Capitolo 3

Simulazione e complessità

Introduzione

Per un ricercatore del campo delle scienze sociali, cui venga posto un interrogativo sul come o sul perché un dato fenomeno si verifichi o si possa spiegare, la differenza principale dalla risposta che verrebbe data da un ingegnere, un fisico, un matematico e comunque da tutti coloro che studiano le scienze cosiddette esatte, consiste nell'impossibilità di esprimere un giudizio certo, definitivo ed inconfutabile. Le scienze sociali riguardano un campo del sapere per il quale difficilmente esistono verità uniche ed immutabili, questa incertezza risiede nell'animo stesso dell'oggetto di studio: l'uomo e le relazioni che egli instaura con i propri simili e l'ambiente in cui vive.

Una moltitudine di sfaccettature definiscono il comportamento umano, una verità è diversa a seconda del punto di vista di chi la osserva mentre un teorema è unico e definito, così come è fissa una legge fisica. Il metodo scientifico di indagine utilizzato dagli economisti, dai sociologi, dagli psicologi o comunque da tutti coloro che si accingono ad analizzare fenomeni inerenti il comportamento umano a livello micro o macro, ha seguito e segue tuttora molte strade, ma si fonda, ora come nel passato, sulla definizione di modelli rappresentativi della realtà che riducono la quantità di variabili presenti e permettono di individuare relazioni di causa ed effetto nelle vicende osservate.

Critica al modello storico letterario

Sicuramente uno strumento di analisi e modellizzazione cui si ricorre, attiene alla descrizione storica e letteraria degli avvenimenti, un resoconto di ciò che è stato, una analisi più o meno attenta e critica delle decisioni, dei discorsi, delle tendenze che nel corso della storia umana hanno posto le basi per la cultura, le tradizioni, lo stato della tecnica nei differenti paesi, sino ad oggi.

Un dubbio sulla possibilità che tale tipo di descrizione della realtà possa rappresentare il corretto campo di indagine è posto da Cipolla (1996):

…La storia economica ed a maggior ragione le discipline che si sono sviluppate dal suo interno, sono peraltro frutto di partizioni artificiose dell'attività umana. L'homo oeconomicus, così come l'homo faber e l'homo philosophicus è una pura astrazione. La realtà vera è l'uomo nella sua complessità biologica, psicologica, sociale. Similmente la società opera non per compartimenti stagni; essa opera come un insieme quanto mai complesso su piani diversi, ma inestricabilmente interdipendenti.

Nella realtà delle cose non c'è storia politica, storia sociale, storia tecnica, storia culturale. C'è la storia nel suo insieme, la storia con la S maiuscola, cioè la vita nella sua infinita ed inestricabile complessità, magma in continuo flusso, possente e nel contempo fragile. A scopo descrittivo ed analitico si è costretti a ricorrere alle partizioni di cui si è detto prima. Ma bisogna sempre tener presente che tali partizioni sono frutto di semplificazioni eroiche, talvolta al limite dell'assurdo.[…] Tutto dipende dal punto di vista in cui si pone l'osservatore.

Lo stesso autore fa notare come vi sia impossibilità di considerare, e sovente anche di ottenere, tutte le informazioni che sarebbero necessarie, essendo queste estremamente non omogenee e di carattere caotico tale da impedire allo storico di formulare leggi ovunque valide ed applicabili. Probabilmente non è questo neppure lo scopo dell'osservazione e della descrizione storica, anche se si tratta pur sempre di una modellizzazione della realtà umana e dei rapporti umani.

Critica all'impostazione matematica dei modelli di ottimizzazione vincolata

La rigorosità del metodo di indagine e dell'analisi dei risultati è stata ricercata a lungo tramite l'applicazione della matematica ed in particolare di quella branca che si occupa dell'ottimizzazione vincolata, che ben si adatta all'analisi dei fenomeni sociali che sempre sono da considerare rispetto alle risorse, in genere scarse e limitate.

In economia l'analisi della realtà mediante schemi matematici si basa sull'utilizzo di modelli che simulano agenti rappresentativi degli umani, in grado sempre di ottimizzare le scelte relative l'impiego delle risorse, perfettamente razionali ed in grado di sfruttare pienamente le informazioni loro disponibili, sovente considerate illimitate o comunque sempre analizzate come se le capacità di calcolo fossero pressochè complete.

Questi modelli difficilmente reggono il confronto con le situazioni reali presenti nel mondo: soprattutto ove è più semplice individuare squilibrio nelle valutazioni degli individui considerati oltremodo razionali e capaci di calcoli che solo elaboratori avanzati permettono. Il considera-

re l'uomo come *robot oeconomicus*, da' sicuramente grossi vantaggi per l'impostazione di modelli di analisi e per la ricerca di punti di confronto fra ciò che dovrebbe e ciò che è, utili soprattutto per la spiegazione o l'interpretazione di fenomeni aggregati della microeconomia.

Come si desume da Terna (1996), il limite maggiore dell'impostazione dei modelli economici rappresentativi della realtà si trova proprio e simultaneamente nella minor capacità degli individui di effettuare scelte perfettamente razionali e nella maggiore complessità delle relazioni tra gli stessi, situazione questa che un modello di ottimizzazione vincolata, per complesso che sia, non potrebbe rappresentare.

Ciò che si è sinora affermato è vero, in particolare se si considerano modelli rappresentativi di eventi o situazioni che non sono linearmente interpretabili e, a causa di questo, difficilmente la pratica della formalizzazione matematica o l'utilizzo della statistica possono dare buoni risultati.

Il ricorso continuo a semplificazioni progressive, tecnica molto adottata dai più ferrati sostenitori del metodo matematico, può portare a modelli troppo pervasi da assunzioni implausibili, scaturendo come risultato teorie completamente lontane dalla realtà.

Non linearità

La distinzione tra sistemi lineari e non lineari è a questo punto, oltre che doverosa, fondamentale. Essa illustra chiaramente la difficoltà di portare alla luce i principi sottostanti alla dinamica della vita. Il modo più semplice per porre la distinzione tra linearità e non è dire che nei sistemi non lineari il comportamento del tutto non corrisponde al compor-

tamento della somma mentre, nei sistemi lineari, il comportamento del tutto è pari alla somma dei comportamenti delle singole parti.

I sistemi lineari obbediscono al principio di sovrapposizione; è possibile analizzare un complicato sistema lineare in parti costitutive più semplici e quindi studiare queste parti separatamente. Una volta effettuata l'analisi delle parti in isolamento, è possibile comprendere completamente il sistema totale componendo il risultato degli studi delle parti isolate.

Questa è la caratteristica cruciale dei sistemi lineari: studiando le parti in isolamento, si può apprendere tutto quel che si vuole sapere del sistema completo.

Ciò non accade nei sistemi non lineari, che non obbediscono al principio di sovrapposizione. Anche se potessimo analizzare questi sistemi in parti costitutive più semplici, quindi pervenire ad una comprensione completa delle parti, non saremmo comunque in grado di comprendere a priori il sistema totale.

La caratteristica cruciale dei sistemi lineari è che i loro comportamenti di maggior rilievo, sono proprietà delle interazioni tra le parti, e non proprietà delle parti in se stesse. Queste proprietà basate sulle interazioni vengono necessariamente meno quando gli elementi vengono studiati singolarmente.

I fenomeni reali, causa la loro non linearità, la loro rapida evoluzione ed, in particolare, la dinamica delle relazioni fra soggetti, sono più ardui da rappresentare attraverso gli strumenti dell'ottimizzazione vincolata, seppur quest'ultima illustri un modello della realtà con tutte le possibili sfaccettature, e consideri anche comportamenti non perfettamente razionali.

Critica all'utilizzo della modellizzazione di processo

L'utilizzo di elaborazioni elettroniche dei modelli può, in questi casi, essere più significativo della descrizione storica degli eventi o dell'impostazione di sistemi di equazioni ad ottimizzazione vincolata, anche se per questi ultimi l'utilizzo dell'informatica è già decisamente elevato. In particolare mi riferisco ai modelli che sfruttano metodi i quali, tramite una riproduzione più o meno fedele dei fenomeni osservati ed analizzati, intendono rappresentare la realtà, attraverso la simulazione.

Lo studio mediante modellizzazione o rappresentazione degli eventi reali è sicuramente facilitato dall'utilizzo di elaboratori elettronici, in grado di effettuare calcoli molto rapidamente e, quindi, in grado di trovare soluzioni rapidamente ai modelli più complicati.

La simulazione mediante strumenti informatici, permette di rappresentare un fenomeno, un evento, un processo od una teoria come se fosse un programma, inoltre è in grado di modellare processi e relazioni di tipo lineare, fornendo così un'ottima base per le ricerche nel campo degli studi delle scienze sociali e per sistemi molto complicati, come quelli non lineari basati sulla funzione esponenziale positiva.

In questo caso si può adottare il metodo di simulazione per processo che, nell'ambito di un modello di ricerca, consiste nel vagliare tutte le possibili combinazioni di eventi del fenomeno descritto che possono verificarsi e successivamente imposta un programma che esplori in maniera sequenziale l'intero campo delle possibilità. Questo modello permette l'osservazione di fenomeni, come un processo produttivo, offrendo il vantaggio di analizzare tutte le possibili alternative, evidenziando però i soli risultati imprevisti.

In altre parole se il modello è rappresentato tramite un programma per computer, la sua osservazione può essere effettuata grazie alla semplicità e velocità di esecuzione del programma stesso. Ciò permette anche una ripetuta osservazione del modello stesso, ma utilizzando nun'impostazione per processo, osserviamo tutte le possibilità senza ricavare alcunea informazione sulle relazioni di causa ed effetto, anche se ritardate nel tempo e di intensità variabile.

Occorre effettuare due precisazioni per meglio comprendere il problema:

1. La prima è quella riguardante il significato del termine *emergenza*: infatti in questo caso si vuole intendere la possibilità che un determinato comportamento degli agenti osservati produca un risultato non noto a priori. Se emerge un risultato *imprevisto,* significa che esso è diretta conseguenza dell'impostazione del modello, i cui numerosi risvolti potevano essere previsti in fase di impostazione. Diversamente se ad emergere è un risultato *imprevedibile*, ciò significa che la conoscenza dei singoli agenti non è comunque sufficiente per prevedere tutti i risultati.
2. La seconda riguarda la distinzione fra i termini *complicato* e *complesso*. Il primo si interpreta facilmente con un sinonimo che è il termine *difficile*, è complicato un motore di una automobile, ma rappresenta comunque la somma delle sue più semplici parti. La complessità attiene invece alla possibilità che singole parti *semplici* non siano comprensibili se considerate come un tutto; l'interazione delle parti non ha puramente un rapporto di causa – effetto lineare. La somma dei

singoli è maggiore rispetto al valore degli stessi considerati individualmente.

Complessità

Alcune delle difficoltà maggiori sorgono proprio quando si cerca di rappresentare un sistema dinamico ed in particolare un sistema complesso ossia, come lo definisce Day (1994), un sistema che endogenamente non tende in maniera asintotica ad un punto, ad un ciclo limitato o ad una esplosione. Questo tipo di sistema può mostrare un comportamento discontinuo e può essere descritto da più equazioni differenziali o alle differenze non lineari, con elementi stocastici.

La teoria della complessità, che per alcuni studiosi succede e racchiude evolvendole la cibernetica, la teoria delle catastrofi e quella del chaos, è un concetto multidisciplinare che deriva in particolare dalla matematica e dalla fisica, ma che in economia trova una valida applicazione poiché il livello di difficoltà aumenta a causa dell'interazione delle scelte umane nei fenomeni osservati.

Le quattro correnti di studio, i cui nomi cominciano tutti con la "C", costituiscono il percorso evolutivo degli studi sulla nonlinearità del XX secolo:

1. La cibernetica (Wiener, 1961) intravede la possibilità che all'interno di sistemi multipli di equazioni non lineari possano emergere risultati sorprendenti e controintuitivi il proprio fondamento. Questo concetto è stato alla base dello studio sui modelli dinamici, fino ai più moderni modelli sulla complessità, nella quale è presente il concetto di autoor-

ganizzazione ed emergenza di strutture organiche dall'interazione di sistemi semplici;

2. La teoria sulle catastrofi (Thom 1975) si fonda sulle precedenti teorie dei sistemi dinamici. Una catastrofe è un particolare tipo di discontinuità in un determinato sistema. Le discontinuità dipendono da punti di equilibrio multipli e distinti tra loro e comporta il salto da un punto all'altro ogni volta che i parametri del sistema variano;
3. La teoria del chaos ha influenzato lo studio di molte discipline scientifiche ed è per questo motivo che non le si riconosce un unico progenitore. La caoticità è generata da un processo deterministico, anche se ad un'occhio attento o ad una più approfondita analisi statistica appare casuale. Due sono le idee principali che sono comunemente associate: la sensibile influenza delle condizioni iniziali, ne è un esempio l'*effetto della farfalla* per il quale piccole variazioni nei valori iniziali del modello determinano risultati vistosamente differenti, e gli *Strange Attractors*, ossia le strane figure geometriche delle rappresentazioni dei sistemi caotici;
4. La complessità accoglie tutte le premesse teoriche delle precedenti correnti di studio ed evolve l'analisi in diverse discipline.

Arthur e altri (1997) individuano sei caratteristiche fondamentali della definizione di complessità:

1. interazione diffusa tra agenti eterogenei, che agiscono localmente gli uni verso gli altri su uno spazio di una certa dimensione;

2. nessun controllore centrale del modello che possa vagliare tutte opportunità e interazioni, anche se sono consentite deboli interazioni a livello globale;
3. organizzazione gerarchica su più livelli, con interazioni distribuite;
4. adattamento continuo degli agenti mediante apprendimento ed evoluzione;
5. il continuo avvicendamento di nuovi mercati, tecnologie, comportamenti ed istituzioni creano nuove nicchie nell'*ecologia* del sistema;
6. le dinamiche non hanno un equilibrio determinato cui tendere ed anzi vi possono essere da zero a molti punti di convergenza delle dinamiche, ma il sistema nel complesso non sembra raggiungere un punto di ottimo globale.

Il risultato che si ottiene è un ambiente caratterizzato da razionalità limitata e da aspettative non razionali.

Ciò premesso, l'analisi e l'osservazione dei fenomeni economici è possibile solo mediante l'utilizzo di modelli computazionali in grado di evidenziare le caratteristiche semplici dei singoli agenti che si intende osservare ed allo stesso tempo permettano l'osservazione e lo sviluppo *spontaneo* delle interrelazioni e della complessità dei fenomeni.

Questa grande possibilità deriva dall'utilizzo dei modelli *Multi Agent System (MAS)* sviluppati da una sotto branca dell'intelligenza artificiale denominata *distributed artificial intelligence (DAI).* Il concetto fondamentale che sta alla base dell'innovazione è l'impostazione adottata per risolvere i problemi che di volta in volta si verificano: la *Dai* suddivide i problemi che si presentano dividendoli fra un numero più o meno elevato di programmi o agenti, ciascuno dotato di una sua particolare

forma di intelligenza od esperienza. La combinazione ottima delle capacità degli agenti è in grado di trovare una soluzione migliore di quella che i singoli agenti avrebbero potuto trovare.

Dal punto di vista dei sistemi multi agente, gli agenti sono processi implementati su un computer, dotati però delle seguenti caratteristiche:

1. autonomia propria, sono cioè in grado di gestire le proprie azioni;
2. capacità sociale, possono interagire con altri agenti attraverso una sorta di linguaggio;
3. reattività, possono percepire gli stimoli derivanti dall'ambiente e restituire dei messaggi;
4. pro attività, ossia sono in grado di compiere azioni perseguendo un determinato obiettivo (Wooldridge and Jennings 1995).

Il compito del programmatore consiste perciò nel definire le capacità *cognitive* degli agenti, le azioni che questi possono compiere e le caratteristiche dell'ambiente in cui sono situati e successivamente dovrà osservare ciò che accade durante la simulazione, con particolare riferimento a ciò che emerge , sapendo in questo caso che sarà possibile ottenere dei risultati imprevisti dal comportamento dei singoli ma, più interessante, risultati imprevedibili secondo la distinzione fatta in precedenza.

Come Langton (1992) fa notare, osservando la simulazione su calcolatore dei sistemi reali ci rendiamo conto che non necessariamente i comportamenti complessi e non lineari, sinora descritti, hanno delle basi intricate.

In realtà, situazioni od evoluzioni inattese possono emergere da insiemi di unità estremamente semplici. Di conseguenza è concreta la possibilità che buona parte dei comportamenti complessi presenti in natura abbiano anch'essi cause generatrici altrettanto semplici. Essendo molto difficile cosa ha generato un comportamento complesso, si può sintetizzarne qualcuno attraverso la generazione di un generatore, avendo così la possibilità di studiare sistemi naturali e sociali complessi, attraverso l'analisi generale dei comportamenti che possono emergere da sistemi distribuiti, come quelli della *Dai*.

La comprensione dei modelli *ABM*

Da quanto descritto sino ad ora parrebbe che i modelli di tipo *agent-based* siano in grado di rappresentare molto realisticamente le strutture sociali che normalmente emergono dall'interazione fra gli agenti, siano essi insetti, umani o imperi politici.

In particolare lo sviluppo di tali strutture avviene in maniera non ortodossa, ossia seguendo una direzione dal basso verso l'alto.

Da quanto si è potuto desumere, il punto principale su cui ho ritenuto necessario focalizzare l'attenzione, è il possibile emergere di comportamenti complessi dall'interazione di insiemi di agenti più o meno semplici e la necessità di utilizzare il corretto metodo di rappresentazione, ma il problema vero della discussione è però quello riportato da Axtell ed Epstein (1994):

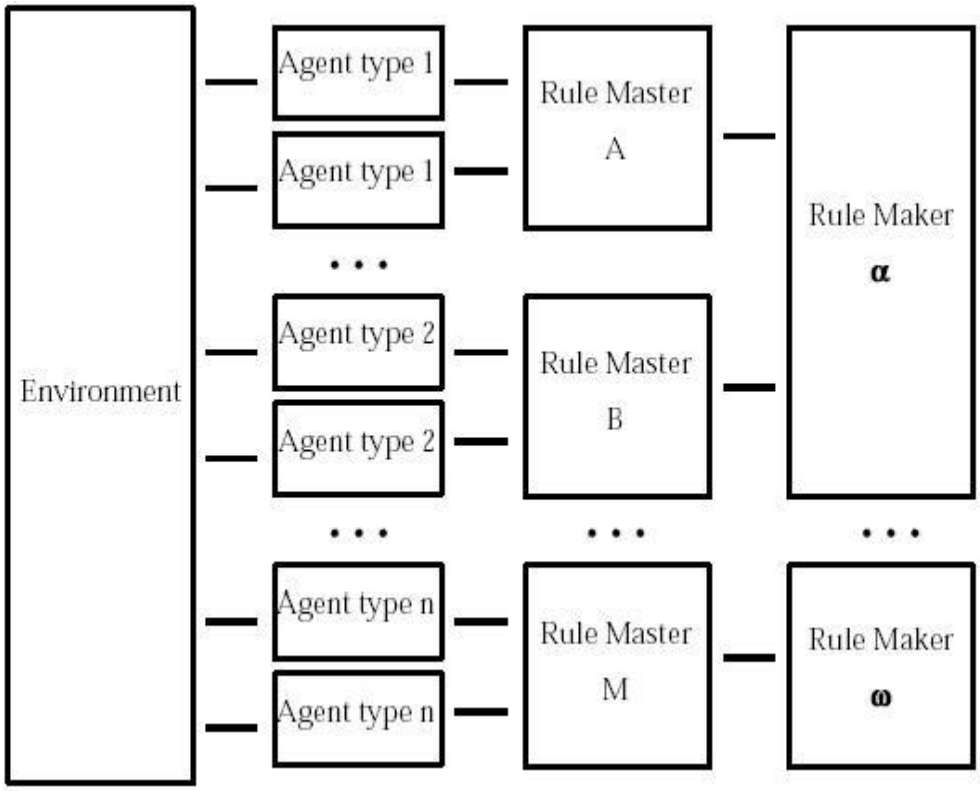
…if we cannot understand these artificial complex systems any better than we understand the real ones then we haven't made progress.

Sorge quindi la necessità di determinare quanto il nostro agente sia rappresentativo del vero e quali strumenti di analisi siano richiesti per valutarne la validità e le interazioni. Possiamo considerare un agente

di una popolazione come un individuo che opera ed interagisce all'interno di un ambiente, con proprie regole di comportamento, capacità e capacità di interazione in generale. Per determinare la bontà dell'impostazione del modello e per verificare quanto le relazioni che pone in essere siano corrette, possiamo definire diversi criteri che progressivamente sono più sicuri:

1. un primo livello di analisi confronta qualitativamente il comportamento del singolo agente e degli effetti delle relazioni con altri e con l'ambiente; il modello sarebbe in questo caso una caricatura della realtà come rappresentabile tramite un semplice grafico che permette di osservare il comportamento;
2. un secondo livello di analisi confronta qualitativamente il comportamento della popolazione di agenti nell'ambiente; il modello sarebbe in questo caso significativo laddove vi fosse corrispondenza fra la distribuzione dei comportamenti rilevati empiricamente in maniera non ancora analitica e di quelli simulati;
3. un terzo livello di analisi ricerca il confronto di dati quantitativi della macrostruttura della popolazione reale con le analisi interne al modello permesse da strumenti di valutazione statistica e quantitativa in genere;
4. infine solo quando il comportamento delle strutture macro è verificato analiticamente si può pensare di effettuare una analisi anche dei singoli individui tramite analisi di tipo longitudinale o di tipo cross – section.

La formalizzazione concettuale del comportamento dei modelli *ABM* : *the ERA scheme*



Uno degli schemi di impostazione più efficaci per il disegno della struttura ad agenti è quello di usare un sistema di produzione, il quale è generalmente composto di tre parti:

1. Un insieme di regole;
2. Una memoria attiva;
3. Un interprete delle regole.

Gli agenti sono costruiti per operare all'interno di un ambiente sociale composto da una rete di interrelazioni con altri agenti.

Può anche rivelarsi utile rappresentare gli agenti all'interno di un ambiente fisico che imponga limiti al movimento o all'interazione.

La caratteristica principale dello schema di tipo *Environment – Rules – Agents (ERA)* mostrato nella figura è quello di mantenere sia l'ambiente, che influisce sul contesto delle regole e dei dati generali, sia gli agenti, con i propri dati, su due livelli differenti.

Nell'implementazone del modello gli agenti non dovrebbero comunicare direttamente, ma tramite l'ambiente; ciò non è ovviamente obbligatorio, ma se si permettesse la diretta comunicazione fra gli agenti il codice da sviluppare potrebbe facilmente divenire molto più complesso.

Con l'obiettivo di semplificare lo schema di codice, il comportamento degli agenti è determinato da oggetti esterni, i cosiddetti *Rule – Masters,* che possono essere interpretati come una rappresentazione astratta della capacità cognitiva dell'agente. Sistemi di produzione, classifier Systems, reti neurali artificiali ed algoritmi genetici sono tutti canditati per lo sviluppo di un gestore delle regole.

Potrebbe inoltre rivelarsi necessario implementare regole intermedie o meta – regole utilizzate per modificare le regole principali (ad esempio l'aprendimento di una rete neurale).

Gli oggetti di questo tipo, definiti *Rule – Masters* sono perciò collegati agli oggetti *Rule – Maker,* la cui attività è modificare le regole di gestione del comportamento degli agenti. Un *Rule – Master* ottiene informazioni necessarie ad applicare le regole dagli agenti stessi o da agenti speciali che hanno il compito di raccogliere e redistribuire i dati.

Alla stessa maniera i *Rule – Makers* interagiscono con i *Rule – Masters,* i quali sono responsabili di prendere dati dagli agenti e di passarli ai *Rule – Makers.*

Questa struttura di codice sembra complessa, ma nel caso in cui si debba modificare una simulazione il vantaggio di avere uno schema molto rigido da seguire è notevole.

Un ulteriore beneficio derivante dall'utilizzo dello schema *ERA* è la sua modularità, ossia la struttura di programmazione che distingue ogni parte di programma in un sottoprogramma e che permette di modificare il Rule – Master ed il Rule – Maker oppure i singoli agenti ognivolta che si vuole, per passare ad esempio da un modello *agent based* ad un *classifier system* o ad altre forme di simulazione.

La formalizzazione dei modelli *ABM*: il progetto *SWARM*

Probabilmente, un programma scritto in ambiente Windows in un determinato linguaggio, non sempre che funziona senza modifiche su una macchina con sistema operativo Unix. Esiste però una soluzione consentita dalla programmazione avanzata, che è quella di definire programmi applicativi speciali e librerie che forniscano un'ampia gamma di funzionalità utili nella simulazione in campo sociale ed in grado di garantire un'indipendenza sempre maggiore dalla macchina utilizzata.

Un esempio molto importante che è preso in considerazione e sul qual si basa tutta la parte di applicazione pratica del presente lavoro è il progetto Swarm (http://www.santafe.edu/projects/swarm), il quale è un pacchetto di software per la simulazione multi agente di sistemi com-

plessi, sviluppato inizialmente presso il Santa Fe Institute per la ricerca sulla complessità.

Swarm ha l'obiettivo di divenire un utile programma applicativo per i ricercatori in una moltitudine di discipline. L'architettura di base di Swarm provvede a fornire un contesto di esecuzione nel quale sia possibile osservare la simulazione di gruppi di agenti con le proprie interazioni: con questo strumento è possibile sviluppare un'elevata varietà di modelli fondati su agenti.

All'interno del contesto così definito possiamo individuare alcune linee guida nella gestione delle procedure dell'esperimento:

1. Occorre creare un universo artificiale composto dallo spazio, dal tempo e dagli oggetti che vi possono essere collocati in certi punti. Tali oggetti dovranno essere in grado di determinare il proprio comportamento in accordo con le proprie regole ed il proprio "stato" interno;
2. Creare un certo numero di oggetti utili per osservare, regi-

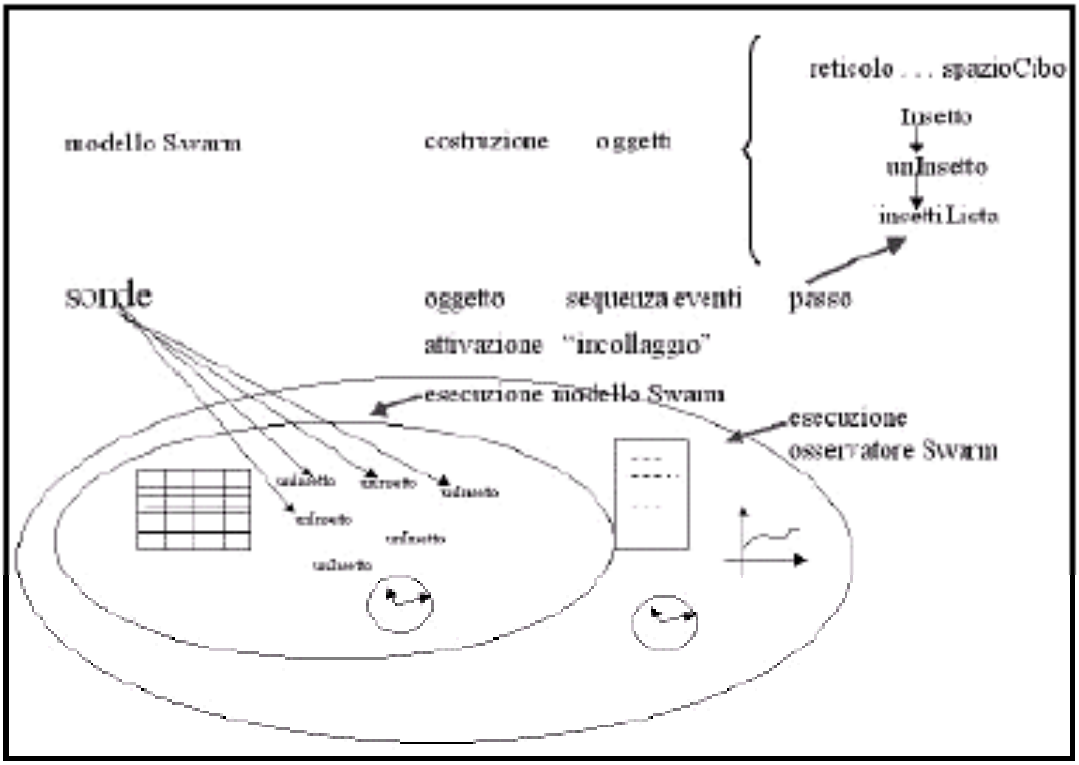


Figura 1: Modello di esempio di una simulazione Swarm. Fonte seminario Swarm (Terna 2002)

3. Simulare l'andamento dell'universo modellizzato, osservando gli oggetti nel trascorrere del tempo;
4. Interagire con l'esperimento avendo a disposizione degli oggetti che permettano di effettuare delle prove controllate, ossia con dati presi non casualmente ma definiti dallo sviluppatore, o dall'utilizzatore qualora fosse persona diversa da questo, in maniera tale da poter simulare ed osservare più situazioni.

Dopo aver creato una struttura di rilevazione, osservazione e definizione delle variabili della simulazione, occorre creare i singoli agenti che interagiranno, secondo lo schema *ERA* descritto in precedenza, all'interno di un contesto come fossero *sciami* (*Swarm* appunto). La ripartizione della simulazione in due livelli è molto interessante ed utile ai fini pratici, infatti la presenza di uno o più *Model* nella stessa simulazione, e di un *Observer* in grado di registrare e rendere disponibili tutti i dati salienti, permette di realizzare effettivamente le interazioni e la complessità tipiche delle strutture reali.

Conclusione

La descrizione condotta sino ad ora, al riguardo di una terza via nell'impostazione dei modelli di rappresentazione delle complesse strutture sociali, costituisce il fondamento sulla base del quale il mio lavoro è sviluppato, cercherò infatti, per quanto possibile, di trattare degli aspetti economici e strutturali della realtà d'azienda, indagando con i metodi descritti in questo capitolo e con gli strumenti di cui si parlerà nel seguito.

L'obiettivo sarà rappresentare un caso aziendale ponendo particolare attenzione alle interazioni fra gli agenti, la cui natura sarà spiegata più avanti, e soffermandomi sulla complessità che potrebbe nascere nel modello e, di volta in volta, applicando differenti parametri alla simulazione.

Bibliografia

Terna, P. (1996) *Economia e simulazione: una rivoluzione nel metodo*, in "Sistemi Intelligenti", 3, pp. 496-502

Langton, C.G. (1992) *Vita artificiale*, in "Sistemi intelligenti", 2, pp. 189-246

Cipolla, C. M. (1996) *Introduzione allo studio della storia economica*, Il Mulino, Bologna

Barkley Rosser, J. Jr. (1999) *On the complexities of complex economics dynamics,* in Journal of economic perspectives, volume 13, 4, pp. 169-192

Gilbert, N. (1999),Terna, P., *How to build and use agent based models in social science,* in "Mind & Society", 1, 57-72

Axtell, R.L. (1994), Epstein, J.M., *Agent based modeling: understanding our creations*, in "The bulletin of the SantaFe Institute", pp 28-32