico”, spostando tuttavia il focus dell'analisi sulla necessità di lunghi periodi di “gestazione” affinché una nuova famiglia di tecnologie si imponga su quella precedente. Si evidenzia inoltre il fatto che ogni nuovo regime tecnologico deve basarsi su *nuove* infrastrutture e che, viceversa, l'esistenza di un'infrastruttura già

stabilita può inibire lo sviluppo di soluzioni alternative, per effetto di un *lock-in* non solo tecnologico ma anche istituzionale e legislativo.

Un aspetto interessante, con riferimento al primo ambito di ricerca, è che il rapporto tra l'innovazione e il ciclo economico viene inteso in due modi contrapposti dagli autori che lo hanno indagato.

Da una parte (Mensch, 1975; Kleinknecht, 1986), sulla base di dati empirici, si ritiene che le innovazioni radicali si concentrino nei momenti di *crisi*, a causa di un cambiamento di rotta nell'atteggiamento imprenditoriale, che ritiene necessario concentrare le energie dell'azienda attorno allo sviluppo di tecnologie del tutto diverse da quelle attuali, in modo da aprire nuove possibilità di sviluppo. Tale approccio sembra però invertire il processo causale, per cui sarebbe la stessa esistenza del ciclo, e specificamente la sua fase di depressione, a generare le innovazioni radicali: l'innovazione diventa la *conseguenza* del ciclo economico piuttosto che la sua causa. Allo stesso modo, infatti, la fase di “distensione” – conseguente al periodo di espansione – determinerebbe il ripiego sulle innovazioni incrementali.

Dall'altra parte (Clark, Freeman e Soete, 1981; Perez, 1983), si critica fortemente tale posizione, affermando anzitutto che gli stessi dati empirici non permettono di accreditare tale ipotesi, rappresentando una distribuzione tendenzialmente casuale delle innovazioni; semmai, esse sembrerebbero concentrarsi nei periodi di crescita economica, mentre la depressione sembrerebbe inibire il processo innovativo, a causa del generale pessimismo e dell'elevato rischio che gli investimenti comporterebbero in tale momento. In questa seconda prospettiva si ritorna alla concezione Schumpeteriana per cui sarebbe l'innovazione a determinare l'andamento del ciclo economico, e non viceversa: l'avvento di nuove tecnologie sembra infatti emergere in modo abbastanza casuale, in ragione di attività scientifiche non direttamente determinate dall'andamento del mercato. È piuttosto la *diffusione* delle innovazioni a determinare le fluttuazioni cicliche del sistema economico (Van Duijn, 1983). Si tratta perciò di un processo lento e cumulativo, difficilmente rilevabile attraverso un unico indicatore, come la “data di nascita” delle

singole innovazioni:

“As Forrester and many others have pointed out the time scale for diffusion may be very long so that such major innovations as the steam engine, the railway, the automobile and the electronic computer were all innovated many decades before they exerted their major influence on the world economy.” (Freeman, 1996, p.XXVIII)

Il dibattito sulle onde lunghe prosegue, oggi, sia riguardo alle possibili interpretazioni del fenomeno, sia con riferimento alla valutazione della sua evidenza empirica. Nel secondo ambito sembra emergere una discussione di grande rilievo: se alcuni autori danno per scontata, e per globalmente accettata, l'esistenza di questi cicli economici cinquantennali, altri negano rigidamente la possibilità di trarre considerazioni attendibili dal set di dati statistici attualmente disponibile. Il confronto tra le due posizioni appare destinato a rimanere aperto: innanzi tutto, come si è argomentato, i dati disponibili sono incompleti, soprattutto relativamente ai periodi meno recenti (mentre la ricorrenza delle onde lunghe, per poter essere definitivamente dimostrata, dovrebbe risultare da lunghe serie temporali di rilevazioni empiriche). In secondo luogo, il grande numero di conflitti bellici che ha caratterizzato il mondo occidentale per tutto il XVIII ed il XIX secolo ha costituito un rilevante fattore di “disturbo”, compromettendo ulteriormente l'evidenza dei “cicli di Kondratieff” in un periodo già limitato e, pertanto, poco rappresentativo. Studiosi come Van Duijn e Metz (1992) hanno elaborato delle tecniche per ridurre l'influenza delle principali guerre, ma si tratta comunque di costruzioni che non possono essere verificate empiricamente. Ci sono poi altri problemi di ordine statistico, relativi ad esempio alla possibilità di estendere ai contesti non direttamente considerati le riflessioni svolte sul campione di paesi/settori preso in esame.

La tentazione di “gettare la spugna” è quindi, forse, comprensibile, sebbene al contempo non si possa escludere a priori l'esistenza di ciclicità di lungo periodo:

“In the face of all these difficulties and contradictory opinions, it is hardly surprising that many people throw up their hands in despair and conclude that the whole enterprise is nothing but a search for non-existent ghosts. Yet hardly any of the critics, including the most stringent [...] deny altogether the existence of some kinds of long-term fluctuations.” (Freeman, 1996, p. XXXIII)

Nonostante la precisa rilevazione di cicli cinquantennali nella storia risulti difficoltosa, inoltre, anche gli autori più critici riconoscono l'esistenza di un processo evolutivo “a stadi”, determinato dal susseguirsi di rivoluzioni tecnologiche basate su innovazioni radicali ed incrementali.

Tylecote (1992) cerca di spiegare come mai l'oggettivo susseguirsi di tali “ere tecnologiche” non abbia consentito la chiara emergenza delle onde lunghe: non solo nella storia sono intervenuti fenomeni casuali che hanno prodotto un “rumore di fondo” tale da complicare la lettura dei dati empirici, ma lo stesso sistema economico sembra aver generato, in risposta alle ciclicità innovative, dei pattern di comportamento anti-ciclici, reazioni sociali e politiche che hanno ulteriormente modificato l'effetto di espansione o recessione tendenzialmente prodotto dall'andamento del progresso tecnologico.

“If some degree of autonomy within the historical process is accorded also to the political system, to international relations and to scientific discoveries (as surely must be accepted) then an untidy, clouded pattern is the inevitable result.” (Freeman, 1996, p.XXXIV)

Va infine ricordato, seguendo Schumpeter, che le statistiche aggregate hanno di per sè una scarsa capacità di descrivere fenomeni qualitativamente complessi come le rivoluzioni tecnologiche.

### **3.5.2. I cicli di vita industriali**

Un altro ambito in cui emerge la ciclicità dell'andamento economico, particolarmente rilevante ai fini della nostra ricerca, consiste in quello che è comunemente definito *ciclo di vita industriale*: un andamento oscillatorio, di

durata variabile, delle performance di un certo settore, che accompagna la diffusione di un particolare prodotto.

Una prima formulazione del problema è stata proposta da Vernon (1966) che, nella sua teoria del “Product Life Cycle” (PLC), si concentra sulle fasi dell'espansione estera delle compagnie multinazionali, attraverso l'analisi delle vendite e degli investimenti “cross-borders”. In particolare, Vernon sostiene che il trasferimento dell'attività produttiva dai paesi di origine a quelli meno sviluppati segua sostanzialmente il ciclo di vita del prodotto: nel periodo di progettazione e prima realizzazione sembra che il management delle principali multinazionali tenda a mantenere l'attività produttiva entro i confini del paese di origine, per poi esternalizzare progressivamente il polo produttivo man mano che il prodotto raggiunge la fase di maturità, in cui i processi si fanno più standardizzati e la variabile “prezzo” acquisisce crescente importanza per potersi rivolgere a mercati più ampi.

Partendo dalla teoria di Vernon, diversi studiosi hanno contribuito ad approfondire lo studio della ciclicità produttiva. Tra questi, Williamson (1975) ha formulato una distinzione particolarmente organica del ciclo di vita del prodotto – e più in generale dell'industria – in tre momenti successivi, ai quali seguiranno inesorabilmente una fase di declino e l'emergenza di nuovi prodotti (fig. 7):

- **Il primo stadio** è caratterizzato, per Williamson, dall'offerta di un nuovo prodotto, realizzato con tecniche “primitive” e commercializzato in modo cauto per “sondare” il mercato; il volume delle vendite è tipicamente basso e il mercato è caratterizzato da un alto grado di incertezza.
- **Il secondo stadio** rappresenta la tappa intermedia nello sviluppo del prodotto, realizzato con tecniche più raffinate e commercializzato in modo più deciso, grazie ad una maggiore conoscenza del mercato; le vendite aumentano rapidamente in seguito all'individuazione di nuove applicazioni e le entrate sono caratterizzate da un grado di incertezza

ancora elevato, seppure minore rispetto alla fase precedente.

- **Il terzo stadio** è quello della maturità dell'industria, dal punto di vista del management, della produzione e delle tecniche di marketing. Le vendite possono continuare ad aumentare, ma ad un tasso più regolare; le quote di mercato sono soggette a minore incertezza, in virtù delle relazioni consolidate con i clienti e con i fornitori; le innovazioni tendono a ridursi e sono più che altro finalizzate al consolidamento del prodotto.

Sono state proposte molte altre versioni del modello del ciclo di vita industriale, concentrate di volta in volta sullo sviluppo del prodotto, del mercato o dell'industria. Sebbene tali costruzioni siano per molti versi affini, differiscono per il numero di fasi e per le *label* applicate ai singoli stadi del ciclo. È opportuno menzionare quantomeno alcuni modelli di particolare rilievo:

- **Fox (1973)**. Pre-commercializzazione → Introduzione → Crescita → Maturità → Declino
- **Wasson (1974)**. Sviluppo del mercato → Crescita rapida → Turbolenza competitiva → Saturazione/Maturità → Declino
- **Anderson e Zeithaml (1984)**. Introduzione → Crescita → Maturità → Declino
- **Hill e Jones (1998)**. Embrionale → Crescita → “Scossa” (*shakeout*) → Maturità → Declino



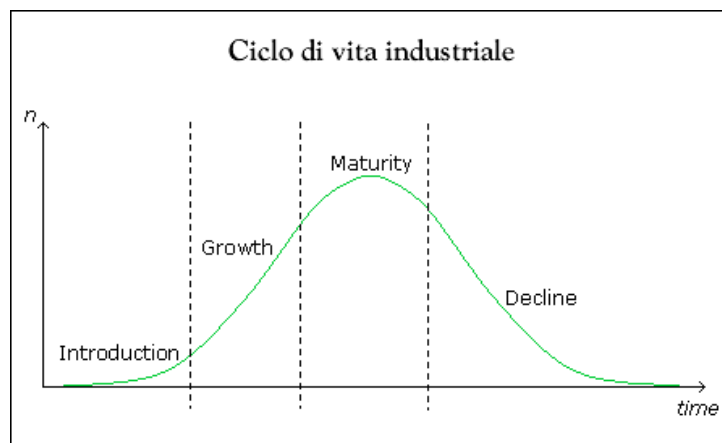


Figura 5 – Le fasi del ciclo di vita industriale  
(dal sito valuebasedmanagement.net)

Tra i diversi aspetti dei cicli di vita industriali, l'andamento del *numero di imprese* operanti nel settore ha raccolto l'interesse di un vasto numero di studiosi. A tale riguardo si rileva tipicamente che l'*ingresso di nuove imprese* è maggiore durante la fase di avvio, dopo la quale si riduce progressivamente. Dall'altra parte, il *tasso di uscita* dal mercato raggiunge il livello massimo<sup>72</sup> parecchio tempo dopo che il numero degli entranti inizia a diminuire. La somma dei due processi – riduzione degli entranti ed incremento delle uscite – determina comunque un calo progressivo della popolazione di imprese, che coinvolge il settore a partire dalla fase di maturità, caratterizzando poi tutta la fase di declino (Audretsch e Feldman, 1996a).

Un aspetto interessante è che, come rileva Klepper (1992), un analogo andamento ondulatorio sembra caratterizzare lo svolgimento dell'attività innovativa. Anche in questo caso, dunque, gli stadi sarebbero tre:

- Nelle prime fasi del ciclo di vita industriale l'attività innovativa raggiunge tipicamente il livello massimo. Ad innovare, inoltre, sono prevalentemente nuove imprese di piccole dimensioni.

<sup>72</sup> Tale momento è definito "shakeout" (Klepper e Miller, 1995).

- Nella fase di crescita i nuovi entranti determinano una sproporzione nella distribuzione delle principali innovazioni (di prodotto) tra le imprese del settore, altrimenti abbastanza equilibrata.
- Nella fase di maturità si verifica un consistente spostamento dell'attività innovativa dai nuovi entranti alle imprese consolidate (tendenzialmente di grandi dimensioni).

Le considerazioni di Klepper concordano peraltro con quanto sostiene Winter (1984), che identifica due momenti fondamentali nello sviluppo dell'attività innovativa: l'*entrepreneurial technological regime* (riconducibile alle prime fasi del ciclo), in cui l'attività innovativa degli entranti è favorita rispetto a quella degli incumbent, ed il *routinized technological regime* (riconducibile alle fasi più mature), in cui l'innovazione è portata avanti prevalentemente dalle imprese consolidate, a fronte di una riduzione dell'attività innovativa da parte degli entranti.

Partendo dal quadro teorico tracciato – il quale suggerisce che l'identità dei principali innovatori ed il tasso di innovazione siano strettamente correlati allo stadio del ciclo di vita industriale – Audretsch e Feldman (1996a) conducono un'interessante indagine per verificare se anche la *distribuzione geografica* dell'attività innovativa sia in qualche modo influenzata dalla fase del ciclo di vita. In effetti i risultati confermano tale ipotesi: gli autori rilevano che una tendenza alla *concentrazione spaziale* emerge spiccatamente in determinati momenti del ciclo di vita: in particolare, nella fase di introduzione e in quella di declino.

“On the one hand, new economic knowledge embodied in skilled workers tends to raise the propensity for innovative activity to spatially cluster throughout all phases of the industry life cycle. On the other hand, certain other sources of new economic knowledge, such as university research, tend to elevate the propensity for innovative activity to cluster during the introduction stage of the life cycle but not during the growth stage, but then again during the stage of decline.” (Audretsch e Feldman, 1996a, p.271)

# 4

## Dentro il modello

### Abstract

Si entrerà ora nel vivo di *Clusterbugs*, il modello di simulazione ad agenti sviluppato per indagare le dinamiche innovative ed agglomerative in relazione ai flussi di conoscenza tra imprese high-tech.

Partendo da una breve illustrazione di Heatbugs, che ne ha costituito la primaria fonte di ispirazione, si prenderanno in esame le principali problematiche interpretative legate al modello, per giungere infine alla presentazione dell'assetto finale di *Clusterbugs* nelle sue principali direttive di sviluppo.

## 4.1. HEATBUGS

### 4.1.1. Il modello originale

*Heatbugs* rappresenta una sorta di “modello standard”, compreso nelle librerie dimostrative di diverse piattaforme di simulazione ad agenti. È un esempio di come semplici individui, che agiscono a partire da informazioni esclusivamente locali, possano produrre un “comportamento globale complesso” ([http://www.swarm.org/wiki/Examples\\_of\\_Swarm\\_applications](http://www.swarm.org/wiki/Examples_of_Swarm_applications)). Pur essendo spesso considerato alla stregua di un semplice “gioco dimostrativo”, *Heatbugs* offre importanti spunti di riflessione; tant'è che proprio su di esso<sup>73</sup> abbiamo voluto basare la nostra ricerca.

Ogni agente del modello è un heatbug, ovvero un insetto che trascorre il suo tempo cercando un luogo dotato di una certa temperatura (la sua *temperatura ideale*). In ogni istante l'heatbug riscalda la porzione di spazio in cui si trova, concorrendo a soddisfare il suo stesso bisogno di calore. Il problema è che il mondo in cui gli agenti si muovono – sostanzialmente una matrice bidimensionale – disperde progressivamente il calore che riceve dai suoi abitanti. Sicché nessun insetto sarà in grado di soddisfare le proprie esigenze caloriche *da solo*: potrà riuscirci soltanto “collaborando” – sia pure in modo inconsapevole – con i suoi simili.

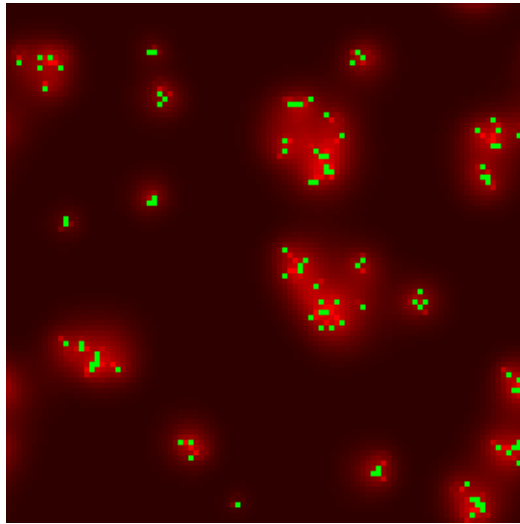
L'output del modello è piuttosto spartano: una rappresentazione bidimensionale in cui, su uno sfondo nero, si muovono alcuni punti colorati. Tuttavia, allo stato attuale, l'impiego di dispositivi grafici più sofisticati è difficilmente proponibile: le operazioni da gestire in ogni unità di tempo – per ogni singolo agente – richiedono una capacità elaborativa notevole, tanto che la stessa visualizzazione attuale rischia di imporre tempi di elaborazione

---

<sup>73</sup> Per la precisione, il modello che abbiamo utilizzato (e che costituisce l'oggetto di questo paragrafo) è *JHeatbugs*, l'implementazione di *Heatbugs* attraverso il linguaggio Java, in ambiente Swarm.

consistenti in modelli appena più elaborati di questo.

La figura 6 riproduce l'output del modello dopo alcune unità di tempo. I punti verdi rappresentano gli heatbug, mentre l'alone rosso rappresenta la diffusione del calore nel “mondo”.



---

Figura 6 – Lo spazio 2D di Heatbugs

Come risulta dalla stessa immagine, per l'implicita – e inconsapevole – esigenza di cooperazione a cui si faceva riferimento più sopra, i bug tenderanno ad agglomerarsi in modo spontaneo, così da sommare il proprio calore a quello dei compagni ed avvicinarsi più rapidamente alla propria temperatura ideale. Poiché, inoltre, tale valore ideale è determinato in modo casuale entro un intervallo descritto da due livelli estremi (`minIdealTemp` e `maxIdealTemp`, definiti esogenamente), ogni bug avrà tendenzialmente una preferenza soggettiva. Di conseguenza il grado di agglomerazione dipenderà dall'ampiezza del divario tra i due estremi: i bug risulteranno maggiormente “dispersi” in presenza di una maggiore varietà delle temperature ideali – per cui ogni agente cercherà una temperatura molto diversa da quella degli altri – mentre una più densa agglomerazione deriverà da una minima (o nulla) differenziazione degli obiettivi calorici.

Per quanto riguarda la logica di movimento degli heatbug, essa si basa su un processo decisionale molto semplice: in ogni unità di tempo, ogni agente si guarda attorno – passando in rassegna le otto celle immediatamente adiacenti alla propria – in cerca di una zona “migliore” (ovvero caratterizzata da una temperatura più vicina al proprio valore ideale). Se la trova, vi si trasferisce; altrimenti sceglie una cella in modo casuale. Se, infine, ha già raggiunto la temperatura ideale, preferisce non muoversi affatto. In ogni caso, prima di compiere qualsiasi altra azione, il bug scalda la casella in cui si trova, trasferendo in essa il proprio “potere calorifico” (variabile `outputHeat` del modello).

Tale potere calorifico, così come la temperatura ideale di ogni agente, è definito in modo casuale a partire da un valore minimo e un valore massimo, fissati a priori dall'utente della simulazione: `minOutputHeat` e `maxOutputHeat`. È infatti attraverso questi due parametri – `idealTemperature` e `outputHeat` – che in *Heatbugs* viene modellata l'eterogeneità degli agenti: sono le uniche proprietà che differenziano un bug dall'altro, rendendo più plausibile la rappresentazione del mondo e complicando la previsione dei comportamenti emergenti.

Un'ultima caratteristica del modello – tipica, in realtà, dello stesso ambiente di sviluppo *Swarm* – consiste nella predisposizione di un'apposita interfaccia utente, attraverso la quale il ricercatore può modificare alcuni parametri (il numero di insetti nel mondo, la dimensione del mondo stesso, la velocità di dispersione del calore, etc.) in modo da verificare l'impatto di tali variazioni sullo sviluppo della simulazione.

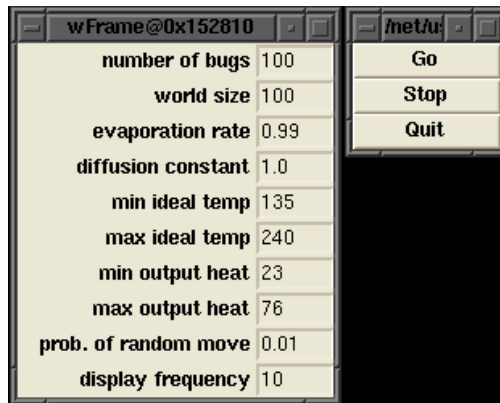


Figura 7 – L'interfaccia utente di Heatbugs

Da un punto di vista metodologico, il principio che sottende l'architettura di *Heatbugs* può essere ricondotto a un problema di ottimizzazione: ogni insetto cerca di massimizzare la propria “felicità” – o, nei termini utilizzati dal modello, di *minimizzare l'infelicità* (unhappiness), definita come differenza tra la temperatura ideale e quella percepita nella posizione corrente.

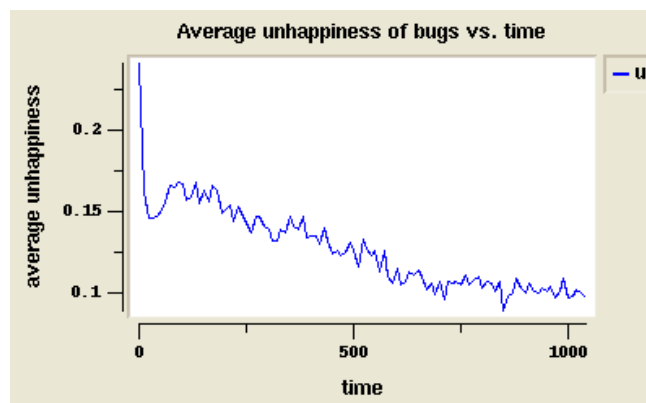


Figura 8 – Andamento dell'infelicità media in Heatbugs

Il grafico della *average unhappiness* (fig. 8) illustra la progressiva riduzione dell'infelicità media degli agenti, evidenziando l'emergere di un comportamento non programmato: sebbene ogni insetto agisca in modo puramente egoistico (nei termini di un *egoismo metodologico*), l'effetto

aggregato è che l'intera popolazione tende a minimizzare progressivamente la propria infelicità.

Non esiste, nel modello, il concetto di “nascita” di nuovi bug, né quello di eliminazione dei bug meno “efficienti”, così come non è stata predisposta alcuna considerazione o valutazione dell'*altro* che vada al di là del semplice “evitare sovrapposizioni”, sicché nessun agente è in grado di ricercare *volontariamente* la collaborazione con altri individui, né l'allontanamento da essi. Ogni insetto agisce sulla base di un numero estremamente ridotto di regole comportamentali, seguendo l'unico criterio della ricerca di una temperatura ideale. Eppure il modello permette di osservare dei *fenomeni emergenti complessi*, come la costituzione di *cluster* e la massimizzazione del “benessere” collettivo attraverso dinamiche di cooperazione spontanea.

È per queste ragioni che *Heatbugs* ci è sembrato un interessante punto di partenza per la realizzazione di un modello leggermente più complesso, predisposto per indagare in maniera più specifica e approfondita il nostro oggetto di interesse: le dinamiche di agglomerazione, di apprendimento e di innovazione nei settori high-tech (cfr. par. 2.2), emergenti da comportamenti individuali di agenti eterogenei dotati di razionalità limitata<sup>74</sup>.

---

74 Il concetto di razionalità limitata, ampiamente diffuso in economia e nelle scienze umane, è stato definito da Simon (1957) come la “proprietà” di un agente che si comporta in un modo “quasi ottimale”, in relazione ai suoi obiettivi ed alle risorse di cui dispone.



## 4.1.2. Heatbugs+

E' stato tuttavia necessario apportare qualche aggiustamento allo stesso *Heatbugs*, poiché alcuni suoi aspetti funzionali sembravano minare alla base la flessibilità del modello e la possibilità di trarne considerazioni attendibili sulla realtà di riferimento. E' stato quindi confezionato *Heatbugs+*, una versione leggermente evoluta del modello originale, e indispensabile punto di passaggio verso la realizzazione del nostro progetto di ricerca.

*Heatbugs+* ha infatti permesso, da una parte, di assicurare le fondamenta su cui il futuro ambiente di simulazione avrebbe poggiato; dall'altra, di approfondire sensibilmente la conoscenza di Swarm e la domestichezza con le sue logiche di strutturazione degli oggetti, dello spazio e del tempo.

Gli interventi finalizzati all'ottimizzazione di *Heatbugs* hanno coinvolto cinque dimensioni principali: la strutturazione del codice, l'ottimizzazione dei *selettori*, la modifica del processo di *creazione* dei bug, la modifica del processo di *movimento* dei bug, l'introduzione del *campo visivo*.

### 4.1.2.1. Strutturazione del codice

Si è trattato anzitutto di riorganizzare formalmente il *codice sorgente* del modello originale, in modo da renderlo più facilmente comprensibile (e modificabile), pur senza modificarne il funzionamento. In quest'ottica sono state condotte due diverse attività: in primo luogo i *metodi Java* – ovvero i “blocchi di codice” finalizzati a definire le diverse attività del modello – sono stati suddivisi in gruppi, a seconda della loro funzione nel programma (creazione degli agenti, creazione dell'interfaccia grafica, gestione del movimento dei bug, etc.); in secondo luogo sono stati aggiunti dei “commenti al codice”, ovvero delle annotazioni volte ad esplicitare la funzione di ogni componente del software, in modo da agevolarne il riconoscimento nell'ambito di futuri aggiornamenti.

### 4.1.2.2. Ottimizzazione dei selettori

I selettori sono degli strumenti utilizzati da Swarm per individuare “l'indirizzo di memoria” in cui un certo *metodo Java* può essere individuato. Vengono impiegati, nei modelli ad agenti, per creare una lista di *metodi* (ovvero di “azioni”) che andranno poi *chiamati* (eseguiti) in ogni unità di tempo, nell'ordine con cui appaiono nella lista.

Dal momento che ogni creazione di un selettore richiede normalmente diverse righe di codice, è stato creato un file `SwarmUtils.java` contenente una routine – o, più precisamente, una *classe Java* – che racchiude tutta la procedura di creazione, in modo da velocizzare e alleggerire lo script delle simulazioni: ogni volta che è richiesta la generazione di selettori, si richiama ora semplicemente il metodo contenuto nel nuovo file:

```
sel = SwarmUtils.getSelector();
```

Questa tecnica, riscontrata all'interno di altri modelli ad agenti, è stata introdotta in *Heatbugs+* in ragione della sua comprovata efficacia.

### 4.1.2.3. Modifica del processo di nascita

Nel modello originale i bug venivano creati – all'avvio del modello – in modo poco rigoroso: il sistema generava un numero predefinito di bug, associando ad ognuno di essi una posizione casuale; di conseguenza poteva accadere che più agenti occupassero la stessa cella, “sovrascrivendosi” a vicenda. Gli stessi sviluppatori di *Heatbugs* hanno riconosciuto il problema in un commento al codice:

```
// First, a quick hack. During creation we might put
// several heatbugs in the same square. This is a design
// flaw, but it's one that's not fatal, so we ask the
// world object not to warn us about it. This is not an
// example to be emulated :-)
```

Per risolvere il problema si è pensato di definire la quantità di agenti in modo *relativo* anziché *assoluto*: il parametro `bugNumber` è stato sostituito dal parametro `bugDensity`, che esprime la densità di bug nel mondo, ovvero la quantità di bug in relazione alla dimensione totale dello spazio.

Dopodiché, la generazione dei bug viene gestita al contrario: partendo da una scansione di tutte le celle del mondo, si decide se ognuna di esse dovrà ospitare o meno un individuo. Tale decisione si basa su un criterio probabilistico: ogni cella ha ora una certa probabilità di essere occupata, equivalente al “tasso di densità” dei bug. Per far sì che – ad esempio – il 10% dello spazio sia popolato, si attribuisce ad ogni cella del mondo il 10% di probabilità di ospitare un bug. Di conseguenza il numero degli agenti – essendo determinato in base a criteri probabilistici – varierà da simulazione a simulazione, oscillando di volta in volta attorno alla quantità definita dal parametro `bugDensity`. Questa variabilità nella numerosità della popolazione non costituisce di per sé un problema analitico, e consente d'altra parte di eliminare il rischio della sovrapposizione di più individui nella stessa cella.

Va peraltro rilevato che, anche nel modello originale, il numero dei bug era soggetto ad una certa variabilità – sia pure solo “in negativo” – poiché gli eventuali casi di sovrapposizione causavano di fatto la *sovrascrittura* dei primi occupanti della cella, sicché la quantità effettiva degli agenti era spesso inferiore a quella definita dal parametro `bugNumber`.

#### 4.1.2.4. Modifica del processo di movimento

*Heatbugs* gestisce il movimento dei bug attraverso il metodo `findExtremeType$X$Y()` (a sua volta *chiamato*<sup>75</sup> dal metodo `bugStep()` in `Heatbug.java`). Il processo di scelta della cella in cui spostarsi presentava anche in questo caso delle lacune. Ogni bug analizzava le otto celle circostanti alla propria (fig. 9), e – se la sua infelicità era diversa da zero – si spostava in una di esse. La “cella target” poteva essere selezionata in base a un criterio razionale (quella con la temperatura più simile al proprio valore ideale) o puramente casuale (random), ma in ogni caso il bug – se non perfettamente soddisfatto dalla cella attuale – si sarebbe spostato.

Da ciò derivava un duplice problema: da una parte, gli agenti rischiavano di peggiorare la propria situazione in seguito ad uno spostamento non giustificato dalla reale presenza di una cella *migliore*; dall'altra parte, ogni bug verificava l'effettiva disponibilità della cella solo *dopo* averla scelta: qualora la cella prescelta fosse risultata occupata, il bug ne avrebbe scelta una a caso, e così via finché non ne avesse trovata una disponibile. Di conseguenza, alla probabilità di movimento random definita dall'utente (attraverso il parametro `randomMoveProbability`) se ne aggiungeva un'altra, incontrollabile e non quantificabile dal ricercatore.

1	2	3
8		4
7	6	5

---

Figura 9 – Le otto celle analizzate da ogni agente in *Heatbugs*

---

<sup>75</sup> Nel linguaggio informatico, con il verbo “to call” ci si riferisce all'attivazione di un certo *metodo* (ovvero di una porzione di codice che descrive una “azione”).

Per risolvere questa sostanziale “perdita di controllo” sul comportamento del modello, il movimento è stato riprogrammato in modo da anteporre l'analisi della disponibilità della cella alla scelta di spostamento definitiva: in *Heatbugs+* ogni bug sceglie la migliore *tra le celle disponibili*, eliminando alla base il rischio della sovrapposizione. Inoltre il movimento avviene solo qualora venga effettivamente individuata una cella migliore; l'unica possibilità di movimento casuale che permane è quella prevista dal parametro `randomMoveProbability`.

#### 4.1.2.5. Introduzione del campo visivo

La riduzione dell'influenza del fattore casuale nel comportamento dei bug ha prodotto una concomitante limitazione della dinamicità di ogni agente, e quindi delle sue possibilità di minimizzare la propria *unhappiness*: capita infatti più raramente che la cella migliore sia anche disponibile.

La minore casualità andava insomma compensata con un incremento della capacità razionale degli agenti, per aiutarli a massimizzare la propria felicità con la stessa efficacia di prima. Il modo più ragionevole e immediato per farlo è parso consistere nell'introduzione di un nuovo parametro: il campo visivo (`fieldOfVision`).

In altre parole in *Heatbugs+*, nel processo di scelta della cella target, ogni individuo prende in considerazione un'area più estesa di quella esplorata in precedenza. Il campo visivo – per default equivalente a un “raggio” di 10 celle – permette a ogni bug di valutare la convenienza dello spostamento in modo più consapevole, aumentando al contempo la probabilità che venga individuata una cella *disponibile* migliore di quella attuale.

Nel caso in cui tale cella non risulti immediatamente raggiungibile, il bug si avvicinerà *progressivamente* ad essa, sempre spostandosi di una cella per volta.

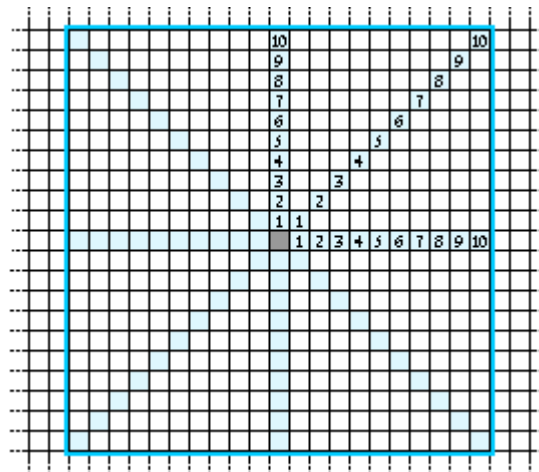


Figura 10 – Il “campo visivo” di Heatbugs+

Un’ultima considerazione a proposito di *Heatbugs+* riguarda l’andamento della *unhappiness*: in generale, muovendosi in modo prevalentemente casuale, nel modello originale i bug riducevano più velocemente la loro infelicità media. Nella nuova versione la curva assume una forma meno ripida e meno omogenea, soprattutto quando ci si avvicina al “valore soglia” – ovvero al valore minimo che la *unhappiness* raggiunge nel corso della simulazione.

Questo risultato può essere interpretato come un’inevitabile conseguenza della maggiore razionalità degli agenti: sebbene sia possibile che nell’ipotesi iniziale – brancolando freneticamente alla ricerca del calore – si abbiano maggiori probabilità di raggiungere la “cella ideale” in un dato periodo di tempo, è anche evidente che agenti più razionali valuteranno in modo più cauto e accurato le possibilità di spostamento. Di conseguenza, in quest’ultimo caso si raggiungerà un livello di soddisfazione analogo a quello raggiunto nella prima ipotesi, ma in un tempo maggiore.

Viceversa, bisogna considerare che in entrambe le versioni del modello i “passi falsi” non vengono penalizzati: qualora questo accadesse (cfr. paragrafi seguenti), è evidente che risulterebbe preferibile un mondo in cui gli agenti fossero in grado di ridurre il rischio di errore. Essi, probabilmente, raggiungerebbero la “cella ideale” in un tempo maggiore, ma incorrendo in un minor numero di penalità e massimizzando di conseguenza la propria soddisfazione.

## 4.2. CLUSTERBUGS

### 4.2.1. Il ritorno dei bug

I bug ritornano... in una versione leggermente evoluta. Sono agenti (limitatamente) razionali, dotati di una maggiore consapevolezza di sè e del mondo in cui agiscono; rappresentano imprese high-tech alla continua ricerca di nuova conoscenza, guidate dalla distribuzione dei fattori produttivi nel territorio; apprendono l'uno dall'altro; sviluppano invenzioni; si riproducono...

*Clusterbugs*, il “mondo artificiale” che li vede protagonisti – progettato a quattro mani con il prof. Mario Maggioni – rappresenta una regione popolata da *imprese* eterogenee, identificate da peculiari combinazioni di diverse caratteristiche<sup>76</sup>.

Anzitutto, gli agenti si distinguono in due popolazioni: *innovatori* e *imitatori*. L'appartenenza a queste famiglie non ha però un'origine genetica, per cui è possibile cambiare qualifica nel corso della simulazione. Piuttosto, quello di innovatore è uno *status* che di volta in volta alcune imprese potranno acquisire, ma anche perdere, in relazione alle proprie capacità, alle proprie caratteristiche native, e alla propria specifica fortuna (cfr. par. 4.2.5.4).

Ogni agente dispone, inoltre, di una peculiare *dotazione di conoscenze*. Più specificamente, ciascuna impresa è caratterizzata da due diverse tipologie di conoscenza (per esempio, sapere di mercato + sapere tecnologico, o sapere progettuale + sapere implementativo)<sup>77</sup>, ognuna delle quali può essere posseduta a diversi livelli, in una scala decimale che va da 0.1 a 10<sup>78</sup>.

---

76 Clusterbugs è stato oggetto di presentazione nell'ambito II Workshop di Vita Artificiale, tenutosi a Roma dal 2 al 5 marzo 2005 (Maggioni e Roncari, 2005).

77 Per i criteri di modellazione delle dinamiche conoscitive siamo debitori nei confronti di R. Cowan e N. Jonard (1999).

78 Per garantire maggiore precisione al processo di apprendimento viene ammesso un numero



I due tipi di conoscenza sono *imperfetti sostituti*, per cui il possesso di un buon livello in entrambi è preferibile rispetto al possesso di un livello molto alto in un sapere e molto basso nell'altro, poiché entrambe le componenti conoscitive sono strettamente necessarie all'attività imprenditoriale<sup>79</sup>. Per dare ragione di questa condizione, la *conoscenza globale* di ogni agente è stata modellata come il *prodotto* tra i due livelli: una dotazione  $5*5$  (=25) sarà pertanto preferibile rispetto a una dotazione  $1*10$  (=10).

La modellazione della conoscenza – e dell'apprendimento – rappresenta uno degli aspetti fondamentali di *Clusterbugs*, poiché è proprio a partire da questo elemento che abbiamo voluto indagare le dinamiche agglomerative ed innovative degli agenti.

Nello specifico, si è partiti dal presupposto che la conoscenza – e in particolar modo quella conoscenza non-codificata che si sviluppa nel corso dell'esperienza – possa essere acquisita tramite interazioni faccia-a-faccia:

“The production and diffusion of knowledge has long been viewed as a vital component of economic growth. [...] In this line, taking knowledge accumulation as being associated with technological change, there has been a significant amount of empirical, econometric research on the diffusion of specific technological innovations. But we know that this is not the only form that knowledge accumulation takes. Learning by doing (Arrow, 1962) and learning by using (Rosenberg, 1982) are perhaps the best examples of knowledge accumulation that is not associated with new technologies. The existence of learning curves, which describe progress within a technology, indicates some sort of knowledge accumulation that does not fit the “new technology” description. The kind of learning associated with learning curves is often not codified, and thus is only transmitted in face to face interactions.” (Cowan e Jonard, 1999, p.3)

Analoghe posizioni sono sostenute da altri autori, come Macdonald (1996) – secondo cui l'informazione viene spesso scambiata all'interno di incontri informali che non hanno un esplicito proposito e la cui frequenza dipende

---

illimitato di cifre decimali.

79 Il modello esclude, per il momento, le possibilità di specializzazione e di divisione del lavoro all'interno del cluster, in base alle quali ogni impresa si specializzerebbe in un particolare tipo di conoscenza andando incontro ai rischi ed alle opportunità derivanti dall'esigenza di collaborare profondamente con agenti specializzati in un altro ambito.

dalla prossimità spaziale degli attori – o ancora Porter (1998), uno dei principali studiosi di processi agglomerativi, per il quale lo scambio conoscitivo informale costituisce un vantaggio fondamentale dell'agglomerazione:

“...personal relationships and community ties foster trust and facilitate the flow of information. These conditions make information more transferable.”  
(Porter, 1998, p.81)

Nel nostro modello, inoltre, gli agenti hanno la possibilità di apprendere dalle interazioni che sviluppano nel corso del tempo, sia con i loro partner che con i loro concorrenti. Questo fatto, che può sembrare poco plausibile, ha in effetti un riscontro reale, come sostengono gli stessi Cowan e Jonard:

“Even among competitors knowledge is exchanged, but in a barter arrangement. Conferences, publications and conversations in the bar are all situations in which agents give up the information they have generated”.  
(Cowan e Jonard, 1999, p.4)

Rispetto al modello realizzato dai due autori, tuttavia, *Clusterbugs* considera dinamiche di apprendimento non solo tramite *baratto* (scambio volontario e consapevole da parte di entrambi gli attori), ma anche tramite *spillover puro* (l'imitazione vera e propria, in cui un solo attore trae beneficio dall'interazione). Non solo: le imprese di *Clusterbugs* possono apprendere anche in modo autonomo, attraverso un processo incrementale di *learning by doing* che permette loro di alimentare il proprio corredo informativo anche in assenza di interazioni con altri agenti.

Se, a questo punto, le conoscenze degli agenti sembrerebbero soggette a un continuo e inarrestabile processo di crescita, bisogna però considerare che esse risentono al tempo stesso di una forza di segno opposto: la rapida *obsolescenza* tipica delle conoscenze nei settori high-tech<sup>80</sup>. Per questo motivo è stata modellata una progressiva “svalutazione” di entrambi i tipi di conoscenza, che risulta – per default – superiore all'efficacia media del

---

80 Per una trattazione approfondita delle dinamiche di apprendimento e di obsolescenza si rimanda al paragrafo 4.2.5.3.

*learning by doing*, così da stimolare lo sviluppo di comportamenti interattivi finalizzati allo scambio di conoscenza.

Poiché *Clusterbugs* si concentra sulla rilevanza dell'elemento conoscitivo nelle dinamiche di agglomerazione e di innovazione, in esso il mercato non è esplicitamente modellato: fattori come la domanda, i costi, i profitti, non sono per ora esplicitati<sup>81</sup>.

In una prospettiva strettamente economica, il modello è tuttavia rappresentativo di un mondo estremamente semplificato, caratterizzato da un regime di *concorrenza perfetta* in cui ogni impresa è *price-taker* e vende di conseguenza una certa quantità di beni/servizi dipendente dai propri costi marginali<sup>82</sup>. Concentrando l'attenzione sul principale oggetto di interesse della ricerca – la conoscenza *tecnologica* e *di mercato* – si ritiene inoltre che i costi di produzione siano correlati negativamente con il patrimonio informativo di ogni attore, per cui l'accumulo di conoscenza consentirà ad ognuno di accrescere la propria *efficienza*, ovvero il rapporto tra ricavi e costi.

Da ciò deriva che, in un contesto competitivo, ogni incremento del livello conoscitivo conseguito da un'impresa produrrà degli effetti negativi nei confronti dei competitor, i quali rischieranno di uscire dal mercato in ragione della propria inefficienza.

Pur non essendo modellata attraverso l'impiego di esplicite funzioni di mercato, una tale dinamica è giustificata economicamente in questi termini: poiché la quantità venduta da ogni attore dipende dai costi marginali, da un punto di vista aggregato l'incremento della conoscenza *media* produrrà un aumento della quantità totale venduta *nell'industria*<sup>83</sup>. Questo fatto, unito ad

---

81 Tali aspetti saranno tuttavia contemplati in un nuovo modello, che è già in fase di progettazione e che cercherà proprio di integrare i due aspetti del problema innovativo: la diffusione della conoscenza e le dinamiche di mercato.

82 In concorrenza perfetta il prezzo è dato e, nel lungo periodo, data la condizione di free-entry, le imprese non fanno extra-profitti; per questo motivo, ogni riduzione dei costi marginali della singola impresa si traduce in un incremento della quantità prodotta dall'impresa stessa e, a livello aggregato, dall'intera industria.

83 La nuova curva di offerta dell'industria sarà quindi pari alla somma orizzontale delle curve

una curva di domanda inclinata negativamente, genererà un abbassamento del prezzo a livello settoriale. Di conseguenza, se la singola impresa non riuscirà a “tenere il passo” dei competitor più innovativi, non potrà fronteggiare la riduzione del prezzo e andrà incontro al rischio di fallimento (qualora i costi superino i ricavi per un certo periodo di tempo).

È per questo motivo che – come illustrato nel *paragrafo 2.5.2* – il parametro *minKnowledge*, da cui dipende la permanenza degli agenti nel mercato, è correlato alla *conoscenza media* del mondo di riferimento.

Le imprese di *Clusterbugs* hanno poi la possibilità di spostarsi all'interno dello spazio. Si tratta di una scelta ponderata attentamente, che può offrire nuove opportunità di sviluppo ma che comporta al contempo degli inevitabili costi di rilocalizzazione. In generale, la valutazione dell'impresa è finalizzata a rilevare le possibilità di incremento dell'efficienza.

Ma come può l'agente prevedere il futuro? Semplicemente, non può. Al contrario, in base alla ristretta capacità razionale di cui è dotato, l'agente si limita ad osservare una variabile che rappresenta *con una certa probabilità* la presenza di maggiori opportunità di sviluppo. Tale variabile consiste nella distribuzione dei fattori produttivi – essenzialmente, in termini di *infrastrutture* e di *mercato del lavoro*.

Quando un agente rileva, entro un certo raggio di visibilità, una concentrazione di fattori produttivi tale da giustificare il rischio della rilocalizzazione, allora decide di trasferirsi, sostenendo i costi necessari. In realtà, come verrà illustrato nei prossimi paragrafi, diversi fattori concorrono ad agevolare o ad ostacolare la rilocalizzazione delle imprese, sicché un ruolo determinante sarà svolto dal ricercatore, nel variare i parametri del modello al fine di osservare le diverse dinamiche emergenti.

Resta però da chiarire il criterio di distribuzione dei fattori produttivi. In *Clusterbugs*, essi sono implicitamente modellati come una funzione della

---

del costo marginale delle singole imprese.

produttività di ogni impresa: gli agenti in grado di produrre una maggiore quantità di beni/servizi potranno offrire una più elevata remunerazione, e costituiranno dunque un maggiore richiamo di “forza lavoro” e di input intermedi, generando di conseguenza una maggiore concentrazione di infrastrutture produttive nel territorio. Poiché, quindi, la produttività di ogni impresa dipende dalla sua dotazione di conoscenze, anche il suo contributo all'alimentazione dei fattori produttivi locali sarà determinato dal livello della sua conoscenza totale.

Nel modello, che come abbiamo visto si basa sul *format* di Heatbugs, le risorse produttive coincidono metaforicamente con il calore che ogni bug è in grado di trasmettere alla propria cella, e sono perciò rappresentate dall'alone rosso che circonda gli agenti (fig. 11).

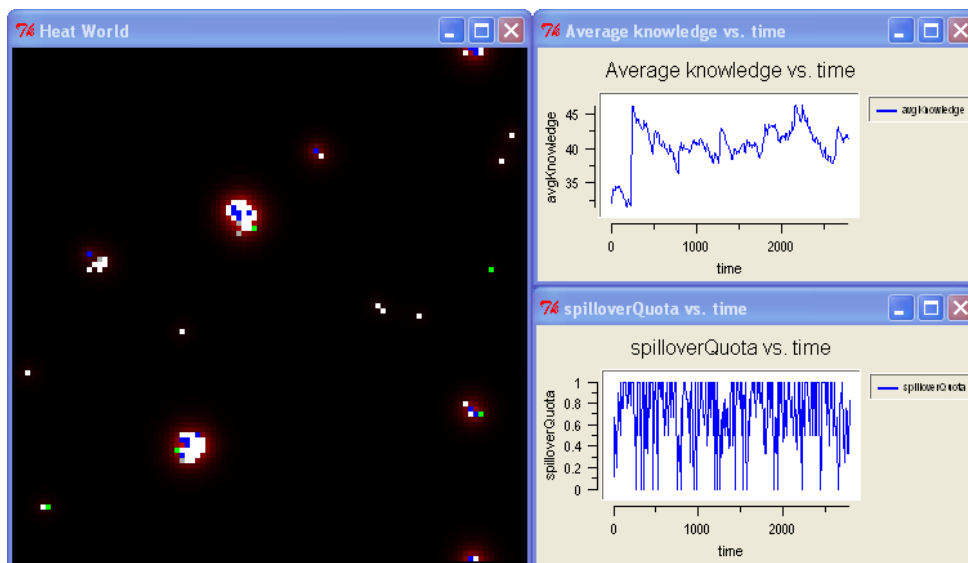


Figura 11 – L'output video di Clusterbugs. I punti bianchi rappresentano gli imitatori; i punti blu, gli innovatori; i punti verdi, le imprese che hanno la *possibilità* di diventare innovatori; i punti grigi, le imprese che rischiano di uscire dal mercato; l'alone rosso, la concentrazione dei fattori produttivi.

Considerati i criteri di rilocalizzazione, è facile prevedere che una qualche dinamica agglomerativa emergerà nel corso delle simulazioni, poiché una maggiore concentrazione di fattori produttivi caratterizzerà con buona

probabilità le aree in cui – riprendendo la metafora di *Heatbugs* – un maggior numero di agenti concorrerà a “riscaldare” lo spazio. Questo fenomeno è infatti consapevolmente ricercato: ciò che si vuole osservare non è tanto l'emergenza di cluster in se stessa (la quale caratterizza implicitamente il mondo di *Clusterbugs*), quanto il *modo* in cui tali cluster si costituiscono, si modificano ed eventualmente si dissolvono in relazione alle diverse configurazioni che i processi di apprendimento e di innovazione assumono nel corso delle simulazioni (cfr. par. 2.3).

Da un punto di vista più specificamente tecnico, il modello mantiene la sostanziale architettura di *Heatbugs*, basata su quattro *classi*<sup>84</sup> principali: `HeatSpace`, `Bug`, `ModelSwarm` e `ObserverSwarm`.<sup>85</sup> La prima descrive la distribuzione del calore (dei “fattori produttivi”, nel nostro caso) e la logica che permette agli agenti di “captare” e di generare calore; la classe `Bug` definisce invece le caratteristiche di ogni agente e le azioni che esso può compiere; `ModelSwarm` è infine la classe che provvede a creare (e ad eliminare) le singole *instance*<sup>86</sup> delle classi precedenti, nonché a gestire la “successione degli eventi” e le funzioni statistiche volte a raccogliere i risultati di ogni simulazione. Per quanto riguarda `ObserverSwarm`, si tratta della classe che gestisce i dispositivi di visualizzazione – le finestre della simulazione, i pulsanti dell'interfaccia utente, gli eventuali grafici creati in tempo reale, etc.

Come in *Heatbugs*, inoltre, il mondo con cui gli agenti si relazionano è costituito da due *layer* sovrapposti: il primo strato rappresenta la “griglia spaziale”, all'interno della quale ogni agente può muoversi e occupare una certa posizione (*instance* della classe `Grid2dImpl`); il secondo strato

---

84 Nel linguaggio della programmazione ad oggetti, la “classe” rappresenta la porzione di codice relativa ad ogni oggetto del programma (dove “oggetto” può significare ogni entità che a livello logico è dotata di organicità e di compiutezza: il singolo agente, lo spazio 2D, o anche il “mondo” nel suo complesso).

85 I nomi delle classi a cui si fa riferimento nel paragrafo riprendono – per maggiore chiarezza espositiva – la nomenclatura standard di Swarm; le diciture precisamente utilizzate nel nostro modello sono `HeatSpace`, `Clusterbug`, `ClusterModelSwarm` e `ClusterObserverSwarm`. Vi sono poi tre ulteriori classi “accessorie”: `HeatCell`, `SwarmUtils` e `StartClusterbugs` – quest'ultima finalizzata ad avviare l'esecuzione del modello attraverso la predisposizione di tutti gli “oggetti” necessari.

86 Il termine “instance” definisce la manifestazione contingente di un esemplare della classe.

rappresenta invece la distribuzione del calore nel mondo (*instance* della classe `HeatSpace`, che estende `Diffuse2dImpl`). È dunque in considerazione di queste due diverse dimensioni che ogni agente elabora le proprie strategie comportamentali interagendo con l'ambiente che lo circonda.

Il codice sorgente della simulazione – circa 2.000 righe in formato ridotto e 3.000 in formato esteso<sup>87</sup> – è naturalmente distribuito con licenza *open-source*, così come la quasi totalità delle applicazioni Swarm, e disponibile in formato cartaceo nell'appendice del presente lavoro.

## 4.2.2. Gli obiettivi analitici

L'obiettivo di *Clusterbugs* è indagare le dinamiche di apprendimento e di innovazione in un mondo caratterizzato da un'implicita tendenza agglomerativa, come tipico dei settori ad alto contenuto tecnologico (cfr. par. 3.2.3).

Più precisamente, poiché i nostri principali oggetti di interesse sono la *conoscenza* e l'*innovazione*, ciò che *Clusterbugs* si propone di analizzare è anzitutto il rapporto che lega i processi conoscitivi ed innovativi alle dinamiche di localizzazione e di agglomerazione delle imprese.

In altri termini si è interessati a *scoprire*, attraverso il modello, l'esistenza di connessioni inattese tra i fenomeni indagati: l'aspirazione di *Clusterbugs*, così come di ogni altro modello di simulazione, è rilevare l'emergenza di risultati controintuitivi, o comunque non immaginabili a priori, a partire dai quali formulare *ipotesi interpretative* che gettino le basi per ulteriori indagini più specifiche. L'architettura del modello è inoltre predisposta per studiare le dinamiche agglomerative, innovative e di apprendimento in termini generali,

---

87 La differenza tra le due versioni risiede nella modalità di *indentazione* del codice: la forma estesa prevede un maggior numero di “a capo” per semplificare la lettura del codice eliminando la necessità di effettuare lo *scrolling* orizzontale della pagina.

senza fare riferimento a specifici contesti reali.

Da tali premesse deriva che non ci si pone dinanzi al modello con l'obiettivo di verificare specifiche ipotesi definite ex ante, né si pretende di raccogliere – attraverso le simulazioni – dati precisi e incontrovertibili a partire dai quali formulare considerazioni definitive circa i fenomeni di interesse. Si tratta piuttosto di *osservare* il comportamento del mondo artificiale, costruito sulla base di uno specifico quadro teorico, per ricavarne degli utili stimoli di riflessione, in un'ottica strettamente esplorativa.

Variando i diversi parametri del modello si è così cercato di indagare l'entità delle relazioni che intercorrono tra una variabile indipendente – costituita dalla puntuale configurazione del “mondo” – e una serie di variabili dipendenti, come il valore della conoscenza media della popolazione, l'efficacia dell'apprendimento, la modalità di apprendimento più diffusa, la turbolenza del mercato, il successo delle “idee innovative”, la quantità dei cluster che si costituiscono e la loro stabilità nel tempo.

Nella fattispecie, la conduzione delle simulazioni è stata articolata in due momenti successivi: anzitutto, una volta ultimata la programmazione dei *processi*, i diversi parametri del modello sono stati calibrati in modo da riprodurre una situazione realistica (in termini di dinamicità delle imprese, rapporto tra “spillover puro” e “baratto conoscitivo”, tasso di *turn-over* della popolazione di imprese, etc.); tali impostazioni hanno quindi costituito il nostro *benchmark*. A questo punto si è proceduto manipolando sistematicamente alcuni parametri, in modo da osservare il comportamento del modello in presenza di otto “condizioni estreme”:

1. **Mercato più selettivo.** In questo caso si ipotizza uno scenario in cui la competizione tra le imprese è particolarmente forte (per esempio per l'esistenza di economie di scala, che privilegiano pochi competitor di grandi dimensioni, in presenza di una forte concorrenza proveniente dall'estero o di una domanda di mercato in calo), per cui ogni attore – per restare nel mercato – deve essere obbligatoriamente più efficiente



della media. Tale condizione è stata modellata attraverso l'incremento del parametro `minKnowledgeParam` che, moltiplicato per il valore medio della conoscenza nel mondo, determina la soglia di sopravvivenza.

2. **Maggiore efficacia del learning by doing.** A questo proposito ci si riferisce ad un contesto in cui le imprese attivano dei processi interni di organizzazione della conoscenza che permettono di formalizzare e di condividere il sapere maturato attraverso l'esperienza, in modo da ottimizzarne la diffusione all'interno dell'organizzazione. Da un punto di vista tecnico, per testare questa condizione è stato predisposto un ciclo di simulazioni con un valore del parametro `learnBDEfficacy` sensibilmente maggiore rispetto al benchmark.
3. **Maggiore costo di spostamento.** In accordo ai contributi della *New Economic Geography*<sup>88</sup>, si ipotizza un contesto in cui i *costi di trasporto* tendano a crescere per il fatto che la concentrazione spaziale delle attività produttive ed innovative porta con sé un incremento dei prezzi dei fattori immobili locali (terreno, risorse naturali, stipendi) e dei beni, nonché una serie di esternalità negative legate alla congestione del traffico o alla crescita del livello di inquinamento. In altre parole, si tratta di un contesto caratterizzato da minori spinte all'agglomerazione – ovvero in cui la “forza centrifuga” tende a controbilanciare quella centripeta. La modifica delle impostazioni del modello, rispetto al benchmark, consiste nell'incremento del parametro `movCost`, appositamente predisposto.
4. **Minore probabilità di invenzione.** In questo caso si intende rappresentare un contesto in cui gli incentivi a formulare nuove ipotesi innovative sono particolarmente scarsi, per esempio per la presenza di una domanda poco elastica rispetto al prezzo<sup>89</sup>, o semplicemente perché la tecnologia attualmente impiegata consente un'efficienza già molto

---

88 Cfr. Krugman-Venables (1996); Ottaviano-Puga (1998); Neary (2001).

89 E' opportuno ricordare, a questo proposito, che l'innovazione modellata in Clusterbugs è un'innovazione di processo, che agisce sui costi di produzione e che, pertanto, può essere percepita dagli acquirenti attraverso una riduzione del prezzo del prodotto finale.

elevata<sup>90</sup>. Il parametro del modello su cui si è intervenuti è `ideasQuota`, che definisce la probabilità con cui ogni agente sviluppa “un'idea innovativa”.

5. **Maggiori difficoltà a realizzare l'innovazione.** Si tratta di uno scenario in cui, pur avendo sviluppato un'invenzione, le imprese incontrano degli ostacoli nel trasformarla in *innovazione*, per il fatto che il regolatore impone dei requisiti più elevati al conseguimento dei brevetti. Di conseguenza, solo le imprese realmente “eccellenti” riusciranno a portare a termine tale processo. Per produrre questo risultato è stato operato un incremento del parametro `innovMinKnowParam` che, moltiplicato per la “conoscenza globale” media, ha determinato un innalzamento del livello di conoscenza richiesto per diventare innovatori.
6. **Maggiore tasso di obsolescenza.** Il riferimento, in questo caso, è ad un contesto tecnologico particolarmente vivace, in cui la conoscenza tecnica e di mercato si svaluta rapidamente. Tale situazione potrebbe riguardare particolari *periodi temporali* così come particolari *settori*. Ciò che interessa studiare è, in generale, la strategia di risposta adottata dallo “sciame” di imprese di fronte ad un accelerato impoverimento conoscitivo – modellato attraverso un incremento del parametro `obsQuota`.
7. **Maggiori dimensioni del mondo.** In questi termini si intende rappresentare, invece, un mondo caratterizzato da un'elevata distanza media tra le imprese, ovvero una regione geografica in cui la domanda può essere soddisfatta da un numero ristretto di fornitori, che tendono a spartirsi il territorio in “aree di influenza”. Si sarebbe potuto, a tale proposito, ridurre semplicemente la numerosità delle imprese (parametro `bugDensity`), ma in questo caso i risultati sarebbero stati difficilmente comparabili con il benchmark. Per tale motivo si è

---

90 Ci si riferisce alla condizione in cui il sistema economico sia giunto nelle ultime fasi di sviluppo di un paradigma tecnologico, per cui è sempre più difficile realizzare innovazione incrementale e non si intravedono ancora innovazioni radicali tali da determinare l'emergenza di un nuovo paradigma (Dosi, 1982).

preferito considerare le “stesse” imprese collocate in una regione più estesa. Da un punto di vista tecnico, questa condizione è stata programmata raddoppiando il valore dei parametri `worldXSize` e `worldYSize`, e riducendo la `bugDensity` in modo da mantenere una numerosità della popolazione analoga a quella del benchmark.

8. **Assenza di “spillover puro”.** L'ultima condizione a cui è stato sottoposto il modello è uno scenario caratterizzato dalla tutela assoluta della proprietà intellettuale e da una totale appropriabilità dell'innovazione; in altri termini, un mondo ipotetico in cui il regolatore sia riuscito a proteggere completamente il sapere innovativo eliminando qualsiasi forma di spillover (cfr. par. 3.4). È una condizione particolarmente radicabile, che potrebbe riferirsi ad una legislazione estrema di difesa del diritto di proprietà intellettuale – in direzione sostanzialmente contraria al mondo open-source, copy left, etc. Tecnicamente, tale effetto è stato ottenuto disattivando l'intera porzione di codice che gestisce la capacità dei bug di apprendere attraverso la pura imitazione (cfr. par. 4.2.5.3).

### 4.2.3. Interpretare il modello

Perché rappresentare l'oggetto di studio proprio in questi termini? Nel costruire il modello non sono state inserite delle distorsioni della realtà?

Domande come queste sono inevitabilmente emerse nel corso della ricerca, incentivando il confronto con esperti di simulazione ad agenti nell'ambito delle scienze sociali<sup>91</sup>. Va detto, inoltre, che un processo di auto-interrogazione ha accompagnato l'intera fase di sviluppo del modello, poiché ogni step implementativo ha sollevato l'esigenza di operare delle scelte fra molteplici alternative metodologiche.

---

91 Ci si riferisce in particolar modo a Pietro Terna e alla classe di studio dei dottorandi in Cultura e Impresa, da lui gestita, nonché a Flaminio Squazzoni, Riccardo Boero e Matteo Morini, che mi hanno fornito feedback precisi e puntuali in ogni occasione di confronto.

Rimandando al secondo capitolo per una trattazione del più ampio problema della *validazione del modello*, si intendono indicare, in questa sede, alcune “chiavi di lettura” che si è ritenuto opportuno adottare nell'osservazione del modello, e che costituiscono delle *condizioni interpretative generali* entro le quali il modello stesso risulta plausibile e rappresentativo di una realtà concreta, nonostante un'apparente “incompatibilità di base” tra i due mondi – reale e virtuale. Si tratta, in particolare, di considerazioni relative al *tempo* e allo *spazio* della simulazione.

### 4.2.3.1. Il tempo

Il tempo di ogni simulazione è scandito da unità discrete (*tick*), che si susseguono ad una certa velocità (anche diverse decine di tick al secondo, in base alla potenza di calcolo dell'elaboratore), e in ognuno dei quali ogni agente mette in atto un certo comportamento<sup>92</sup>. Lo stesso concetto di “unità di tempo” presuppone il fatto che, in quel periodo, qualcosa *debba accadere*: se si volessero inserire dei tick in cui *per definizione* non deve accadere nulla, tanto varrebbe – ai fini analitici – estendere semplicemente la durata di ogni periodo della simulazione (ovvero il significato temporale associato ad ogni tick).

In *Clusterbugs*, per esempio, accade molto spesso che qualche impresa decida di trasferirsi in un'altra zona del “mondo”; il che potrebbe sembrare poco plausibile, se rapportato alla realtà economica che il modello si propone di indagare. Bisogna tuttavia considerare che la definizione di una precisa corrispondenza tra “tempo reale” e “tempo simulato” non è sempre necessaria.

---

92 Il riferimento è non solo ai fenomeni esteriori/visibili – come lo spostamento di un agente nello spazio – ma anche alle modificazioni dei livelli di conoscenza, o del livello di “confidenza” tra gli agenti, o ancora a semplici valutazioni del mondo circostante, che *potrebbero* determinare una scelta di azione; ogni aspetto del modello è infatti sottoposto a continue modifiche, senza momenti di stasi, di immobilità.

In realtà, gran parte dei modelli che si è avuto modo di analizzare<sup>93</sup> non pretende infatti di mappare “1 a  $n$ ” lo svolgimento di una particolare situazione reale; al contrario, si cerca tendenzialmente di rappresentare un *trend*, seguendo la tradizionale meccanica “what if...?” – “Quali sono i possibili scenari che possono derivare da una certa configurazione del mondo?”<sup>94</sup> Una precisa identificazione del tempo della simulazione perde quindi relativamente importanza, poiché il succedersi di un maggior numero di tick rappresenta non tanto la possibilità di osservare l'evoluzione temporale *di un particolare mondo reale*, quanto un sistema per considerare un più ampio *spettro di possibilità di sviluppo* di un certo fenomeno, data una certa correlazione tra le variabili considerate.

Si ritiene, inoltre, che il tempo della simulazione sia un tempo fortemente simbolico, finalizzato a rappresentare “tutti gli istanti in cui accade qualcosa”. Il fatto che in ogni istante il mondo simulato subisca delle trasformazioni rilevanti non va quindi considerato come una forzatura, perché nella simulazione vediamo *solo* quei particolari momenti, escludendo dal nostro campo visivo tutti quelli in cui non succede nulla – proprio perché tali situazioni risultano di scarso interesse per il ricercatore.

In questi termini può essere utile pensare alle simulazioni ad agenti come a una partita a carte. Il meccanismo dei tick rappresenta allora ogni “mano” del gioco, nel corso della quale ciascun giocatore – a turno – valuta la situazione e mette sul tavolo la propria carta, proprio come ciascun agente della simulazione aspetta il suo turno, in ogni tick, per osservare lo stato del mondo e agire di conseguenza.

Con questo non si intende assolutamente sostenere che sia sbagliato, o inutile, impostare il modello in modo da rispecchiare in qualche maniera

---

93 Cfr. Boero e Squazzoni, 2004; Ietri e Lamieri, 2004; Fioretti, 2002; Faria, 2004; Giansante e Parisi, 2005.

94 In tal senso, come argomentato nel capitolo 2, si richiama implicitamente la riflessione condotta da Friedman (1953) riguardo all'utilità analitica di considerare la realtà “come se” funzionasse in un certo modo; una prospettiva peraltro largamente diffusa in economia.

il reale decorso temporale del fenomeno indagato. Ciò è possibile e sicuramente, in certi casi, auspicabile. Si ritiene, piuttosto, che tale corrispondenza non costituisca una condizione indispensabile per affermare la validità analitica di un modello ad agenti.

D'altra parte bisogna considerare che da un tale approccio derivano problemi tecnici non indifferenti. In un'ottica fortemente pragmatica, al fine di garantire la plausibilità del mondo artificiale, bisognerebbe in questo caso modellare *ogni processo* della simulazione nel rispetto della proporzione temporale individuata, il che comporterebbe due ordini di problemi: da una parte, l'intera implementazione del modello dovrebbe essere condizionata alla conduzione di survey sulla dimensione temporale di ogni fenomeno (per esempio, la “vita media” delle imprese, i tempi medi di maturazione delle idee innovative, la durata media di ogni ciclo economico, la durata media del processo decisionale che precede lo sforzo rilocalizzativo, etc.); dall'altra parte, adottando per esempio una proporzione di sei mesi “reali” per ogni tick “virtuale”, la simulazione potrebbe durare al massimo qualche decina di tick, e i risultati analitici che si possono trarre da una simulazione così breve potrebbero essere poco significativi. In termini pratici, si potrebbe osservare un numero estremamente ridotto di rilocalizzazioni e di trasferimenti conoscitivi, che – seppure probabilmente “realistico” – risulterebbe con altrettanta probabilità insufficiente per trarre delle considerazioni rilevanti sulle dinamiche oggetto di studio – anche perché l'influenza della casualità, in un tempo di simulazione così limitato, è molto rilevante.

L'elemento casuale è fondamentale in ogni modello di simulazione ad agenti: l'assenza di una costruzione deterministica rappresenta infatti la condizione elementare per poter osservare l'emergenza di nuovi fenomeni. Ad esempio, in *Clusterbugs* la collocazione iniziale delle imprese nello spazio è casuale (poiché, come vedremo, tale spazio è privo di una precisa correlazione geografica), così come – entro certi limiti – la dotazione iniziale delle conoscenze di ognuno; non possono quindi essere individuate a priori le probabilità di apprendimento di ogni singolo agente. Ed è

importante che sia così, per non costringere il modello entro vincoli di rappresentatività troppo stringenti<sup>95</sup>: a che cosa servirebbe *Clusterbugs*, se ogni aspetto del mondo fosse definito a priori? Sarebbe probabilmente più proficuo, in tal caso, utilizzare un sistema di equazioni!

Ad ogni modo, se è vero che nel corso della simulazione i criteri di scelta degli agenti condizionano lo sviluppo l'evoluzione del mondo interagendo con la casualità (o *reagendo* ad essa), è anche probabile che un tempo di simulazione ridotto comporti una maggiore rilevanza dell'elemento casuale. Ad esempio, su poche decine di tick, l'iniziale distribuzione casuale delle imprese sul territorio influirà parecchio sulle loro opportunità di scambiare conoscenza.

Va anche detto, per contro, che la concezione di un tempo puramente simbolico rischia di sottostimare la dimensione temporale dei fenomeni indagati, limitando in certi casi la rappresentatività del modello – ovvero la possibilità di estendere al contesto reale le considerazioni elaborate sugli output della simulazione.

Le problematiche – pratiche e metodologiche – connesse all'adozione di una particolare concezione del tempo sono insomma molteplici, e la soluzione del dilemma non può essere unica e universale. In generale, il significato e l'importanza da associare al tempo della simulazione devono dipendere dall'oggetto di studio e dalle finalità esplorative di ogni singolo modello: se il fenomeno è indagato a un livello astratto, allo scopo di trarre delle considerazioni generali sulle sue dinamiche, non è allora indispensabile creare corrispondenze con il tempo reale – i tick sono in tal caso “una sequenza di eventi”, una mano della partita a carte. Se invece si intende ragionare sui fondamenti micro di una precisa struttura macro, spazialmente o quantomeno temporalmente definita, è allora preferibile interrogarsi sul “valore” di ogni tick<sup>96</sup>.

---

95 Costruendo il modello in termini spiccatamente probabilistici si rischia, insomma, che esso permetta di formulare delle considerazioni *solo* relativamente a quel particolare mondo artificiale, la cui evoluzione è vincolata da logiche e valori definiti esogenamente.

96 Se ringrazia ancora una volta Pietro Terna per gli interessanti spunti che ha fornito anche nell'ambito di questa riflessione sul tempo simulato.

### 4.2.3.2. Lo spazio

Lo spazio di *Clusterbugs*, così come quello di *Heatbugs*, consiste in una “griglia” bidimensionale composta da righe e colonne, in cui la posizione di ogni agente è identificata da una coppia di coordinate relative all'asse delle ascisse e a quello delle ordinate.

Come tipico dello spazio 2D di Swarm, inoltre, il mondo rappresentato dal modello è considerato come un *toroide*, ovvero una figura tridimensionale ad anello (fig. 12) che ha la caratteristica di eliminare i limiti esterni dello spazio considerato: è come se la griglia fosse “spalmata” sulla superficie dell'anello, per cui ogni agente, spingendosi oltre un estremo della griglia, riapparirà all'estremo opposto.

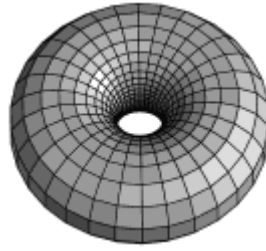
Il motivo per cui è stato adottato tale criterio di figurazione del mondo consiste nel fatto che, in base ad esso, *ogni cella è equivalente alle altre*, quanto a possibilità di movimento e di visibilità: ovunque si trovi, l'agente può “guardarsi attorno” e spostarsi nelle quattro direzioni! In questo modo si elimina una probabile fonte di distorsione dei risultati, altrimenti dettata dalla presenza di limiti invalicabili che condizionerebbero inevitabilmente il comportamento degli agenti<sup>97</sup>.

Non essendo il modello relativo ad un'area geografica particolare, e non essendo peraltro possibile rappresentare la conformazione reale di un certo territorio (la griglia deve avere obbligatoriamente una forma rettangolare), piuttosto che rappresentare dei vincoli territoriali inesatti è dunque preferibile non fissarne affatto: ecco perché una costruzione “libera”, come quella del *toroide*, risulta ottimale.

---

97 Per esempio, la presenza di margini invalicabili attribuirebbe ad ogni agente posto agli estremi del mondo – il quale resta comunque un mondo simbolico – una “speranza di vita” dimezzata: l'agente avrebbe la possibilità di cercare una cella “migliore” in due sole direzioni su quattro. Si tratterebbe quindi di un'arbitraria manipolazione dei possibili scenari di sviluppo, priva peraltro di un preciso significato analitico.





---

Figura 12 – Rappresentazione tridimensionale del mondo di Clusterbugs

Ciò che contraddistingue lo spazio di *Clusterbugs* è però il duplice significato che esso può assumere. La griglia in cui le imprese interagiscono può essere infatti interpretata non solo nei termini di uno spazio geografico, ma anche in quelli di uno spazio metaforico “tecnosettoriale”. Sono state anzi impostate due distinte versioni del modello – denominate *GeoClusterbugs* e *TechnoClusterbugs* – che differiscono precisamente nella gestione delle problematiche spaziali.

#### **4.2.3.2.1. Dimensione geografica**

*GeoClusterbugs* è la versione del modello che considera le imprese ed i fattori produttivi nella loro collocazione territoriale. Si tratta della concezione del mondo più immediata e intuitiva, per cui la posizione di ogni agente è identificata attraverso coordinate geografiche latitudinali e longitudinali ( $x$  e  $y$ ) e lo stesso movimento degli agenti rappresenta spostamenti *fisici* delle imprese nel territorio.

Anche le relazioni di prossimità tra gli agenti vanno intese in senso geografico: il “campo visivo” descrive da un lato l'area entro cui l'impresa è disposta a trasferirsi (tendendo in ogni caso a spostarsi sulla lunga distanza piuttosto che in una cella adiacente, poiché è poco probabile che si sostengano dei costi di rilocalizzazione per migrare in un'area immediatamente adiacente) e, dall'altro, la

massima estensione territoriale rispetto a cui è adeguatamente informata.

La costituzione di cluster imprenditoriali ha quindi un preciso significato geografico, così come il fatto che la conoscenza venga trasmessa e scambiata solo all'interno di un'area circoscritta:

“The position that some knowledge is diffused only through face-to-face interactions is consistent with the work of Jaffe et al. (1993) on patent citation, in which patent citation is shown to be a geographically localized phenomenon. There are several possible explanation for this, but one is that there is some knowledge that is not being globally diffused.” (Cowan e Jonard, 1999, p.4)

#### **4.2.3.2.2. Dimensione tecno-settoriale**

*TechnoClusterbugs* è per ora un progetto, un'idea interessante che richiede tuttavia un'ulteriore sistematizzazione per giungere alla definizione di un mondo plausibile anche in una prospettiva non-geografica; le principali direttive di sviluppo, nondimeno, sono già state delineate. In questa versione del modello ogni impresa sarà considerata nella sua collocazione lungo due dimensioni metaforiche: un asse *settoriale* ed un asse *tecnico*. Si tratta insomma di immaginare da una parte un continuum di settori, ordinati in base al grado di affinità (per esempio l'industria dei computer assemblati, dei circuiti stampati, delle componenti elettroniche, della produzione di silicio, etc.) e dall'altra parte una successione di tecniche produttive (per esempio le diverse tecniche di produzione del silicio), ordinate anche in questo caso secondo un criterio di affinità.

In questa versione si considera dunque ogni impresa come appartenente ad un certo *settore* e specializzata in una certa *tecnica produttiva*. Nel corso della simulazione essa potrà spostarsi nelle due direzioni, specializzandosi in una nuova tecnica o modificando il

proprio settore produttivo.

Da un punto di vista implementativo, la differenza fondamentale rispetto a *GeoClusterbugs* risiede nel fatto che qui gli agenti si sposteranno gradualmente, una casella per volta, poiché l'impresa tenderà a modificare la propria organizzazione in favore di una soluzione che – pur essendo diversa da quella attuale – permetterà di valorizzare gran parte delle risorse accumulate. È ad esempio più probabile che un'impresa che produce software gestionale decida di riposizionarsi sul mercato convertendosi alla consulenza di *web marketing*, piuttosto che migrando direttamente verso la produzione di componenti elettroniche: se quest'ultimo mercato fosse di reale interesse per l'impresa, la “distanza settoriale” – e la conseguente impossibilità di valorizzare le risorse accumulate – renderebbe probabilmente preferibile l'avvio di una nuova attività distinta da quella corrente.

Per quanto riguarda la tendenza all'agglomerazione, tale fenomeno assume in quest'ottica un significato particolare: come evidenziano Preissl e Solimene (2003), si tratterebbe dell'emergenza di *sistemi tecnologici/settoriali di innovazione*, ovvero reti di imprese che condividono e scambiano un sapere di tipo tecnologico all'interno di una certa “area settoriale” (cfr. par. 2.2).

Un'ultima considerazione, di ordine tecnico, riguarda la *dimensione* dello “spazio metaforico” modellato. A tale proposito si sta affrontando il problema del significato da attribuire ad ogni cella del mondo: quanto “vale” un'unità settoriale? Il mondo deve essere composto da una quantità maggiore di unità settoriali o di unità tecniche? Il numero di alternative tecniche resta identico per tutti i settori?

E' stata valutata l'ipotesi di costruire una griglia che abbia una *proiezione piana* rettangolare anziché quadrata, attribuendo una

dimensione maggiore all'asse settoriale rispetto a quello tecnico. Probabilmente, però, tale scelta non sarebbe meno arbitraria e approssimativa: sebbene in linea di principio vi sia una minore varietà di “tecniche produttive” rispetto alla quantità di industrie (settori), in base a quale criterio avremmo potuto fissare le due ampiezze? In altre parole, anche in questo caso una soluzione ibrida avrebbe una scarsa consistenza: in futuro si potrebbe concentrare l'analisi attorno ad un ristretto numero di settori, per ognuno dei quali si potrebbe ricostruire una mappa precisa delle possibili tecniche produttive; in questo caso, allora, ogni cella della griglia spaziale ricoprirebbe un significato oggettivo. Tuttavia, non avendo ora a disposizione un'adeguata collezione di dati, fissare le dimensioni spaziali in modo puramente arbitrario non permetterebbe di perfezionare la validità analitica dello strumento.

Come risulta evidente, l'intento di *TechnoClusterbugs* non è quello di fornire delle considerazioni immediatamente estendibili ad ogni realtà settoriale contingente. L'ideazione di questa versione del modello deriva piuttosto dalla curiosità di scoprire differenze evidenti nelle dinamiche di apprendimento e di innovazione rispetto alla versione basata su uno spazio geografico.

#### **4.2.4. La realizzazione**

Il percorso di costruzione del modello ha proposto una serie di biforcazioni, di alternative tra cui è stato necessario operare delle scelte. Talvolta la via migliore è stata individuata con facilità; altre volte la scelta ha dovuto basarsi su un criterio di opportunità (e spesso, in questi casi, è stato necessario fare marcia indietro per riprendere il cammino da capo).

In altre parole, sebbene il prodotto finale risulti un valido strumento di indagine, il suo sviluppo non è stato privo di ostacoli... e di qualche piccolo incidente.

Sebbene questo tipo di simulazione sia uno strumento conoscitivo *di per sè* esposto a un'ampia varietà di problematiche – di ordine matematico, informatico, economico, progettuale – è in realtà nel suo aspetto metodologico che si celano probabilmente le maggiori difficoltà.

L'impressione tratta da quest'esperienza è che la modellazione ad agenti, essendo uno strumento estremamente innovativo e flessibile, rischia di sfuggire al controllo del ricercatore così come una potente auto sportiva tende a incoraggiare comportamenti poco prudenti.

È insomma facile lasciarsi trasportare dalla “macchina ingegneristica” che conduce allo sviluppo del modello, seguendo l'impulso a procedere per tentativi, programmando, uno dopo l'altro, una serie di processi finalizzati principalmente a “correggersi” e compensarsi a vicenda, per ottenere l'effetto aggregato desiderato (per esempio, un aumento del numero medio di cluster).

Un processo di questo tipo, in realtà, può condurre a due risultati contrapposti, e tuttavia separati da una barriera molto sottile. Da un lato, come illustrato nel capitolo 2, un tale meccanismo di “modifica incrementale” potrebbe consentire di *utilizzare il modello per comprendere la realtà* (come ci ha suggerito Pietro Terna, questa è la fase in cui non si fa un programma perché si è capito, ma si capisce perché si fa un programma). In altre parole, osservando un comportamento imprevisto del modello (ad esempio un'improvvisa “frenesia” nel movimento degli agenti), si è costretti a riflettere sulle motivazioni di tale risultato, ovvero sul perché il modello non si comporti come la realtà che esso intende rappresentare. Si è dunque portati ad approfondire le dinamiche che sottendono il fenomeno reale, al fine di programmare nel modello dei meccanismi che consentano di avvicinarsi progressivamente ad esso – non già inventandoli, ma *derivandoli* dalla realtà oggetto di studio.

Un fatto interessante, a questo proposito, riguarda la modellazione di *Clusterbugs*. Uno dei primi problemi che si sono dovuti affrontare consisteva nel fatto che tutti gli agenti venivano eliminati entro le prime decine di tick.

Riflettendo sulle ragioni del fenomeno, si è scoperto che esso derivava dal meccanismo di apprendimento che era stato modellato, il quale era inizialmente dotato di *sensibilità* illimitata: bastava che un individuo avesse una conoscenza minimamente superiore a quella del vicino affinché questi potesse apprendere, avvicinandosi progressivamente al “maestro”. Tale meccanismo, che non sembrava in sè particolarmente “pericoloso”, conduceva tuttavia alla morte dei bug, perché l'intera popolazione diventava progressivamente *omogenea*<sup>98</sup> e perdeva, di conseguenza, la possibilità di imparare abbastanza da contrastare l'obsolescenza conoscitiva: nessun agente poteva più riferirsi ad una “fonte di sapere” che gli permettesse di incrementare la propria conoscenza in modo rilevante. Il modello ha quindi permesso di realizzare che un mondo omogeneo, privo di divari conoscitivi, non è auspicabile, né praticabile. Sebbene si tratti di una considerazione piuttosto intuitiva, il modello ha di fatto consentito di focalizzare l'assoluta rilevanza di tale premessa: l'introduzione di un “gap minimo” per assimilare conoscenza ha infatti permesso al sistema di mantenere un equilibrio dinamico<sup>99</sup>.

Il processo di “correzione progressiva” del modello può tuttavia diventare pericoloso: si rischia infatti di lasciarsi guidare da una prospettiva puramente *induttiva*, finalizzata a “giustificare” teoricamente gli interventi messi in atto di volta in volta per “rappezzare” i problemi contingenti del programma. Si rischia insomma di procedere in modo inverso rispetto a quanto auspicabile: invece di correggere il modello per renderlo più affine alla realtà, si tende a cercare affannosamente un'evidenza reale in grado di legittimare le modifiche apportate al codice. In questo modo è facile perdere di vista il *pattern teorico* da cui il modello è partito, e al quale dovrà inesorabilmente tornare.

La costruzione di un modello ad agenti è, in definitiva, un processo estremamente complesso, che sottopone al ricercatore una serie di

---

98 Si intende qui una sostanziale omogeneità rispetto ai livelli di conoscenza.

99 Come spiega peraltro Dosi, la creazione di asimmetrie tra imprese costituisce una premessa fondamentale per lo sviluppo, in quanto le differenze inter-impresa sono alla base della struttura di benefici o guadagni differenziali che costituisce il “premio” della competizione innovativa (Momigliano-Dosi, 1983).

problematiche tecniche e metodologiche di cui occorre essere consapevoli per preservare la validità scientifica della simulazione.

Proprio come racconta *Clusterbugs*, la padronanza di questo strumento di indagine deriva da una conoscenza difficilmente codificabile, maturata attraverso processi di *learning by doing* e trasmissibile prevalentemente attraverso interazioni faccia-a-faccia. Bisogna infatti riconoscere che le principali fonti di “illuminazione” in merito alla *logica* dei modelli ad agenti sono state senza dubbio le conversazioni informali con gli esperti, al bar o in auto, o durante il break di qualche convegno. È però attraverso lo stesso sviluppo di *Clusterbugs* che si è stati *costretti* a muovere i primi passi in modo autonomo, in un ambiente ancora parzialmente oscuro, eppure sempre più ospitale e intelligibile, così da maturare una visione sempre più consapevole delle effettive potenzialità dello strumento e dei requisiti che esso deve soddisfare per conseguire un'oggettiva efficacia conoscitiva.

In particolare, vi sono tre fondamentali norme implementative che sono emerse nel corso dell'esperienza di *Clusterbugs*, e che può essere utile formalizzare in questa sede:

1. Anteporre alla realizzazione del modello un'accurata fase di *progettazione*, volta ad esplicitare in termini funzionali ogni aspetto che dovrà caratterizzare il mondo virtuale; questa prassi operativa costringe il ricercatore a verificare la coerenza delle singole componenti e la “tenuta” complessiva del modello – evitando di comporre il programma come un *puzzle* infinito, in cui ogni tassello richiede un pezzo complementare.
2. Mantenere un legame evidente e sistematico con la *realtà di riferimento* lungo tutta la progettazione del modello: ogni processo modellato deve avere una chiara e plausibile giustificazione tratta dall'osservazione empirica della realtà, o da solide costruzioni teoriche.
3. Stabilire – sempre in base a rilevazioni empiriche o ad assunti teorici – delle *correlazioni tra le variabili* utilizzate nel modello. In concreto, ciò

significa stabilire *ex ante* delle relazioni di interdipendenza tra alcune variabili, in modo da tenere “sotto controllo” determinate co-variazioni e ridurre, di conseguenza, la complessità dell'analisi finale sugli scenari emergenti dalla simulazione.

Il rispetto di queste semplici regole costituisce una condizione fondamentale – sebbene certamente non esaustiva – per costruire un modello che possa essere validamente impiegato nella verifica di ipotesi interpretative sulla realtà oggetto di studio.

#### **4.2.5. L'assetto finale**

Come credo sia emerso dalla sua illustrazione introduttiva, *Clusterbugs* si discosta sensibilmente, nel suo assetto finale, dal modello *Heatbugs* che ne ha costituito il punto di avvio.

Passo dopo passo, l'applicazione ha maturato una struttura autonoma e distinta, pur mantenendo intatta la concezione di un mondo popolato da agenti dotati di razionalità limitata, in interazione fra loro, e basato sulla ricerca e sull'alimentazione di una risorsa deperibile: il *calore* nel caso *Heatbugs* e i *fattori produttivi* nel caso *Clusterbugs*.

Nei prossimi paragrafi si cercherà di riassumere le caratteristiche finali del modello, con riferimento alle sue principali direttive di sviluppo: le dinamiche di nascita di nuove imprese, di eliminazione delle imprese meno “efficienti”, di organizzazione della conoscenza (apprendimento/obsolescenza), di innovazione, di rilocalizzazione.



### 4.2.5.1. L'ingresso nel mercato

Quando avviene la nascita di nuove imprese?

La decisione circa la distribuzione temporale delle nascite viene presa all'inizio di ogni *era tecnologica*.

Il concetto di *era* rappresenta una dimensione temporale che, in aggiunta ai consueti *tick*, concorre a scandire il tempo della simulazione. Ogni *era* – la cui durata oscilla di volta in volta attorno ai  $200 \pm 20\%$  *tick* – rappresenta l'avvento di un nuovo “stadio tecnologico”, ovvero l'inizio di una nuova fase dello sviluppo tecnico e scientifico che consente lo sviluppo di nuove *invenzioni* e il successo di *nuove iniziative imprenditoriali*.

È in tale momento che, nel modello, si decide quando e in che modo avverrà l'ingresso di nuove imprese nel mercato:

- Con l'80% di probabilità, le imprese entreranno nel mercato in modo graduale, distribuite nei diversi *tick* dell'era corrente.
- Con il 20% di probabilità, le imprese nasceranno tutte nello stesso istante, nel primo *tick* dell'era corrente, in modo da rappresentare le situazioni in cui l'avvento di una nuova tecnologia *competence destroying*<sup>100</sup> determina un'improvvisa possibilità di successo per “nuovi talenti”<sup>101</sup>.

Quante nuove imprese faranno il loro ingresso?

Il numero delle imprese “neo-nate” è definito (al principio dell'era o in ogni sua unità di tempo, a seconda dei casi) dalla seguente funzione:

$$\text{nuoviNati} = [\text{bugsAttuali} * (\text{maxBugs} - \text{bugsAttuali}) / \text{maxBugs}] * [0 > n > 1]$$

---

100 Si tratta di tecnologie che richiedono lo sviluppo di competenze radicalmente *nuove*, svalutando di conseguenza le esperienze pregresse.

101 La nascita contemporanea di un certo numero di imprese ha l'effetto di agevolare la formazione di nuove agglomerazioni, anche in presenza di cluster già stabiliti.

Il che significa che la popolazione di imprese ha una soglia massima (`maxBugs`) fissata esogenamente. Per gestire delle simulazioni di durata indefinita è infatti necessario un meccanismo che garantisca un sostanziale equilibrio tra le “nascite” e le “morti”. Poiché in *Clusterbugs* il mercato non è modellato esplicitamente, tuttavia, non è possibile legare tale equilibrio ad una *funzione di domanda*; di conseguenza è stato necessario programmare esogenamente una reintegrazione della popolazione, sebbene anche in questo caso il raggiungimento del “tetto massimo” non venga imposto meccanicamente, ma sia il risultato di una funzione probabilistica<sup>102</sup>.

Una volta determinato il numero delle imprese “neo-nate”, queste vengono generate seguendo due criteri differenti:

- il 50% degli agenti sarà costituito da *absolute beginner*: gli agenti compariranno in un luogo estratto del tutto casualmente fra quelli disponibili, e saranno dotati di un corredo di conoscenze anch'esso casuale ( $0.1 < \text{KnowA}_i < 10$  e  $0.1 < \text{KnowB}_i < 10$ );
- il restante 50% degli agenti sarà costituito da *spin-off*: in questo caso le imprese saranno collocate nelle vicinanze “dell’impresa madre” ed erediteranno da essa parte della loro dotazione di conoscenze (uno dei due livelli sarà identico a quello del “genitore”, mentre l'altro sarà calcolato random, tra 0.1 e 10).

Il secondo criterio di “nascita” solleva un'ulteriore questione: quali imprese genereranno gli *spin-off*?

La selezione dei possibili “genitori” avviene sulla base del patrimonio conoscitivo: si presuppone che solo le imprese più performanti siano in grado di sostenere l'attivazione di una nuova attività imprenditoriale; e sappiamo che in *Clusterbugs* le performance sono determinate

---

<sup>102</sup> In ogni era tecnologica vi è una certa *probabilità* che nascano nuove imprese, proporzionale al tasso di mortalità; il raggiungimento del valore-soglia non sarà dunque garantito con certezza matematica (nel corso delle rilevazioni risulta, anzi, piuttosto raro).

direttamente dalla dotazione di conoscenze. Si tratta quindi di definire una soglia minima di conoscenza che ogni agente deve possedere per entrare nella lista dei *possibili* genitori (`possibleParentList`). Dopodiché, da questo gruppo verranno estratti gli effettivi genitori: ogni agente avrà una certa probabilità di generare uno *spin-off*, derivante dal quoziente tra la quantità totale degli *spin-off* (calcolata precedentemente) e il numero di membri della lista.

#### 4.2.5.2. L'uscita dal mercato

Ogni impresa, se “inefficiente”, rischia di uscire dal mercato. Questa condizione è stata modellata in *Clusterbugs* in riferimento al livello totale delle conoscenze di ogni impresa, il quale incide direttamente – nella nostra rappresentazione semplificata – sui costi di produzione, modificandoli in modo inversamente proporzionale al proprio incremento (cfr. par 4.2.1).

In particolare, è stata introdotta una *soglia minima* di conoscenza (`minKnowledge`), definita sulla base della *conoscenza media* all'interno del mercato (poiché l'efficienza della singola impresa non è determinabile se non in relazione ai suoi competitors), a cui viene sottratta una certa quota (modificabile di volta in volta dal ricercatore, per rendere il mercato più o meno selettivo) del *coefficiente di variazione* della conoscenza nel mondo:

```
minKnowledge = avgKnowledge - (minKnowledgeParam*knowVarCoeff)
```

Di conseguenza risulta inefficiente l'agente che non riesce a superare tale soglia conoscitiva, ovvero l'impresa che non riesce a ridurre i propri costi di produzione in modo analogo alla media dei propri concorrenti.

L'eliminazione delle imprese, ad ogni modo, non è immediata. Per uscire dal mercato ogni agente deve restare “inefficiente” per un certo periodo di

tempo: nel modello viene sostanzialmente avviato un “conto alla rovescia”, il quale viene azzerato ogni volta che l'impresa raggiunge la conoscenza minima richiesta<sup>103</sup>.

Il tempo massimo di sopravvivenza al di sotto della `minKnowledge` è definito dal parametro `bugHardiness`, fissato a priori dal ricercatore e, per default, pari a 250 tick.

Ad ogni modo non tutte le imprese escono dal mercato solo se inefficienti. Il modello prevede infatti una certa (per quanto ridotta) probabilità che ogni impresa faccia bancarotta per motivi indipendenti dalle proprie performance conoscitive (per via di errate scelte finanziarie, di controversie legali, di precise scelte imprenditoriali...).

### 4.2.5.3. L'organizzazione della conoscenza

La dotazione di conoscenze di ogni impresa è sottoposta a continui mutamenti, ad opera di due forze contrapposte: l'*apprendimento* e l'*obsolescenza* – fenomeno, quest'ultimo, che riguarda in modo particolare i settori ad alta tecnologia, oggetto della nostra indagine.

Per comodità espositiva, nei paragrafi seguenti si utilizzerà il termine “conoscenza primaria” per designare la tipologia di conoscenza in cui il singolo agente vanta il livello più elevato, mentre la “conoscenza secondaria” consisterà nella tipologia posseduta al livello minore. La corrispondenza con i due tipi di sapere (tecnico e di mercato) non è pertanto definita in modo stabile, ma varierà in relazione alla dotazione conoscitiva di ogni agente.

---

103 Si assume, infatti, che un'impresa possa fare perdite per un certo periodo di tempo senza uscire dal mercato, grazie all'utilizzo della “ricchezza” accumulata nei periodi precedenti e all'avvio di nuove attività che potranno aumentare l'efficienza futura (es. rilocalizzazioni, cfr. par. 4.2.5.5).

#### 4.2.5.3.1. L'apprendimento

In generale, l'apprendimento in *Clusterbugs* può avvenire secondo due diverse modalità: *sociale* e *individuale*. Nel primo caso l'incremento del patrimonio conoscitivo deriverà dall'interazione con altre imprese; nel secondo caso si tratterà, invece, di un apprendimento incrementale sviluppato autonomamente da ogni singolo agente.

##### I. Apprendimento sociale

L'apprendimento sociale avviene in questo modo: ad ogni tick, dopo essersi *eventualmente* spostata (cfr. par. 2.5.5), ogni impresa costruisce una mappa dei suoi “vicini” al fine di scegliere – tra di essi – l'organizzazione con cui stabilire un contatto, nella speranza di apprendere qualcosa dall'interazione. Tale scelta avviene in modo casuale, perché l'impresa non può conoscere *a priori* la dotazione conoscitiva dei “vicini” (e quindi selezionare *il migliore* tra di essi): per verificare le concrete possibilità di apprendimento, ha appunto bisogno di stabilire un contatto<sup>104</sup>.

A questo punto l'impresa confronta il proprio patrimonio conoscitivo con quello dell'interlocutore e, se la differenza di livello *in almeno un tipo di conoscenza* è superiore a un certo valore (“gap minimo”)<sup>105</sup>, l'apprendimento può avere successo: tale conoscenza potrà essere incrementata di un certo valore. L'efficacia del processo di

---

104 Questo è vero anche nel caso in cui l'impresa abbia già comunicato, in passato, con alcuni dei suoi “vicini”, poiché le conoscenze di ognuno sono in continuo mutamento.

105 Come sarà illustrato più avanti, tale gap rappresenta la “differenza conoscitiva” minima affinché gli agenti possano accorgersi delle opportunità di apprendimento derivanti dall'interazione. Come rilevano Preissl e Solimene (2003, p.44), “It often happens that the recipient of a piece of information would not search for it, because he/she had no idea of its existence”.

apprendimento dipende però dall'interesse di entrambi gli attori verso il trasferimento di conoscenza. Sono stati modellati, per questa ragione, due diversi meccanismi di “apprendimento per interazione”: lo *scambio reciproco* e lo *spillover puro*.

- Lo *scambio reciproco*, o “baratto conoscitivo”, può avvenire solo se entrambe le imprese traggono beneficio dall’interazione, e sono perciò interessate ad agevolare il flusso di conoscenza. In questo caso, l'apprendimento da parte di ognuno sarà estremamente efficace. Inoltre, il “gap minimo” tra i livelli di conoscenza dei due attori, richiesto per effettuare lo scambio, decrescerà progressivamente ogni volta che essi interagiranno<sup>106</sup>. In altri termini, la volontà di condividere le conoscenze cresce man mano che le imprese rafforzano i propri legami: intrattenendo delle relazioni sempre più stabili e informali, ciascun attore renderà il proprio patrimonio informativo sempre più trasparente di fronte al “partner”.
- Lo *spillover puro* avviene, invece, quando l’imitatore non ha niente da offrire, ovvero quando un agente possiede livelli inferiori di entrambe le conoscenze. In questo caso l'apprendimento sarà meno efficace, perché l'impresa che genera lo spillover conoscitivo sarà meno disposta ad agevolare il trasferimento di sapere; inoltre l'apprendimento imitativo avrà una certa probabilità di fallire<sup>107</sup>; infine, il “gap minimo” richiesto per imparare (`minGapToSpill`) sarà più elevato e indipendente dal numero di interazioni: non avendo un rapporto privilegiato con l'impresa target, l'imitatore potrà accorgersi della differenza di conoscenza solo quando essa assumerà una particolare evidenza.

---

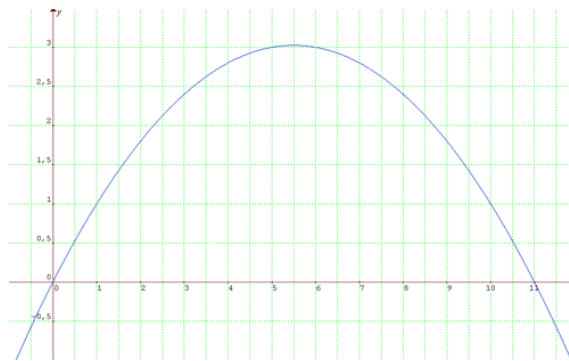
106 Ogni agente mantiene in memoria tutti i soggetti con cui ha scambiato (*barattato*) conoscenza in passato.

107 La percentuale di successo è definita esogenamente attraverso il parametro `spillSuxQuota`, modificabile dal ricercatore nel corso delle simulazioni.

L'incremento delle conoscenze realizzato tramite *scambio reciproco* è determinato in questo modo:

```
knowIncrement =  
[-0.1 * (bestBug.knowX-knowX)2 + 1.1 * (bestBug.knowX-knowX) ]
```

Tale funzione descrive un apprendimento non lineare (fig. 13), la cui efficacia aumenta progressivamente al crescere della differenza di conoscenze, ma solo entro un certo limite. Oltre tale soglia l'efficacia comincia a decrescere, in ragione del fatto che, quando il divario conoscitivo è *troppo marcato*, l'impresa interessata ad apprendere non è tuttavia in grado di sfruttare appieno la grande mole di informazioni resa accessibile dal partner, per via di una sostanziale indisponibilità di un “vocabolario comune” sul quale intendersi.



---

Figura 13 – La funzione dell'incremento conoscitivo

L'efficacia dell'apprendimento esclusivamente imitativo (*spillover puro*) sarà determinata, invece, da una *quota* dell'incremento derivante dalla precedente funzione. Tale quota è definita dal parametro *spillefficacy*, compreso tra 0 e 1, e fissato esogenamente dal ricercatore.

## II. Apprendimento individuale

La seconda modalità attraverso cui ogni impresa può incrementare la propria dotazione di conoscenze consiste in un processo assimilabile al *learning by doing*: il fatto di utilizzare assiduamente una certa conoscenza fa sì che essa venga approfondita ed affinata nel tempo, attraverso la normale attività produttiva. Per modellare questo principio abbiamo introdotto in ogni impresa una certa capacità di auto-apprendimento:

```
knowX += (knowX * learnBDEfficacy)
```

Assumendo che la conoscenza “primaria” (cfr. par. 4.2.5.3) venga esercitata in misura maggiore, essa sarà sottoposta a un incremento progressivo più efficace. Nella funzione precedente, `knowX` è appunto la conoscenza posseduta al livello più elevato, mentre `learnBDEfficacy` è l'efficacia del *learning by doing* (modificabile esogenamente dal ricercatore).

La conoscenza “secondaria” (qui sotto, `knowL`) subirà un incremento minore, in ragione di una `learnBDEfficacy` dimezzata:

```
knowL += (knowL * learnBDEfficacy/2)
```

### 4.2.5.3.2. L'obsolescenza

Se è vero che ogni impresa può imparare continuamente qualcosa di nuovo, è anche vero che – soprattutto in un settore ad alta tecnologia – le conoscenze possedute perdono progressivamente valore, andando incontro a un inesorabile processo di obsolescenza.

Questo fenomeno, sia pure indipendente dall'apprendimento di ogni agente, concorre a determinare le possibilità di sopravvivenza (o di



“permanenza nel mercato”) dell'impresa. Se essa non riuscirà a contrastare il deterioramento delle conoscenze attraverso una combinazione delle diverse modalità di apprendimento, il suo *count-down* (cfr. par. 4.2.5.2) verrà avviato ed essa correrà il rischio di uscire dal mercato, vittima della selezione competitiva.

Nel modello, l'obsolescenza è programmata come un decremento progressivo dei livelli conoscitivi, che coinvolge ogni impresa in ogni unità di tempo.

L'impatto è inoltre differenziato in base alla tipologia di conoscenza: la conoscenza secondaria sarà infatti sottoposta ad un maggiore deterioramento, poiché utilizzata dall'impresa in modo meno sistematico e di conseguenza caratterizzata da una maggiore “volatilità”.

Per default, il decremento è pari allo 0.1% della conoscenza secondaria ed allo 0.05% della conoscenza primaria.

#### **4.2.5.4. L'innovazione**

L'innovazione, in particolare nei settori *high-tech*, rappresenta la forza trainante della competizione e dell'interazione fra imprese. Per questo motivo tale processo ricopre un ruolo fondamentale nel modello, configurandosi come il propulsore dello sviluppo conoscitivo e dei conseguenti flussi di conoscenza che pervadono il mondo artificiale.

In *Clusterbugs* il processo innovativo si basa su una sostanziale *dinamicità di status* all'interno della popolazione di imprese, ovvero sull'idea che ogni attore possa acquisire o perdere lo status di innovatore nel corso del tempo.

È probabilmente utile ricordare, a questo proposito, che in un settore ad

alta tecnologia come quello rappresentato, in cui è necessario aggiornare continuamente il proprio patrimonio di conoscenze per restare nel mercato, ogni impresa è *di per sè* imitatrice, nel senso che ogni impresa cercherà di trarre quanta più conoscenza possibile dall'interazione con i *coopetitors*<sup>108</sup>. Dopodiché, una parte di tali imprese sarà in grado di mettere a punto un'innovazione<sup>109</sup>, mentre le altre resteranno delle *pure imitatrici*.

Il progresso, in *Clusterbugs*, si basa sulla tradizionale tassonomia schumpeteriana che distingue *invenzione*, *innovazione* e *diffusione* quali momenti principali del processo innovativo, riconducibili rispettivamente all'iniziale formulazione “dell'idea innovativa”, all'effettiva realizzazione di tale “idea” attraverso lo sviluppo di nuovi prodotti/processi, ed alla diffusione dell'innovazione nel mercato.

Come puntualizza Stoneman:

“The Schumpeterian trilogy that divides the technological change process into three stages is often considered to provide a useful taxonomy. The first stage is the invention process, encompassing the generation of new ideas. The second stage is the innovation process encompassing the development of new ideas into marketable products and processes. The third stage is the diffusion stage, in which the new products and processes spread across the potential market. The impact of new technology occurs at the diffusion stage and thus the measurement of impact is very much a measurement of how the economy changes as new technologies are introduced and used.” (Stoneman, 1995, p.2)

---

108 Ci si riferisce, con questo termine, a quella particolare condizione che caratterizza le imprese appartenenti a un cluster: un ruolo che di volta in volta assume i tratti della partnership – *cooperator* – o quelli della concorrenza – *competitor* (Brandenburger & Nalebuff, 1996).

109 L'innovazione che consideriamo, in continuità con Arrow (1962), è un'innovazione *di processo*, che opera sostanzialmente attraverso una riduzione dei costi di produzione.

La formulazione di Schumpeter non è comunque l'unica a considerare una tale distinzione dei momenti che caratterizzano la produzione innovativa. Tale “trilogia” può essere collegata ad altri concetti impiegati in letteratura, come la definizione del rapporto tra scienza e tecnologia, o tra ricerca e sviluppo:

“Commonly, science is associated with the early stages in the trilogy, say, invention, whereas technology is often associated with later stages in the trilogy. The Schumpeterian trilogy may also be related to the research and development process. R&D is often broken down in to basic and applied research and development spending. In terms of the Schumpeterian trilogy, basic research will relate closely to the invention process, applied research and development will relate to the innovation stage.” (Stoneman, 1995, p.4)

Nel nostro modello, per assumere lo status di innovatore, è dunque necessario soddisfare due requisiti fondamentali:

- aver sviluppato un'*invenzione*, ovvero un'idea innovativa, “un'innovazione potenziale”;
- possedere un livello di *conoscenza globale* (prodotto dei due livelli di conoscenza) superiore ad una certa soglia.

Per quanto riguarda il primo aspetto, l'elaborazione delle “idee innovative” avviene all'inizio di ogni era tecnologica (cfr. par. 4.2.5.1). Ogni impresa, in quel momento, ha una certa probabilità di sviluppare l'invenzione, a seconda del proprio livello di conoscenza. È infatti più probabile (sebbene non assolutamente certo) che un'idea in grado di sfruttare le opportunità della nuova era tecnologica venga prodotta da un'impresa dotata di un patrimonio informativo moderno e avanzato. Tuttavia, come anticipato, ciò non toglie che l'invenzione possa essere sviluppata anche da imprese dotate di una conoscenza globale limitata.

Più precisamente, la funzione che descrive la probabilità di invenzione è la seguente:

$$\text{inventProbability} = \text{ideasQuota} * \text{invCoeff}$$

dove `ideasQuota` è un parametro definito esogenamente, che definisce una “probabilità approssimativa” uguale per ogni impresa, mentre `invCoeff` è il parametro – compreso tra 0 e 1 – che concorrerà a definire l'effettiva probabilità di invenzione di *ogni singola impresa*, a seconda della rispettiva conoscenza globale<sup>110</sup>.

Un'*invenzione* non è però sufficiente per acquisire lo status di innovatore. Bisogna altresì *metterla in pratica* (ovvero trasformarla in *innovazione*), il che richiede la disponibilità di una solida base aziendale – la quale, nel nostro modello, è definita dalla *conoscenza globale* dell'impresa. Nella fattispecie, tale livello di conoscenza deve essere *almeno pari* al valore della variabile `innovMinKnow`, uguale per tutti gli agenti e a sua volta definito come un multiplo della conoscenza media:

$$\text{innovMinKnow} = \text{innovMinKnowParam} * \text{avgKnowledge}$$

dove `innovMinKnowParam` è un parametro fissato esogenamente dal ricercatore, e `avgKnowledge` è la conoscenza media del mondo di riferimento.

In sostanza, quindi, se l'impresa possiede una conoscenza globale pari a una certa quota della conoscenza globale media, e se nell'era tecnologica corrente è stata in grado di sviluppare un'invenzione, allora diventerà innovatrice. Il raggiungimento di questo status consentirà agli agenti di progredire immediatamente – in misura diversa – in entrambe le conoscenze disponibili<sup>111</sup>. La ragione di questo “bonus” è che, diventando innovatore, l'agente può godere di un vantaggio conoscitivo rispetto a

---

110 Il valore del parametro `invCoeff` (compreso tra 0 e 1) è determinato dal rapporto tra la conoscenza globale del singolo agente e la conoscenza globale media: `invCoeff = (myKnow / avgKnow)`. In questo modo si fa dipendere la probabilità di invenzione non dalla conoscenza dell'impresa *in assoluto*, ma dalla “rilevanza” di tale conoscenza all'interno del contesto corrente.

111 Anche in questo caso, la conoscenza principale subirà un incremento maggiore rispetto a quella secondaria, perché si assume che essa partecipi in misura maggiore all'implementazione dell'idea innovativa.

tutti gli altri: l'innovazione è, *in partenza*, suo patrimonio esclusivo<sup>112</sup>.

Un'ultima nota: come si diceva in apertura, *Clusterbugs* cerca di riprodurre una realtà dinamica, in cui gli innovatori non restano tali “in eterno”, indipendentemente dalle loro performance e dalla loro capacità di aggiornare e produrre, nel tempo, nuove invenzioni.

Quando, allora, si rischia di perdere lo status di innovatore?

La risposta è fornita dal meccanismo delle ere tecnologiche. Se è vero che all'inizio di ogni era vengono maturate le “idee innovative” in grado di sfruttare le nuove potenzialità tecnologiche, e che consentiranno alle imprese di diventare innovatrici, è altrettanto vero che, in quello stesso momento, gli agenti incapaci di maturare nuove idee saranno esclusi dal pool dei possibili innovatori, anche qualora dispongano di un elevato livello di conoscenza. Di conseguenza un'impresa innovatrice potrebbe perdere tale status all'inizio della nuova era tecnologica, se non sarà in grado di sviluppare nuove invenzioni.

#### **4.2.5.5. La rilocalizzazione**

In *Clusterbugs* le imprese possono muoversi all'interno dello spazio fisico-settoriale (cfr. par. 4.2.3.2). La fattibilità/convenienza degli spostamenti dipende da un'ampia varietà di fattori, sicché sarà possibile agevolare o contrastare la “rilocalizzazione” delle imprese modificando di volta in volta i parametri della simulazione.

La relativa semplicità di questo processo riorganizzativo, che può sembrare una forzatura, è in realtà funzionale all'indagine che abbiamo voluto condurre, come si è cercato di evidenziare nel paragrafo

---

<sup>112</sup> In un contesto di difficile appropriabilità della conoscenza innovativa – per via della sua natura tacita e non-codificata – l'innovazione garantisce un vantaggio temporaneo a chi la produce.

introduttivo di questa sezione.

In generale, in ogni unità di tempo, l'impresa valuta l'opportunità di trasferirsi in base alla distribuzione dei fattori produttivi nello spazio – la quale, come abbiamo visto, è rappresentata metaforicamente dall'*alone di calore* che si costituisce intorno alle imprese.

Più in dettaglio, il comportamento rilocalizzativo si articola in tre momenti successivi: l'analisi dello spazio circostante, la valutazione della convenienza dell'eventuale spostamento e l'effettivo trasferimento.

#### 4.2.5.5.1. Scansione dello spazio

Con riferimento alla prima fase del processo, l'impresa esplora una certa porzione di spazio alla ricerca di un luogo “preferibile”, in quanto dotato di una maggiore concentrazione di fattori produttivi.

A questo proposito è probabilmente utile ricordare che, nell'osservazione dello spazio circostante, l'impresa non considera solo le celle immediatamente contigue, ma tutte quelle che ricadono all'interno del suo “campo visivo” (parametro `fieldOfVision`, definito a priori dal ricercatore e, per default, equivalente a un *raggio* di 10 celle; cfr. par. 4.1.2.5)<sup>113</sup>.

Di conseguenza, attraverso il *metodo* `findExtremeX$Y()`, ogni agente procede anzitutto a sondare il “calore” di ogni cella libera rientrante nel suo campo visivo:

- Se non individua nessuna cella più “calda” di quella attuale, resta dove si trova.

---

<sup>113</sup> La riduzione dell'orizzonte visivo dell'agente a un raggio di 10 celle è comunque un fattore di forte limitazione del set informativo e della razionalità dell'impresa.

- Se individua una cella più “calda” di quella attuale, passa a verificare che essa *non sia* immediatamente adiacente alla propria<sup>114</sup> – a meno che la differenza di calore sia davvero clamorosa. La ragione di questa ulteriore verifica sta nel fatto che è oggettivamente improbabile – sebbene non assolutamente impossibile – che un'impresa decida di sostenere un consistente sforzo rilocalizzativo per trasferirsi in un luogo poco distante da quello di partenza.

Se, dunque, la nuova cella è abbastanza distante da quella attuale, o dotata di un calore *almeno doppio* rispetto ad essa, l'agente ne memorizza temporaneamente le coordinate spaziali. Al termine della scansione, la cella “migliore” tra quelle memorizzate sarà sottoposta a un'analisi più approfondita (cfr. prossimo paragrafo).

- Se l'impresa individua più celle dotate dello stesso “calore”, tutte preferibili rispetto a quella attuale, ne sceglie una in modo casuale.

#### 4.2.5.5.2. Valutazione di opportunità

A questo punto, dopo aver individuato l'eventuale “cella target”, l'impresa conduce un'analisi approfondita dell'effettiva convenienza che potrebbe trarre dalla rilocalizzazione.

Tale valutazione si basa su una ponderazione della probabile disponibilità di risorse che, nel periodo seguente, caratterizzerà da una parte la cella *attuale*, e dall'altra la cella *target*.

A questo proposito occorre analizzare le variabili che intervengono

---

<sup>114</sup> La distanza minima per il trasferimento è definita dal parametro `minDistance`, fissato a priori dal ricercatore.

nel processo di rilocalizzazione: che cosa succede all'impresa quando essa si trasferisce in un'altra zona?

Essenzialmente, intervengono tre elementi: i costi di spostamento, la riduzione del proprio contributo allo sviluppo dei fattori produttivi locali e la sospensione del *learning by doing*.

## I. I costi di spostamento

Se decide di trasferirsi, l'impresa deve sostenere dei costi aggiuntivi, andando incontro a un'inevitabile riduzione dei profitti. Poiché nella nostra semplificazione i profitti sono direttamente proporzionali al livello della conoscenza globale di ogni agente (come prodotto tra i livelli dei due tipi di conoscenza), tali costi sono stati modellati attraverso una riduzione dei livelli di entrambe le tipologie di conoscenza:

```
knowA -= knowA*movCost  
knowB -= knowB*movCost
```

In questa stringa di codice `knowA` e `knowB` rappresentano i due livelli, mentre `movCost` è il parametro – fissato esogenamente – che definisce l'entità del decremento.

Una tale gestione dei costi di spostamento ha una spiegazione particolarmente evidente se si accetta la concezione dello spazio simulato come “mappa settoriale”, per cui lo spostamento dell'impresa in una nuova cella impone una svalutazione delle conoscenze pregresse, in ragione della loro adattabilità solo parziale al nuovo contesto produttivo. La caratterizzazione strettamente locale di una parte della conoscenza imprenditoriale (si pensi ad esempio alla conoscenza di mercato) giustifica comunque il costo di spostamento anche all'interno dello “spazio geografico”.



## II. Lo sviluppo dei fattori produttivi

Si è detto che, nel corso della sua attività, l'impresa concorre ad alimentare lo stock di fattori produttivi che caratterizza l'area in cui essa opera. Tale capacità è gestita attraverso la variabile `outputHeat`, che rappresenta il “potere calorifico” nella nostra metafora.

Si può affermare che, restando localizzata in una certa posizione, l'impresa generi un elevato valore di *esternalità positive di localizzazione* – che, seguendo Marshall (1890), riguarderebbero i tre fattori di *Labour market pool*, *Specialised input supply* e *Knowledge spillover* (cfr. par. 3.2.1). Focalizzando l'attenzione sul solo effetto di *labour market pool*, si può quindi ritenere che l'impresa crei un “bacino” di manodopera specializzata, che resta residente in un certo luogo e che è dotata di un certo grado di mobilità (all'interno di un mercato locale del lavoro).

Se si trasferisce, viceversa, l'impresa dovrà rinunciare ad alcune risorse produttive, che resteranno legate alla precedente localizzazione: si tratta, ad esempio, dei vecchi impianti produttivi, o delle risorse umane che mostrano una scarsa disponibilità a trasferirsi nella nuova area di attività. Anche di questo, naturalmente, dovrà tenere conto l'impresa, nel valutare l'opportunità della rilocalizzazione.

Nel modello, la perdita dei fattori produttivi è riprodotta attraverso un'improvvisa riduzione del “potere calorifico” nell'istante dello spostamento:

$$\text{outputHeat} = \text{outputHeat} * \text{heatQuotaWhenMoving}$$

in cui `heatQuotaWhenMoving` – fissato esogenamente e, per default, pari a 0.1 – rappresenta la quota delle risorse che l'impresa sarà in grado di mantenere dopo il trasferimento.

### III. La sospensione del *learning by doing*

L'ultimo fenomeno che interviene nel momento in cui l'agente decide di trasferirsi riguarda una temporanea sospensione dell'*apprendimento incrementale* autonomo (cfr. par. 4.2.5.3).

Se intraprende uno sforzo di rilocalizzazione, infatti, l'impresa sarà obbligata a sospendere temporaneamente la normale attività produttiva, concentrando le proprie risorse nella gestione dei problemi logistici e organizzativi che lo spostamento inevitabilmente comporta. Di conseguenza, l'organizzazione non potrà beneficiare della forma di apprendimento che si sviluppa specificamente nell'ambito dell'attività produttiva.

In definitiva, nella valutazione del “calore” che caratterizzerà la *cella corrente* nel prossimo tick, l'impresa considererà il calore attuale, a cui sommerà il proprio “potere calorifico”, tenendo anche conto dell'apprendimento incrementale. Per quanto riguarda, invece, il calore della *cella target*, l'impresa sommerà al calore attuale il proprio “potere calorifico”, tuttavia ridotto sulla base dei costi di spostamento e della perdita dei fattori produttivi.

In base a tali previsioni, l'impresa dovrà quindi decidere se valga effettivamente la pena di affrontare lo sforzo rilocalizzativo o se, al contrario, risulti preferibile il mantenimento della posizione corrente.

Vi è poi la possibilità che l'impresa ignori ogni congettura sin qui illustrata, scegliendo in modo assolutamente non-razionale (random) una cella in cui trasferirsi. Per default, la probabilità che ciò accada è pari a 0, ma il parametro (`randomMoveProbability`) può essere modificato dal ricercatore per verificare l'impatto di un comportamento meno razionale da parte degli agenti<sup>115</sup>.

---

<sup>115</sup> Questa possibilità di movimento random è stata ereditata dall'iniziale struttura di Heatbugs, e può essere utilizzata in Clusterbugs per limitare ulteriormente la razionalità degli agenti.

#### 4.2.5.5.3. Trasferimento

Finalmente, in base a un'attenta valutazione o ad una scelta irrazionale, l'impresa ha deciso di trasferirsi.

Come previsto, sosterrà dei costi di spostamento, non potrà beneficiare dell'incremento di conoscenza prodotto dall'apprendimento individuale, e “scalderà” infine la *cella target* con una quota del proprio “potere calorifico”.

Eppure, se ha deciso di spostarsi, significa che la disponibilità di fattori produttivi nella cella di destinazione è tale da giustificare il rischio della rilocalizzazione. In altre parole, l'impresa ritiene che ci sia una ragionevole probabilità di incrementare i propri profitti nella nuova posizione.

Attraverso l'utilizzo di termini come “rischio” e “probabilità” si intende sottolineare il fatto che, nonostante l'attenta e precisa ponderazione dell'opportunità di trasferirsi, l'agente è pur sempre costretto entro i limiti di una razionalità limitata. E, in questo senso, il comportamento degli agenti è probabilmente in grado di rappresentare la realtà in modo meno approssimativo di quanto possa sembrare.

Il fatto è che l'agente del modello utilizza gli strumenti informativi in suo possesso per prendere una decisione – e nel fare questo agisce in modo certamente razionale. Tuttavia le stesse informazioni di cui dispone sono di tipo *percettivo*: non vi è la certezza che la nuova posizione offra maggiori possibilità di profitto – e, conseguentemente, di “sopravvivenza”. L'unica informazione su cui l'agente può basarsi è la “manifestazione di una certa probabilità di sviluppo”, rappresentata dalla disponibilità dei fattori produttivi (metaforicamente, dal “calore”) in una determinata area.

È effettivamente probabile che, là dove si individua una particolare concentrazione di risorse produttive, vi siano imprese con una notevole dotazione di conoscenze – tale da offrire maggiori possibilità di apprendimento e profitto – ma non è detto che sia effettivamente così. Può essere, ad esempio, che la maggiore concentrazione di “calore” sia dovuta alla presenza di un cluster di imprese mediocri, o alla presenza di un'impresa effettivamente all'avanguardia, ma con la quale il nostro agente non avrà la possibilità di *barattare* conoscenza (modalità di apprendimento più efficace), dovendosi quindi accontentare di un difficoltoso *spillover*.

L'agente di *Clusterbugs*, in definitiva, utilizza in modo razionale le informazioni di cui dispone, ma non è in grado di prevedere gli effetti delle proprie scelte, se non in termini puramente probabilistici.

# 5

**In conclusione**

## 5.1. I RISULTATI

Come illustrato nel precedente capitolo, al fine di elaborare delle ipotesi interpretative circa i fenomeni indagati, il comportamento del modello<sup>116</sup> è stato analizzato nel corso di diverse simulazioni e in presenza di configurazioni parametriche differenti (cfr. par. 4.2.2).

Più in dettaglio, per ogni configurazione è stato effettuato un ciclo di 10 simulazioni, della durata di 5.000 tick ciascuna, al fine di trarre dalla comparazione dei risultati una misura più precisa delle tendenze di sviluppo. Per ogni simulazione, inoltre, sono state sondate 20 diverse variabili, in modo da descrivere con adeguata precisione ogni scenario emergente e rendere possibile una lettura “orizzontale” dei dati raccolti, finalizzata all'individuazione di eventuali regolarità nella covariazione di più indicatori.

I risultati ottenuti da ogni simulazione sono stati registrati in un'apposita matrice e infine, per ogni ciclo, sono stati calcolati degli indici statistici in grado di cogliere il livello di omogeneità/disomogeneità tra gli esiti delle varie simulazioni; in particolare, sono stati impiegati la media ed il coefficiente di variazione (cfr. matrice dati in *Appendice*).

I 20 indicatori presi in esame per ogni simulazione comprendono:

1. `clusterNum`: numero di cluster all'ultimo tick;
2. `avgSpillQuota`: valore medio (nei 5.000 tick) del rapporto tra la quantità di trasferimenti conoscitivi avvenuti tramite “spillover puro” e la quantità totale dei trasferimenti conoscitivi;
3. `spillQuotaVariance`: valore medio (nei 5.000 tick) della varianza<sup>117</sup>

---

116 Nello specifico, come anticipato al paragrafo 4.2.3.2, le simulazioni sono state condotte con *GeoClusterbugs*, poiché la versione tecno-settoriale del modello è ancora in fase di ottimizzazione.

117 In generale, per alcune grandezze, si è ritenuto opportuno analizzare non solo il *valore medio*, ma anche la *varianza* che ad esso si accompagna, per cercare di calibrare l'effettiva rappresentatività del primo indicatore e per evidenziare il grado di omogeneità/disomogeneità di ogni variabile nella popolazione.

- registrata in ogni unità di tempo rispetto alla `avgSpillQuota`;
4. `spillQuotaVarCoeff`: valore medio (nei 5.000 tick) del coefficiente di variazione<sup>118</sup> registrato in ogni unità di tempo rispetto al valore medio descritto al punto 2;
  5. `avgInnQuota`: valore medio (nei 5.000 tick) della quota di innovatori rispetto al totale degli agenti;
  6. `innQuotaVariance`: valore medio (nei 5.000 tick) della varianza registrata in ogni unità di tempo rispetto alla `innQuotaVariance`;
  7. `innQuotaVarCoeff`: valore medio (nei 5.000 tick) del coefficiente di variazione registrato in ogni unità di tempo rispetto alla `innQuotaVariance`;
  8. `ideasSuccess`: quota delle invenzioni che sono state trasformate in innovazioni, rispetto alla quantità totale di “idee innovative” sviluppate nel corso della simulazione;
  9. `avgKnowledge`: valore medio (nei 5.000 tick) della *conoscenza media* della popolazione (in ogni tick);
  10. `knowVariance`: valore medio (nei 5.000 tick) della varianza registrata in ogni unità di tempo rispetto alla `avgKnowledge`;
  11. `knowVarCoeff`: valore medio (nei 5.000 tick) del coefficiente di variazione registrato in ogni unità di tempo rispetto alla `avgKnowledge`;
  12. `totalKnowTransfer`: livello totale della conoscenza trasferita (tramite “baratto conoscitivo” o “spillover puro”) nel corso dei 5.000 tick;
  13. `avgKnowTransf`: livello di conoscenza trasferito mediamente in ogni tick;
  14. `bugsNow`: numerosità della popolazione di agenti nell'ultimo tick
  15. `totalBirths`: quantità totale degli agenti “nati” nel corso dei 5.000 tick;
  16. `avgBugs`: numerosità media (nei 5.000 tick) della popolazione di agenti
  17. `totalDead`: quantità totale degli agenti eliminati nel corso dei 5.000 tick;

---

118 Il *coefficiente di variazione* (risultante dal rapporto tra *varianza* e *media*) è stato considerato per ponderare adeguatamente il significato analitico della varianza: un certo “intervallo di oscillazione” dei valori rispetto ad una *media* molto elevata sarà infatti meno rilevante rispetto allo stesso intervallo di oscillazione rapportato ad un *valore medio* estremamente ridotto.

18. `avgDeathQuota`: tasso medio (nei 5.000 tick) di “mortalità”, calcolato sulla base degli agenti eliminati in ogni tick rispetto alla popolazione totale;
19. `avgClusterIndex`: indice di agglomerazione spaziale, calcolato sulla base del criterio statistico della “contiguità della regina”<sup>119</sup>
20. `technoEra`: quantità di “ere tecnologiche” che si sono succedute nei 5.000 tick (utile per una lettura *orizzontale* dei dati, ovvero per una migliore contestualizzazione dei risultati di ogni simulazione).

Nei prossimi paragrafi si riporteranno i risultati più interessanti emersi nel corso delle simulazioni condotte finora<sup>120</sup>, senza tuttavia escludere la possibilità di utilizzare *Clusterbugs* con alterazioni dei parametri diverse da quelle adottate nel presente lavoro. Tale sviluppo è anzi auspicabile, per sfruttare a fondo le potenzialità di un mondo artificiale costruito espressamente per risultare versatile nell'indagare contesti differenti.

### 5.1.1. Mercato più selettivo

Un primo spunto di riflessione è emerso dall'analisi dei risultati relativi alla condizione di maggiore selettività del mercato.

Innalzando il livello conoscitivo minimo per la sopravvivenza delle imprese si ottiene anzitutto un (prevedibile) aumento del tasso di mortalità degli agenti, parallelamente alla crescita della “conoscenza globale” media<sup>121</sup>. Ci si sarebbe

---

119 L'indice, definito da Arbia ed Espa (1996) come un saggio di “correlazione spaziale positiva”, è ricavato attraverso il conteggio delle celle che, in una griglia bidimensionale, risultano contigue per la condivisione di un lato o di uno spigolo. In *Clusterbugs* si considera il valore medio di tale indice nei 5.000 tick della simulazione, perché la concentrazione spaziale degli agenti potrebbe variare sensibilmente nel corso di ogni simulazione.

120 Per una maggiore comprensione dei risultati proposti è consigliabile fare riferimento al paragrafo 4.2.2, che illustra in dettaglio i diversi scenari indagati.

121 I risultati evidenziano comunque una maggiore instabilità, nei termini di un coefficiente di variazione superiore.



aspettati, inoltre, che questo meccanismo producesse una maggiore omogeneità degli agenti rispetto al livello conoscitivo, in seguito alla selezione di un' *élite* imprenditoriale piuttosto ristretta. Tuttavia i risultati smentiscono questa ipotesi, evidenziando addirittura un *incremento* dell'eterogeneità della popolazione, come risulta dagli indici `knowVariance` e `knowVarCoeff` – entrambi sensibilmente superiori al benchmark – nonché dall'incremento della conoscenza trasferita<sup>122</sup>. Una selezione più forte non sembra dunque produrre una popolazione imprenditoriale più omogenea: la variabilità interna alla popolazione cresce, mentre si riduce – sia pure marginalmente – la tendenza all'agglomerazione spaziale delle imprese.

Questo risultato sembra suggerire una considerazione rilevante circa la centralità dell'apprendimento nel contesto dei cluster high-tech. L'unica spiegazione possibile al fenomeno individuato è, infatti, che l'apprendimento costituisca un fondamentale meccanismo di differenziazione, peraltro in accordo con le posizioni teoriche illustrate al par. 3.4. Ne deriva che, in presenza di alta turbolenza, il sistema mostra una tendenza a “riequilibrarsi” autonomamente, reintroducendo una sostanziale eterogeneità degli agenti – sia pure attestata intorno a valori maggiori – attraverso processi di apprendimento autonomi e non governabili esogenamente. In ultima analisi, si può ipotizzare che più le imprese sono “eccellenti”, più i trasferimenti conoscitivi tendono ad essere efficaci.

### 5.1.2. Minore probabilità di inventare

Lo scenario caratterizzato da una riduzione del parametro `ideasQuota`, ovvero da un minore ritmo di sviluppo di nuove *invenzioni*, offre dei risultati interessanti riguardo all'efficacia del processo innovativo.

---

<sup>122</sup> Il livello della conoscenza trasferita nell'intero corso della simulazione fornisce una certa misura dell'eterogeneità conoscitiva degli agenti, poiché risulta maggiore quando l'apprendimento avviene prevalentemente tramite “scambio reciproco” (piuttosto che tramite “spillover puro”, meno efficace); e tale “scambio” può avvenire solo in presenza di una distribuzione eterogenea dei due livelli di conoscenza.

Le simulazioni condotte con tale impostazione mostrano anzitutto un'inevitabile riduzione della quota di innovatori rispetto alla popolazione totale, in ragione del fatto che – per diventare innovatrici – le imprese devono anzitutto possedere “un'idea innovativa”. Tuttavia, sebbene l'innovazione costituisca il motore del progresso conoscitivo, inaspettatamente la conoscenza media e la conoscenza trasferita subiscono una riduzione solo marginale rispetto al benchmark. Un risultato ancor meno intuitivo è che il tasso di successo delle invenzioni (`ideasSuccess`) subisce addirittura un incremento. In altre parole, la riduzione del tasso di “idee innovative” è accompagnata, nel modello, da una maggiore probabilità che tali idee vengano trasformate in innovazioni. Tale fenomeno può essere interpretato come l'emergenza di un comportamento reattivo da parte del sistema economico nel suo complesso, che sembra avvertire – seppure in modo inconsapevole – un bisogno di innovazione, che lo spinge a cercare di ottenerne un livello soddisfacente anche quando le “occasioni inventive” sono minori.

Per converso, si potrebbe supporre che – in modo analogo – un maggiore tasso di invenzioni non si accompagni necessariamente ad un maggior numero di innovazioni. In quest'ottica si potrebbe trarre un utile elemento di riflessione riguardo al dibattito sugli incentivi alla brevettazione: stimolare la produzione di nuovi progetti potrebbe non bastare, di per sè, ad assicurare al paese un maggiore livello di innovatività. Un numero anche ristretto di idee, se realmente innovative e capaci di collocarsi all'interno di concrete prospettive (ed esigenze) di sviluppo, può costituire un importante fattore di crescita.

### **5.1.3. Maggiori ostacoli alla realizzazione dell'innovazione**

Un terzo contesto che ha prodotto risultati rilevanti è quello caratterizzato da maggiori difficoltà nella trasformazione dell'*invenzione* in *innovazione*. In

altre parole, si tratta di una situazione in cui solo le imprese eccellenti – dotate di una “conoscenza globale” estremamente elevata – possono realizzare le “idee innovative” eventualmente sviluppate.

Sebbene ci si possa attendere che un tale scenario produca una progressiva depressione della conoscenza nel mondo, a fronte di una minore attività innovativa, ciò che sembra emergere è piuttosto un certo incremento dei principali indicatori di “progresso”: conoscenza media e conoscenza trasferita. In altre parole, sembra che il fatto di premiare solo le iniziative migliori inneschi un processo di competizione in grado non solo di mantenere un sostanziale equilibrio nonostante la maggiore difficoltà innovativa, ma addirittura di accrescere le performance del sistema<sup>123</sup>. In accordo con il caso precedente, questo ciclo di simulazioni sembra insomma confermare che un numero ristretto di idee avanzate può risultare più proficuo rispetto al semplice incentivo alla produzione di nuove idee/progetti.

Un'altra evidenza interessante di questo scenario consiste nella maggiore agglomerazione del mondo – rilevabile attraverso l'incremento del `clusterIndex` medio, nonché tramite la riduzione del numero medio di cluster. Le imprese, sottoposte a maggiori sforzi innovativi, tenderebbero insomma a preferire soluzioni di agglomerazione spaziale. Una possibile interpretazione di tale fenomeno potrebbe consistere nel fatto che il contesto descritto tende ad originare un numero ristretto di aree geografiche dotate di alti livelli innovativi, le quali costituiscono a loro volta un forte richiamo per le imprese circostanti, in cerca di spillover conoscitivi “di valore”. E, secondo una dinamica circolare, la crescente concentrazione spaziale tenderebbe a far sì che le poche innovazioni in grado di essere sviluppate emergano proprio all'interno dei cluster, in ragione del particolare flusso di conoscenza che essi garantiscono.

---

123 Bisogna comunque rilevare che il valore della conoscenza trasferita è meno stabile rispetto al benchmark, come evidenziato dal maggiore coefficiente di variazione.

## 5.1.4. Maggiore obsolescenza

Le simulazioni effettuate con un maggiore tasso di obsolescenza del sapere (tecnologico e di mercato) suggeriscono ulteriori considerazioni in merito a dinamiche emergenti non intuibili a priori.

I risultati derivanti da questo assetto del modello includono anzitutto un'inevitabile riduzione del livello medio della conoscenza nel mondo; tuttavia, diversi indici sembrano evidenziare l'occorrenza di un fenomeno molto interessante, complementare e contrastante con la svalutazione del sapere individuale che si sarebbe portati a considerare prevalente. I dati sembrano suggerire che le imprese del modello, collocate in un periodo/settore di rapida svalutazione della conoscenza<sup>124</sup>, individuino nell'apprendimento una risorsa fondamentale per la sopravvivenza, cercando di ottimizzare il trasferimento conoscitivo per contrastare l'opposta forza depressiva. Il livello della conoscenza trasferita risulta infatti sensibilmente superiore al benchmark, ed è accompagnato da un minore tasso di “spillover puro”; in altri termini, la stessa modalità di apprendimento sembrerebbe selezionata sulla base della sua efficacia: lo “scambio conoscitivo” viene preferito alla pura imitazione, che offre maggiori rischi e minore trasferimento di sapere. L'aspetto fondamentale, ancora una volta, consiste nel fatto che il sistema sembra selezionare autonomamente delle soluzioni efficaci per ottimizzare il proprio funzionamento, pur non essendo programmato in tal modo e pur non avendone, naturalmente, consapevolezza. L'effetto aggregato, infatti, è che la conoscenza media risulta inevitabilmente inferiore al benchmark, ma tale gap – come dimostra l'elevato trasferimento conoscitivo – è certamente inferiore a quanto si riscontrerebbe se il sistema non adottasse un meccanismo “difensivo”.

Un altro risultato controintuitivo consiste nell'aumento, sia pure leggero, della quota media di innovatori rispetto al benchmark; in presenza di una più rapida svalutazione della conoscenza ci si aspetterebbe, infatti, un effetto

---

124 In altri termini, di un maggiore tasso di CTO – Cambiamento Tecnologico e Organizzativo.

contrario. Questo dato può essere spiegato sulla base della maggiore eterogeneità che sembra caratterizzare lo scenario tracciato: la riduzione del tasso di “spillover puro” e la crescita della conoscenza trasferita, unite ad un maggiore coefficiente di variazione rispetto alla conoscenza media, sembrerebbero confermare tale ipotesi. Ne deriva che, se l'obsolescenza genera maggiore eterogeneità, allora esisterà un maggior numero di imprese che riuscirà a primeggiare sui competitor<sup>125</sup> e ad imporre le proprie invenzioni.

### 5.1.5. Assenza di “spillover puro”

Un ulteriore caso di particolare interesse riguarda il contesto di tutela assoluta della proprietà intellettuale, caratterizzato da una completa appropriabilità della conoscenza innovativa o, in altri termini, dalla totale assenza di quello che abbiamo definito “spillover puro”. In tale ambito, l'unica forma di apprendimento possibile sarà quella dello “scambio reciproco”, vale a dire in cui il trasferimento di conoscenza non deriva da un'emanazione involontaria di sapere, ma dalla precisa volontà di entrambe le parti dell'interazione.

La considerazione più immediata, a tale proposito, riguarda il fatto che i *valori medi* di ogni variabile, nel ciclo di simulazioni, non subiscono variazioni rilevanti rispetto al benchmark. L'elemento di maggiore interesse consiste piuttosto nell'emergenza di una consistente *varianza* dei risultati tra le diverse simulazioni: la conoscenza media oscilla tra 35,5 e 51,4; la conoscenza trasferita, tra 2.260 e 3.100; il tasso di successo delle invenzioni, tra 0,15 e 0,35; si tratta, insomma, di valori che manifestano una variabilità sensibilmente maggiore rispetto a tutti gli altri cicli di simulazione<sup>126</sup>. In altre parole, l'assenza di “spillover involontario” sembrerebbe generare

---

125 Esisterà un maggior numero di attori la cui conoscenza è *superiore* alla media (sommata a un parametro fissato esogenamente), così come un maggior numero di attori con un livello conoscitivo *inferiore* a tale valore.

126 I valori del coefficiente di variazione di tali variabili sono infatti pari, rispettivamente, a 3 volte, 1.5 volte e 3 volte, quelli del benchmark.

alternativamente risultati positivi e negativi.

Partendo da tale considerazione si potrebbe ipotizzare che lo spillover produca una sorta di meccanismo auto-organizzativo del sistema, in grado di ridurre la variabilità delle performance globali riconducendole attorno a valori soddisfacenti. È naturalmente un'affermazione che richiede ulteriori approfondimenti e verifiche attraverso indagini più specifiche, ma che per il momento fornisce se non altro un'interessante prospettiva analitica e nuovi spunti di riflessione.

## 5.2. FUTURI SVILUPPI

Come è stato anticipato nei precedenti paragrafi, *Clusterbugs* costituisce il primo, importante passo verso la realizzazione di un più ampio progetto di ricerca interessato a studiare il processo innovativo in relazione alle dinamiche di apprendimento e di agglomerazione.

Un primo sviluppo del modello consisterà nella realizzazione di *TechnoClusterbugs*, la variante progettata per indagare il comportamento degli agenti in relazione alla loro collocazione tecno-settoriale (cfr. par. 4.2.3). L'interazione e l'agglomerazione intersettoriale costituiscono infatti un oggetto di indagine ancora poco esplorato, nel cui ambito uno strumento di simulazione come *Clusterbugs* può consentire di formulare ipotesi interpretative in grado di stimolare future indagini più specifiche.

In seconda istanza si intende riunire i due “piani di indagine”, costruendo un modello basato su due *layer* interrelati che riproducano, rispettivamente, la dimensione geografica e quella tecno-settoriale. In questo modo si potranno indagare le relazioni esistenti tra i due contesti di prossimità/distanza osservando l'evoluzione del modello in quattro dimensioni. Si tratta di un progetto ambizioso, ma contemplato da Swarm attraverso la predisposizione di apposite librerie per la sincronizzazione e l'interazione fra modelli<sup>127</sup> differenti.

Il terzo ambito di sviluppo riguarda invece una modifica della stessa logica funzionale di *Clusterbugs*. Per precise intenzioni analitiche, infatti, il modello attuale contempla un mondo interamente basato su una risorsa: la *conoscenza*. La sopravvivenza delle imprese, le scelte localizzative, la capacità di sviluppare invenzioni e di trasformarle in innovazioni... sono tutti fattori modellati attraverso il riferimento alla caratterizzazione conoscitiva degli agenti. Tale scelta è stata dettata dalla volontà di “isolare” l'elemento conoscitivo per valutarne l'impatto specifico sulle dinamiche indagate, così da condurre un'osservazione che sarebbe stato impossibile attuare nel “mondo reale”. Partendo dalle considerazioni

---

<sup>127</sup> Si tratta più specificamente di quelli che al par. 2.2.3.2 sono stati definiti “sciami”.

che il modello ha permesso di formulare si intende ora procedere allo step successivo: l'esplicita introduzione del *mercato*. In altre parole si è interessati a verificare le ipotesi interpretative tratte da *Clusterbugs* in un mondo in cui ogni impresa deve rapportarsi a una domanda di mercato e fronteggiare dei costi di produzione, di innovazione e di rilocalizzazione che incidono inevitabilmente sulle possibilità di profitto.

Va infine sottolineato che *Clusterbugs* è uno strumento di indagine aperto a nuovi utilizzi e sviluppi. In linea con la cultura open-source, ogni progressiva evoluzione del modello sarà resa accessibile gratuitamente, tramite internet o altri canali, a chiunque sia interessato. L'architettura modulare dei modelli ad agenti, e in generale della programmazione ad oggetti, permette inoltre di estendere ulteriormente le possibilità di utilizzo del modello, che diviene un "oggetto" componibile con altri elementi sviluppati da altri ricercatori, così da soddisfare esigenze analitiche differenti da quelle originali. Il codice sorgente del modello è stato anzi espressamente strutturato in modo da agevolarne la comprensione e l'integrazione da parte della più ampia comunità degli sviluppatori, attraverso una suddivisione logica dei *metodi java* e l'esplicitazione dell'utilità funzionale di ogni componente.



## 5.3. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La simulazione basata su agenti è uno strumento di indagine tanto flessibile quanto delicato. Nel corso di questo lavoro sono stati illustrati alcuni fondamentali problemi sollevati dallo sviluppo di un modello come *Clusterbugs* e sono state proposte delle riflessioni in merito all'effettivo potenziale scientifico di questo modo di rappresentare la realtà.

Il problema più rilevante, nella costruzione di un modello, riguarda probabilmente il rischio di intervenire in modo invasivo sui complessi meccanismi dell'emergenza, imponendo esogenamente delle condizioni di comportamento finalizzate a ottenere uno scenario aggregato ben preciso anche in assenza di opportune giustificazioni empiriche. Si rischia così di realizzare una commistione di criteri d'azione “reali” e “di convenienza” che può compromettere gravemente l'affidabilità del modello, ovvero la sua capacità di riprodurre la spontanea emergenza della complessità “dal basso”. Non è infrequente che il risultato spontaneo si discosti inizialmente dal fenomeno aggregato che si osserva in natura, ma proprio in questo consiste una delle maggiori potenzialità del modello: spetta infatti al ricercatore interrogarsi sulle cause di tale scarto tra reale e virtuale, approfondendo la conoscenza delle micro-determinazioni di partenza e quindi dei meccanismi intersoggettivi che stanno alla base del fenomeno emergente. La manipolazione puramente “artificiale” dei parametri del modello introduce inutili distorsioni che minano alla base la possibilità di formulare considerazioni fondate in merito al contesto reale di riferimento.

Più in generale, rilevanti questioni metodologiche restano aperte attorno alla simulazione ad agenti, in relazione all'ambito di indagine (specifico o generale), al grado di complessità e di completezza delle micro-fondazioni (KISS vs. KIDS), alla concezione e alla rilevanza del tempo simulato, alla relazione da stabilire tra spazio reale e spazio virtuale, o ancora ai criteri di validazione del modello. Gli ABM costituiscono insomma un ambito di ricerca la cui indubbia innovatività comporta l'emergere di posizioni differenti in seno alla comunità scientifica, da cui deriva l'assenza di un generale accordo circa i criteri ottimali per la costruzione dei modelli. Di conseguenza, ai fini di una buona riuscita

dell'indagine, un ruolo determinante è affidato alla sensibilità metodologica del singolo gruppo di ricerca, che è chiamato ad approfondire le diverse posizioni del dibattito e ad operare delle scelte in relazione alle puntuali caratteristiche dell'oggetto di studio.

Lo stesso *Clusterbugs* è inevitabilmente frutto di compromessi metodologici e di scelte implementative soggettive, certamente opinabili da parte di altri studiosi. Tuttavia è stato realizzato con la consapevolezza dei problemi e delle alternative che hanno accompagnato ciascuna di tali scelte, grazie ai fondamentali avvertimenti ricevuti dai ricercatori più esperti in questo genere di indagine. In tal modo è stato possibile ricavare dal modello dei risultati interessanti e controintuitivi – per quanto plausibili – che costituiranno l'oggetto di indagini più specifiche, sia di tipo empirico che di tipo virtuale, attraverso la predisposizione di ulteriori modelli finalizzati a indagare particolari aspetti del problema.

Un'ultima considerazione riguarda, più in generale, l'utilità analitica dei modelli ad agenti e le loro possibilità di applicazione in ambito scientifico e professionale. A tale riguardo si è sostenuto, nel corso del lavoro, che la principale potenzialità dei “mondi artificiali” consiste nel riprodurre con una certa approssimazione le dinamiche emergenti che caratterizzano i contesti reali di riferimento. Si è inoltre sottolineato che tali scenari possono essere particolari quanto generali: la differenza starà nel livello di dettaglio con cui si descriverà il contesto “micro” di riferimento e di conseguenza nell'output del modello, che potrà consistere in una serie di dati rappresentativi rispetto ad ambiti specifici oppure in considerazioni generali di natura prevalentemente teorica. In entrambi i casi, la facoltà di riprodurre *in vitro* la complessità consente di esplorare le “tendenze di sviluppo” che possono derivare da un certo assetto di partenza, sebbene la stessa incidenza di dinamiche emergenti complesse impedisca di affermarne un'assoluta veridicità predittiva.

Si intende sostenere, di conseguenza, che un ideale ambito di impiego dei modelli ad agenti consista nella conduzione di indagini strategiche relative a fenomeni complessi, dove la possibilità di ragionare in termini di “what if...?” con un adeguato margine di attendibilità può generare dei vantaggi evidenti. Tale prospettiva riguarda peraltro organizzazioni di natura diversa, in ambito istituzionale e imprenditoriale.

Anteporre efficaci analisi prospettive alla definizione di interventi di *policy*, ad esempio, può consentire al regolatore di arginare un'inevitabile miopia analitica tutelando l'interesse collettivo ed evitando al contempo di generare processi di senso inverso in ambiti non direttamente considerati: la possibilità di valutare le *esternalità* (positive e negative) di un preciso intervento esogeno è infatti una specifica prerogativa dei modelli ad agenti, in quanto basati su *reti relazionali* in grado, per loro stessa natura, di riprodurre le ripercussioni sistemiche di cambiamenti puntuali. Nello specifico ambito considerato dal presente lavoro, si potrebbero ad esempio valutare le conseguenze di particolari politiche industriali sull'agglomerazione locale delle imprese e, indirettamente, sui livelli di reddito e occupazione che caratterizzano una certa regione geografica. Un altro rilevante ambito di impiego, sempre in relazione all'amministrazione pubblica, riguarda la valutazione preventiva dell'impatto economico, ambientale e sociale di opere infrastrutturali (autostrade, ferrovie, centri residenziali o commerciali, etc.) od organizzative (attivazione di nuovi servizi di trasporto pubblico, modifica degli orari di sportello, apertura di nuovi uffici per le relazioni con il pubblico, etc.), in modo da escludere provvedimenti con scarse opportunità di successo e ridurre i disagi per la cittadinanza.

Analoghe considerazioni riguardano le organizzazioni private, che dall'impiego di modelli di vita artificiale possono trarre consistenti vantaggi, tanto nella valutazione di importanti scelte di natura strategica – come quelle di rilocalizzazione o di conversione delle attività produttive – quanto nella gestione dei processi organizzativi interni.

In questa prospettiva si potranno rappresentare delle “imprese virtuali” (Terna, 2002b) in cui agenti autonomi, dotati di mansioni specifiche, interagiscono

concorrendo a determinare le performance del sistema: un contesto esemplare è rappresentato dai processi di produzione industriale, in cui la modellazione dei tempi e delle capacità produttive di ogni impianto può consentire di analizzare virtualmente le prospettive offerte da nuove organizzazioni del ciclo di costruzione/assemblaggio o dall'introduzione di nuovi macchinari, per ottimizzare la produttività dell'impresa e raffrontarne la capacità di offerta con la reale domanda di mercato. In modo analogo si potranno rappresentare i diversi livelli che compongono le catene di fornitura, modellando i processi di domanda ed offerta al fine di individuare le procedure più convenienti per ogni attore. Ancora, l'impiego dei modelli potrebbe riguardare la coordinazione di più unità operative facenti capo alla medesima struttura, ma distribuite sul territorio e specializzate in aree differenti – dall'analisi del mercato alla produzione, alla vendita distribuita – sempre con l'obiettivo di migliorare l'organizzazione interna ottimizzando gli scambi informativi tra le diverse unità e l'efficienza complessiva dell'impresa. Infine, come precisa Terna, l'impiego dei modelli ad agenti può dimostrarsi efficace per rappresentare tutte quelle “strutture in cui siano riprodotte le regole di funzionamento e di interazione interne, con agenti che non solo operino, ma stabiliscano come essi stessi o altri agenti possano o debbano operare” (*ibidem*, p.34)<sup>128</sup>.

Le prospettive di sviluppo della simulazione basata su agenti, e più in generale del relativo approccio allo studio della complessità, sono insomma estremamente varie, tanto in ambito scientifico quanto nella concretezza della realtà socio-economica in cui ognuno è direttamente coinvolto. La reale efficacia conoscitiva di tali strumenti, tuttavia, dipenderà a sua volta dalla sperimentazione che se ne farà in ciascun ambito e dal conseguente progresso del dibattito metodologico che al momento divide i ricercatori su diverse questioni, allontanandoli dalla definizione di uno standard qualitativo generalmente condiviso, di una reale “guida all'uso” dei modelli ad agenti. Il rischio è, in altre parole, che si generi una “circolarità stazionaria” dalla quale sia difficile emergere.

---

128 Un interessante progetto di applicazione delle tecniche di simulazione ai contesti imprenditoriali consiste nel *National Industrial Information Infrastructure Protocols*, orientato in particolare al contesto industriale americano: <http://www.niiip.org/>

A titolo conclusivo si ritiene quindi indispensabile la rimozione dei principali ostacoli alla diffusione di quei dispositivi che attualmente rappresentano il più efficace strumento per comprendere la complessità. L'obiettivo primario deve consistere, di conseguenza, nella *conquista* della Torre di Babele e nello sviluppo di piattaforme software di più alto livello, che consentano un agevole impiego degli ABM da parte di figure professionali non specificamente dotate di una formazione informatica specialistica. E' inoltre auspicabile che, parallelamente, si realizzi una più stretta collaborazione tra il mondo imprenditoriale e quello accademico, per attivare una dinamica di apprendimento e di sviluppo che esca dalla ristretta cerchia dei ricercatori specializzati e inizi a farsi strada in una rete professionale che di per sè, per le stesse dinamiche illustrate in questo lavoro, può funzionare da *catalizzatore* del processo di diffusione.

E' ormai diffusa la consapevolezza che, in un mondo sempre più veloce e interconnesso, dove il “battito d'ali di una farfalla” può generare enormi conseguenze in ogni zona del pianeta, la complessità rappresenta un'importante *risorsa* con cui occorre rapportarsi, piuttosto che un vincolo da cui fuggire, o da ignorare.

E' infatti assolutamente improbabile che il senso del *caos* risieda nel *nulla*. In un'ottica evolutiva, quel poco che si intravede allude piuttosto a una ricchezza che sta all'uomo scoprire, e comprendere.

# Bibliografia

- ABERNATHY W.G., UTTERBACK J.M. (1978), Patterns of Industrial Innovation, *Technological Review*, vol. 80 (7), pp. 40-47.
- ANDERSON C.R., ZEITHAML C.P. (1984), Stage of the product life cycle, business strategy, and business performance, *Academy of Management Journal*, vol. 27 (1), pp. 5-24.
- ANTONELLI C. (1982), *Cambiamento tecnologico e teoria dell'impresa*, Loescher, Torino.
- ARBIA G., ESPA G. (1996), *Statistica economica territoriale*, CEDAM, Padova.
- ARROW K.J. (1962), Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors, in Nelson R.R. (ed.), *The Rate and Direction of Inventive Activity*, Princeton University Press, Princeton, pp. 609-625.
- ASCH S. (1952), *Social Psychology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- ATKINSON A., STIGLITZ J. (1969), A New View of Technological Change, *Economic Journal*, vol. 79 (315), pp. 573-578.
- AUDRETSCH D.B., FELDMAN M.P. (1996a), Innovative Clusters and the Industry Life Cycle, *Review of Industrial Organization (Kluwer Academic Publishers)*, vol. 11 (2), pp. 253-273.
- AUDRETSCH D.B., FELDMAN M.P. (1996b), R&D Spillovers and the Geography of Innovation and Production, *American Economic Review*, vol. 86 (3), pp. 630-640.
- AXELROD R. (1997a), *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*, Princeton University Press, Princeton (NJ).
- AXELROD R. (1997b), Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences, in Conte R., Hegselmann R., Terna P. (eds.), *Simulating Social Phenomena*, Springer, Berlin, pp. 21-40.
- AXELROD R. (2000), On Six Advances in Cooperation Theory, *Analyse & Kritik*, vol. 22 (January), pp. 130-151.
- BALDASSARRE G., NOLFI S., PARISI D. (2003), Evolving mobile robots able to display collective behaviour, *Artificial Life*, vol. 9 (3), pp. 255-267.
- BALLOT G., WEISBUCH G. (EDS.) (2000), *Applications of Simulation to Social Sciences*, Hermes Science Publications, Paris.

- BEATH J., KATSOUALACOS Y., ULPH D. (1987), Sequential Product Innovation and Industry Evolution, *Economic Journal*, vol. 97 (388), pp. 32-43.
- BOERO R., CASTELLANI M., SQUAZZONI F. (2004), La sociologia figurazionale tradotta in un modello di simulazione su agenti, *Sistemi intelligenti*, vol. 16 (1), pp. 7-27.
- BOERO R., SQUAZZONI F. (2002), Economic Performance, Inter-Firm Relations and Local Institutional Engineering in a Computational Prototype of Industrial Districts, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 5 (1), <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/1/1.html>.
- BOERO R., SQUAZZONI F. (2004), Proximity Relations, Partnership Structure and Supporting Institutions in an Agent-Based Model of an Industrial District Prototype, *Electronic Journal of Evolutionary Modelling and Economic Dynamics*, Issue 2 (1028), <http://beagle.u-bordeaux4.fr/jemed/1028/>.
- BONABEAU E., DORIGO M., THERAULAZ G. (1999), *Swarm Intelligence. From natural to artificial systems*, Oxford University Press, Oxford.
- BRANDER J.A., SPENCER B.J. (1983), Strategic commitment with R&D: the Symmetric Case, *Bell Journal of Economics*, vol. 14 (1), pp. 225-235.
- BRESCHI S., MALERBA F. (1997), Sectoral Innovation Systems: Technological Regimes, Schumpeterian Dynamics and Spatial Boundaries, in Edquist C. (ed.), *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organisations*, Pinter, London.
- BRUDERER E., MAIERS M. (1997), From the Margin to the Mainstream: An Agenda for Computer Simulation in the Social Sciences, in Conte R., Hegselmann R., Terna P. (eds.), *Simulating Social Phenomena*, Springer, Berlin, pp. 89-95.
- CAMAZINE S., DENEUBOURG J.L., FRANKS N.R., SNEYD J., THERAULAZ G., BONABEAU E. (1999), *Self-Organization in Biological Systems*, Princeton University Press, Princeton (NJ).
- CAPRA F. (1996), *The Web of Life*, Doubleday, New York.
- CARLSSON B., JACOBSSON S. (1991), On the Nature, Function and Composition of Technological Systems, *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 1 (2), pp. 93-118.
- CLARK J., FREEMAN C., SOETE L. (1981), Long Waves, Inventions and Innovations, *Futures*, vol. 13 (4), pp. 308-322.



- COHEN W., LEVINTHAL D. (1989), Innovation and Learning: The Two Faces of R&D, *Economic Journal*, vol. 99 (397), pp. 569-596.
- CONTE R., CASTELFRANCHI C. (1996), Simulating Multi-Agent Interdependencies: A Two-Way Approach to the Micro-Macro Link, in Troitzsch K.G., Mueller U., Gilbert N., Doran J. (eds.), *Social Science Microsimulation*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 394-415.
- CONTE R., EDMONDS B., SCOTT M., SAWYER R.K. (2001), Sociology and Social Theory in Agent-Based Social Simulation: A Symposium, *Computational, Mathematical Organization Theory*, vol. 7 (3), pp. 183-205.
- CONTE R., HEGSELMANN R., TERNA P. (EDS.) (1997), *Simulating Social Phenomena*, Springer, Berlin.
- COWAN R., JONARD N. (1999), Network Structure and the diffusion of knowledge, *Journal of Economic Dynamics & Control*, vol. 28 (8), pp. 1557-1575.
- DASGUPTA P., STIGLITZ J. (1980a), Industrial Structure and the Nature of Innovative Activity, *Economic Journal*, vol. 90 (358), pp. 266-293.
- DASGUPTA P., STIGLITZ J. (1980b), Uncertainty, Industrial Structure and the Speed of R&D, *Bell Journal of Economics*, vol. 11 (1), pp. 1-28.
- DAVID P. (1975), *Technical Choice, Innovation and Economic Growth*, Cambridge University Press, Cambridge.
- DE KERCHKOVE D. (1997), *Connected Intelligence: The Arrival of the Web Society*, Somerville, Toronto.
- DEN HERTOOG P., ROELANDT T.J.A. (1999), Cluster Analysis and Cluster-based Policy Making: the State of the Art, in Roelandt T.J.A., Den Hertog P. (eds.), *Boosting novation, the cluster approach*, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, pp. 413-427.
- DOSI G. (1982), Technological paradigms and Technological Trajectories. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change, *Research Policy*, vol. 11 (3), pp. 147-162.
- DOSI G. (1988), Sources, Procedures and Microeconomic Effects of Innovation, *Journal of Economic Literature*, vol. 26 (3), pp. 1120-1171.
- DOSI G., FREEDMAN C., NELSON R.R., SILVERBERG G., SOETE L. (EDS.) (1988), *Technical Change and Economic Theory*, Pinter, London.
- DOSI G., ORSENIGO L. (1988), Industrial Structure and Technical Change, in

- Heertje A. (ed.), *Innovation, Technology and Finance*, Basil Blackwell, Oxford, pp. 14-37.
- EDMONDS B., MOSS S. (2004), From KISS to KIDS - an 'anti-simplistic' modelling approach, *Centre for Policy Modelling Report, Manchester Metropolitan University*, 04-132.
- EDQUIST C. (ED.) (1997), *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organisations*, Pinter, London.
- FARIA L. (2004), Agent-based model in labor market as a third way to micro/macro relation: a new paradigm?, *paper presentato al WILD@ACE 2004 Workshop*, Torino, 3-4 Dicembre 2004.
- FELDMAN M.P., MASSARD N. (EDS.) (2002), *Institutions and Systems in the Geography of Innovation*, Kluwer, Dordrecht.
- FERRARESI M. (2003), *Il packaging: oggetto e comunicazione*, FrancoAngeli, Milano.
- FIORETTI G. (2002), Individual Contacts, Collective Patterns - Prato 1975-97, a Story of Interactions, *Tinbergen Institute Discussion Paper*, TI2002-109/3, <http://www.tinbergen.nl/discussionpapers/02109.pdf>.
- FOX H. (1973), A framework for functional coordination, *Atlanta Economic Review*, vol. 23 (6), pp. 8-11.
- FREEMAN C. (1982), *The Economics of Industrial Innovation*, MIT Press, Cambridge (MA).
- FREEMAN C. (1988), Diffusion: The Spread of New Technology to Firms, Sectors and Nations, in Heertje A. (ed.), *Innovation, Technology and Finance*, Basil Blackwell, Oxford, pp. 38-70.
- FREEMAN C. (ED.) (1996), *Long Wave Theory*, Edward Elgar Publishing Limited, Brookfield.
- FREEMAN C., PEREZ C. (1988), Structural Crises of Adjustment, Business Cycles and Investment Behaviour, in Dosi G., Freeman C., Nelson R., Silverberg G., Soete L. (eds.), *Technical Change and Economic Theory*, Pinter, London, pp. 38-66.
- FREEMAN C., SOETE L. (EDS.) (1987), *Technical Change and Full Employment*, Basil Blackwell, Oxford.

- FRIEDMAN M. (ED.) (1953), *Essays in Positive Economics*, University of Chicago Press, Chicago.
- GASPAR J., GLAESER E.L. (1998), Information Technology and the Future of Cities, *Journal of Urban Economics*, vol. 43 (1), pp. 136-156.
- GIANSANTE S., PARISI D. (2005), Dal baratto alla moneta: un modello di vita artificiale, *paper presentato al II Workshop di Vita Artificiale*, Roma, 2-5 Marzo 2005.
- GIGERENZER G., SELTEN R. (EDS.) (2001), *Bounded Rationality. The Adaptive Toolbox*, MIT Press, Cambridge (MA).
- GILBERT N. (1996), Holism, Individualism and Emergent Properties. An Approach from the Perspective of Simulation, in Hegselmann R., Mueller U., Troitzsch K.G. (eds.), *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Sciences Point of View*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 1-27.
- GILBERT R.J., NEWBERY D.M.G. (1982), Preemptive Patenting and the Persistence of Monopoly, *American Economic Review*, vol. 72 (3), pp. 514-526.
- GILBERT R.J., NEWBERY D.M.G. (1984), Uncertain Innovation and the Persistence of Monopoly: Comment, *American Economic Review*, vol. 74 (1), pp. 238-242.
- GLEICK J. (1987), *Chaos - Making a New Science*, Penguin Books, New York.
- GRÜBLER A., NAKICENOVIC N. (1991), Long Waves, Technology Diffusion, and Substitution, *Review*, vol. 14 (2), pp. 313-43.
- HILBORN R.C. (1994), *Chaos and Nonlinear Dynamics*, Oxford University Press, Oxford.
- HILL C.W.L., JONES R.G. (1998), *Strategic management theory: An integrated approach*, Houghton Mifflin Company, Boston.
- HOLLAND H. (1998), *Emergence from chaos to order*, Oxford University Press, Oxford.
- HOLLDÖBLER B., WILSON E.O. (1994), *Journey to the Ants. A Story of Scientific Exploration*, Harvard University Press, Harvard.
- IETRI D., LAMIERI M. (2004), Innovation Creation and Diffusion in a social network: an agent based approach, *paper presentato al WILD@ACE 2004 Workshop*, Torino, 3-4 Dicembre 2004.

- IWAI K. (1984a), Schumpeterian Dynamics: An Evolutionary Model of Innovation and Imitation, *Journal of Economic Behavior and Organization*, vol. 5 (2), pp. 159-190.
- IWAI K. (1984b), Schumpeterian Dynamics, part II: Technological Progress, Firm Growth and 'Economic Selection', *Journal of Economic Behavior and Organization*, vol. 5 (3), pp. 321-355.
- JAFFE A.B., TRAJTENBERG M., HENDERSON R. (1993), Geographic Localization of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citations, *Quarterly Journal of Economics*, vol. 108 (3), pp. 577-598.
- JOHNSON S. (2001), *Emergence: The connected lives of ants, brains, cities, and software*, Simon and Schuster, New York.
- KEYNES J.M. (1930), *Treatise on Money, volume 2*, Macmillan, London.
- KINNY D., GEORGEFF M., RAO A. (1996), A Methodology and Modelling Technique for Systems of BDI Agents, in Van de Velde W., Perram J.W. (eds.), *Agents Breaking Away: Proceeding of the Seventh European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World*, Springer-Verlag, Eindhoven, pp. 56-71.
- KLEINKNECHT A. (1986), Long Waves, Depression and Innovation, *De Economist*, vol. 134 (1), pp. 84-108.
- KLEPPER S. (1992), Entry, exit, growth, and innovation over the product life cycle, paper presentato alla conferenza della International Joseph A. Schumpeter Society, Kyoto, August 1992.
- KLEPPER S., MILLER J. H. (1995), Entry, exit and shakeouts in the United States in new manufactured products, *International Journal of Industrial Organization*, vol. 13 (4), pp. 567-591.
- KRUGMAN P. (1991), *Geography and Trade*, The MIT Press, Cambridge (MA).
- KRUGMAN P., VENABLES A.J. (1995), Globalization and the Inequality of Nations, *Quarterly Journal of Economics*, vol. 110 (4), pp. 857-879.
- KUZNETS S. (1940), Schumpeter's Business Cycles, *American Economic Review*, vol. 30 (2), pp. 257-271.
- LAKOFF G., JOHNSON M. (1980), *Metaphors We Live By*, University of Chicago Press, Chicago.

- LANE D.A. (1993), Artificial worlds and economics, part 1, *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 3 (2), pp. 89-108.
- LAVOIE D., BAETJER H., TULLOH W. (1990), High-Tech Hayekians: Some Possible Research Topics in the Economics of Computation, *Market Process*, vol. 8 (Spring), pp. 120-147.
- LEE T.K., WILDE L.L. (1980), Market Structure and Innovation: A Reformulation, *Quarterly Journal of Economics*, vol. 94 (2), pp. 429-436.
- LEVY P. (1994), *L'intelligence collective. Pour une anthropologie du cyberspace*, La Découverte, Paris.
- LEVY S. (1992), *Artificial Life: A Report from the Frontier Where Computers Meet Biology*, Vintage Books, New York.
- LOURY G.C. (1979), Market Structure and Innovation, *Quarterly Journal of Economics*, vol. 93 (3), pp. 395-410.
- LUNA F., PERRONE A. (EDS.) (2002), *Agent-Based Methods in Economics and Finance: Simulations in Swarm*, Kluwer Academic Publishers, Norwell (MA).
- LUNA F., STEFANSSON B. (EDS.) (2000), *Economic Simulations in Swarm: Agent-Based Modelling and Object Oriented Programming*, Kluwer Academic Publishers, Norwell (MA).
- MACDONALD S. (1996), Informal Information Flow - Introduction, *International Journal of Technology Management*, vol. 11 (2), pp. 219-232.
- MAGGIONI M.A. (2002a), *Clustering Dynamics and the Location of High-Tech Firms*, Physica - Verlag, Heidelberg.
- MAGGIONI M.A. (2002b), The development of High-Tech Clusters: Theoretical Insights and Policy Implications, in Feldman M.P., Massard N. (eds.), *Institutions and Systems in the Geography of Innovation*, Kluwer, Dordrecht, pp. 309-340.
- MAGGIONI M.A. (2002c), Open Source Software Communities and Industrial Districts: A Useful Comparison?, *Online Papers, Free/Opens Source Research Community, MIT, Cambridge (MA)*, <http://opensource.mit.edu/papers/maggioni.pdf>.
- MAGGIONI M.A. (2004), The Dynamics of Open Source Software Communities and Industrial Districts: The Role of Market and Non-Market Interactions, *Revue d'Economie Industrielle*, vol. 107 (Septembre), pp. 127-150.

- MAGGIONI M.A., MERZONI G.S. (2002), L'economia politica e la nuova economia: fondamenti analitici e paradigmi interpretativi, in Prosperetti L., *La new economy: aspetti analitici e implicazioni di policy*, Il Mulino, Bologna, p.37-84.
- MAGGIONI M.A., RONCARI S.N. (2005), Artificial Silicon Landscapes: Innovative/Imitative Behaviours and Clustering Dynamics Within a Heatbugs-Like Model, *paper presentato al II Workshop di Vita Artificiale*, Roma, 2-5 Marzo 2005.
- MALERBA F. (1985), Mutamento tecnologico, impresa e mercato, in Onida F. (ed.), *Innovazione, competitività e vincolo energetico*, Il Mulino, Bologna, pp. 83-121.
- MALERBA F. (2000), *Economia dell'innovazione*, Carocci, Roma.
- MANSFIELD E. (1968), *The Economics of Technical Change*, Norton, New York.
- MARSHALL, A. (1890), *The Principles of Economics*, Macmillan, Londra.
- MENSCH G. (1975), *Das Technologische Patt*, Umschau, Frankfurt.
- METCALFE J.S. (1988), The Diffusion of Innovation: An Interpretative Survey, in Dosi G., Freeman C., Nelson R.R., Silverberg G., Soete L. (eds.), *Technical Change and Economic Theory*, Pinter, London, pp. 560-589.
- METCALFE J.S. (1989), *Technology and Economic Progress*, Macmillan, London.
- METCALFE J.S., GIBBONS M. (1986), Technological variety and the process of competition, *Economie Appliquée*, vol. 39 (3), pp. 493-520.
- METCALFE S.J. (1998), *Evolutionary Economics and Creative Destruction*, Routledge, London.
- METZ R. (1992), A Re-Examination of Long Waves in Aggregate Production Series, in Kleinknecht A., Mandel E., Wallerstein I. (eds.), *New Findings in Long-Wave Research*, St Martin's Press, New York, pp. 80-119.
- MOMIGLIANO F., DOSI G. (1983), *Tecnologia e organizzazione industriale internazionale*, Il Mulino, Bologna.
- NASH J.F. (1951), Non Cooperative Games, *Annals of Mathematics*, vol. 54, pp. 286-295.
- NEARY P. (2001), Of Hype and Hyperbola: Introducing the 'New Economic Geography', *Journal of Economic Literature*, vol. 39 (2), pp. 536-561.

- NELSON R.R. (1962), *The Rate and Direction of Inventive Activity*, Princeton University Press, Princeton.
- NELSON R.R., WINTER S.G. (1974), Neoclassical vs. Evolutionary Theories of Economic Growth, *Economic Journal*, vol. 84 (336), pp. 886-905.
- NELSON R.R., WINTER S.G. (1976), Technical Change in an Evolutionary Model, *Quarterly Journal of Economics*, vol. 90 (1), pp. 90-118.
- NELSON R.R., WINTER S.G. (1977), In Search of Useful Theory of Innovation, *Research Policy*, vol. 6 (1), pp. 36-76.
- NELSON R.R., WINTER S.G. (1978), Forces Generating and Limiting Concentration Under Schumpeterian Competition, *Bell Journal of Economics*, vol. 9 (2), pp. 524-548.
- NELSON R.R., WINTER S.G. (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press, Cambridge (MA).
- NISBET, R. (1969), *Social Change and History: Aspects of the Western Theory of Development*, Oxford University Press, Oxford.
- NOLFI S., DENEUBOURG J.L., FLOREANO D., GAMBARDELLA L.M., MONDADA F., DORIGO M. (2003), Swarm-Bots: Swarm of Mobile Robots able to Self-Assemble and Self-Organize, *Ercim News*, vol. 53 (April), pp. 25-26.
- OSTROM T. (1988), Computer Simulation: the Third Symbol System, *Journal of Experimental Social Psychology*, vol. 24 (5), pp. 381-392.
- OTTAVIANO G., PUGA D. (1998), Agglomeration in the Global Economy: A survey of the 'New Economic Geography', *World Economy*, vol. 21 (6), pp. 707-731.
- PEREZ C. (1983), Structural Change and Assimilation of New Technologies in the Economic and Social Systems, *Futures*, vol. 15 (5), pp. 357-375.
- POLANYI M. (1966), *The Tacit Dimension*, Doubleday & Co., Garden City, N.Y..
- PORTER M. (1998), Clusters and New Economics Competition, *Harvard Business Review*, vol. 76 (6), pp. 77-90.
- PREISSL B., SOLIMENE L. (2003), *The Dynamics of Clusters and Innovation: Beyond Systems and Networks*, Physica - Verlag, Heidelberg.
- PROSPERETTI L. (2002), *La new economy: aspetti analitici e implicazioni di policy*, Il Mulino, Bologna.

- REINGANUM J.F. (1981), On the Diffusion of a New Technology: A Game Theoretic Approach, *Review of Economic Studies*, vol. 48 (3), pp. 395-405.
- REINGANUM J.F. (1983), Technology Adoption Under Imperfect Information, *Bell Journal of Economics*, vol. 14 (1), pp. 57-69.
- REINGANUM J.F. (1984), Uncertain Innovation and the Persistence of Monopoly: Reply, *American Economic Review*, vol. 74 (1), pp. 243-246.
- REINGANUM J.F. (1985), Innovation and Industry Evolution, *Quarterly Journal of Economics*, vol. 100 (1), pp. 81-99.
- ROELANDT T.J.A., DEN HERTOOG P. (EDS.) (1999), *Cluster Analysis and Cluster-based Policy: New Perspectives and Rationale in Innovation Policy*, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris.
- ROSENBERG N. (1976), *Perspectives on Technology*, Cambridge University Press, Cambridge.
- ROSENBERG N. (1982), *Inside the Black Box: Technology and Economics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- SAHAL D. (1981), Alternative Conceptions of Technology, *Research Policy*, vol. 10 (1), pp. 2-24.
- SAHAL D. (1985), Technological Guideposts and Innovation Avenues, *Research Policy*, vol. 14 (2), pp. 61-82.
- SAMUELSON P.A. (1954), The Transfer Problem and Transport Costs, II: Analysis of Effects of Trade Impediments, *Economic Journal*, vol. 64 (June), pp. 264-289.
- SANTAYANA G. (1951), *Dominations and Powers: Reflections on Liberty, Society and Government*, Scribners, New York.
- SAXENIAN A. (1990), Regional Networks and the Resurgence of Silicon Valley, *California Management Review*, vol. 33 (1), pp. 89-112.
- SCHELLING T.C. (1978), *Micromotives and Macrobehavior*, W.W. Norton & Company, New York.
- SCHERER F.M. (1967), Research and Development Resource Allocation Under Rivalry, *Quarterly Journal of Economics*, vol. 81 (3), pp. 359-394.
- SCHUMPETER J.A. (1912), *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*, Duncker & Humblot, Leipzig.



- SCHUMPETER J.A. (1939), *Business Cycles*, McGraw-Hill, New York.
- SILVERBERG G. (1984), Embodied Technical Progress in a Dynamic Economic Model: The Self-Organization Paradigm, in Goodwin R., Kruger M, Vercelli A. (eds.), *Nonlinear Models of Fluctuating Growth*, Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 192-208.
- SILVERBERG G. (1988), Modelling Economic Dynamics and Technical Change: Mathematical Approaches to Self Organisation and Evolution, in Dosi G., Freeman C., Nelson R.R., Silverberg G., Soete L. (eds.), *Technical Change and Economic Theory*, Pinter, London, pp. 531-559.
- SILVERBERG G., DOSI G., ORSENIGO L. (1988), Innovation, Diversity and Diffusion: A Self-Organization Model, *Economic Journal*, vol. 98 (393), pp. 1032-1054.
- SIMON H.A. (1957), *Models of Man*, Wiley, New York.
- SIMON H.A. (1981), Prometheus or Pandora: The Influence of Automation on Society, *Computer*, vol. 14 (November), pp. 69-74.
- SIMON H.A. (1984), On the behavioral and rational foundations of economic dynamics, *Journal of Economic Behavior and Organization*, vol. 5 (1), pp. 35-55.
- SPENCE A.M. (1984), Cost Reduction, Competition And Industrial Performance, *Econometrica*, vol. 52 (101), pp. 101-121.
- STEWART M.B. (1983), Noncooperative Oligopoly and Preemptive Innovation Without Winner-Takes-All, *Quarterly Journal of Economics*, vol. 98 (4), pp. 681-694.
- STONEMAN P. (1983), *The Economic Analysis of Technological Change*, Oxford University Press, New York.
- STONEMAN P. (1995), *The Handbook of Economics of Innovation and Technological Change*, Blackwell, Cambridge (MA).
- STORPER M., VENABLES A.J. (2004), Buzz: Face-To-Face Contact and the Urban Economy, *Journal of Economic Geography*, vol. 4 (4), pp. 351-370.
- SWANN G.M.P., PREVEZER M., STOUT D. (EDS.) (1998), *The Dynamics of Industrial Clusters: International Comparisons in Computing and Biotechnology*, Oxford University Press, Oxford.
- TAJNAI C. (1985), *Fred Terman, the Father of Silicon Valley*, Stanford Computer Forum, <http://forum.stanford.edu/forum-staff/carolyn/terman.html>.

- TEECE, D.J. (1987), *The Competitive Challenge: Strategies for Industrial Innovation and Renewal*, Ballinger, Cambridge (MA).
- TERNA P. (1998), Simulation Tools for Social Scientists: Building Agent Based Models with Swarm, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 1 (2), <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/1/2/4.html>.
- TERNA P. (2000), The “mind or no-mind” dilemma in agents behaving in a market, in Ballot G., Weisbuch G. (eds.), *Applications of Simulation to Social Sciences*, Hermes Science Publications, Paris, pp. 257-270.
- TERNA P. (2002a), Cognitive Agents Behaving in a Simple Stock Market Structure, in Luna F., Perrone A. (eds.), *Agent-Based Methods in Economics and Finance: Simulations in Swarm*, Kluwer Academic Publishers, Norwell, pp. 187-227.
- TERNA P. (2002b), Simulazione ad agenti in contesti di impresa, *Sistemi Intelligenti*, vol. 14 (1), pp. 33-51.
- TERNA P. (2003), La simulazione come strumento di indagine per l'economia, *Sistemi intelligenti*, vol. 15 (2), pp. 347-376.
- TERNA P. (marzo 2005 – data di download), Informatica e... Sciami, <http://www2.polito.it/didattica/polymath/ICT/Htmls/Argomenti/Infoe/Infoesciami/Infoe%201.htm>.
- TYLECOTE (1992), *The Long Wave in the World Economy*, Routledge, London.
- VAN DE VELDE W., PERRAM J.W. (EDS.) (1996), *Agents Breaking Away: Proceeding of the Seventh European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World*, Springer-Verlag, Eindhoven.
- VAN DULJN J.J. (1983), *The Long Wave in Economic Life*, Allen and Unwin, London.
- VAN GELDEREN J. (1913), Springvloed: beschauwingen over industrieele ontwikkeling en prijsbeweging, *De Nieuwe Tijd*, vol. 18, pp. 253-277.
- VERNON R. (1966), International Investment and International Trade in the Product Cycle, *Quarterly Journal of Economics*, vol. 80 (2), pp. 190-207.
- VICKERS J. (1986), The Evolution of Market Structure When There Is a Sequence of Innovations, *Journal of Industrial Economics*, vol. 35 (1), pp. 1-12.
- VON HIPPEL E. (1976), The Dominant Role of Users in the Scientific Instrument Innovation Process, *Research Policy*, vol. 5 (3), pp. 212-239.

- VON HIPPEL E. (1979), A Customer Active Paradigm for Industrial Product Idea Generation, in Baker J.M. (ed.), *Industrial Innovation: Technology, Policy, Diffusion*, Macmillan, London, pp. 212-239.
- VON HIPPEL E. (1980), The User's Role in Industrial Innovation, *TIMS Studies in the Management Sciences*, vol. 15 (3), pp. 53-65.
- WASSON C.R. (1974), *Dynamic competitive strategy and product life cycles*, Challenge Books, St. Charles (IL).
- WILLIAMSON O.E. (1975), *Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications*, The Free Press, New York.
- WINTER S.G. (1984), Schumpeterian Competition in Alternative Technological Regimes, *Journal of Economic Behavior and Organization*, vol. 5 (3), pp. 287-320.
- WINTER S.G. (1987), Knowledge and Competence as Strategic Assets, in Teece, D.J., *The Competitive Challenge: Strategies for Industrial Innovation and Renewal*, Ballinger, Cambridge (MA), pp. 159-184.

# Appendice

1. Matrice dei risultati
2. Codice sorgente di Clusterbugs