

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO

FACOLTÀ DI ECONOMIA

CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA E COMMERCIO



TESI DI LAUREA IN ECONOMIA MATEMATICA

Un modello di simulazione d'impresa con MATLAB, Simulink e Stateflow

Relatore:

Prof. Pietro Terna

Correlatore:

Prof. Sergio Margarita

Candidato:

Alessandro Raimondi

ANNO ACCADEMICO 2002-2003

Ringraziamenti

Desidero ringraziare il signor Valter Brasso, presidente di Teoresi, per avermi offerto la possibilità di realizzare la mia tesi di laurea con MATLAB, Simulink e Stateflow, e permesso di seguire i corsi di formazione per l'utilizzo di questi strumenti. Inoltre ringrazio mio cugino, l'ing. Giovanni Pastrone, per avermi proposto quest'idea e per avermi messo in contatto con Teoresi.

Ringrazio il dott. Alessandro Tarchini, *Managing Director* di The Mathworks Italia, che mi ha concesso la licenza per l'utilizzo di tutti i prodotti The Mathworks per quasi due anni. Ringrazio inoltre la dott.ssa Rossana Pacchiolo, per il costante supporto tecnico.

Desidero ringraziare anche i miei amici Jacopo Coletto, per i preziosi suggerimenti sull'utilizzo di MATLAB, e Davide Abelli, per l'interessante spunto riguardante l'applicativo Extend.

Infine, ringrazio tutti coloro che, in un modo o nell'altro, mi hanno sostenuto e aiutato durante la realizzazione di questo lavoro.

Indice

Ringraziamenti	2
Introduzione	6
1 Sul concetto di Complessità	9
1.1 Meccanicismo, finalismo, olismo	10
1.1.1 L'antichità	10
1.1.2 La critica del finalismo e il nuovo meccanicismo	13
1.1.3 Il vitalismo	14
1.1.4 Un nuovo ordine di idee	16
1.2 Complessità	18
1.3 Determinismo e indeterminismo	22
1.4 Cibernetica	29
1.5 La Teoria Generale dei Sistemi	34
1.6 Il concetto di sistema	37
1.7 Sul concetto di Complessità	39
2 La Teoria dei Sistemi	41
2.1 Il sistema e l'ambiente	41
2.1.1 Il Sistema quasi-isolato	42
2.1.2 Il sistema a stati	44
2.1.3 Proprietà esterne dei sistemi	47
2.2 Sistemi e sottosistemi	49
2.3 La dinamica dei sistemi complessi	54
2.3.1 La crescita	55
2.3.2 La retroazione	60
2.3.3 La stabilizzazione	65
2.4 La Teoria dei Sistemi: ricapitolazione	71
3 La Complessità del Sistema Economico	73
3.1 Il problema economico	73

3.2	Costruttivismo ed evolucionismo	75
3.2.1	La critica all'impostazione costruttivista	76
3.2.2	L'impostazione evolucionista	77
3.3	L'ordine nel sistema economico	79
3.3.1	Il concetto di ordine	79
3.3.2	La composizione dell'ordine della società	81
3.4	Il mercato	86
3.4.1	Il concetto di mercato	86
3.4.2	La catallassi	87
3.4.3	Pianificazione	91
3.5	La prospettiva neoclassica	93
3.6	La scoperta imprenditoriale	95
3.7	L'impresa	97
3.8	La complessità del sistema economico	100
4	Scienza, simulazione ed economia	103
4.1	Il metodo scientifico	103
4.2	Modelli	105
4.3	Il problema delle scienze sociali	106
4.4	La simulazione	109
4.5	Metodi di simulazione	112
4.6	Simulazione e decisioni	117
5	Strumenti e modelli	119
5.1	MATLAB	119
5.2	Simulink	122
5.3	Stateflow	126
5.4	Il modello jES in Simulink e Stateflow	133
6	Il modello LABSSES	137
6.1	Uno schema generale	137
6.2	Il tempo	141
6.3	L'Order Generator	142
6.4	Le unità produttive	144
6.5	La Accounting Unit	148
6.6	I risultati della simulazione	158
	Riflessioni e considerazioni conclusive	161
	Bibliografia	169

Introduzione

In questo lavoro affrontiamo l'economia come un sistema complesso, ovvero un sistema in cui gli elementi, e le relazioni fra questi, si evolvono e si modificano nel tempo in modo non lineare, dando origine a nuove interazioni, comportamenti e aggregati, non prevedibili a priori.

Il metodo d'elezione per l'analisi dei sistemi complessi è la simulazione con il calcolatore: questa infatti permette di creare un modello aderente in ogni sua parte con la realtà che si desidera rappresentare. Ricreare la realtà consente anzitutto di comprenderla meglio. In secondo luogo, permette di considerare le caratteristiche di ogni elemento facente parte del sistema, e il modo in cui questo interagisce con gli altri elementi e con l'ambiente esterno. Infine, un modello di simulazione ci permette di analizzare il comportamento complessivo di un sistema, e il suo modo di reagire tanto a modifiche nella propria struttura interna quanto nell'ambiente circostante. La nostra attenzione si concentra sull'impresa, vista come soggetto in grado di risolvere i problemi e le esigenze del mercato.

Il modello di simulazione presentato è realizzato con strumenti molto potenti e versatili, ovvero MATLAB, Simulink e Stateflow: questi rappresentano un ambiente di sviluppo integrato, caratterizzato da una forte strutturazione logico-matematica, e permettono di creare modelli grafici fondati sui concetti e sulla struttura propria della teoria dei sistemi. Il modello non è infatti descritto direttamente tramite codice informatico, bensì per mezzo di un'interfaccia costituita da diagrammi di flusso che consentono di visualizzare la natura degli elementi e delle relazioni che fra questi intercorrono.

Nel primo capitolo si analizza, con l'obbiettivo di comprendere il significato del concetto di complessità, l'evoluzione nel pensiero filosofico e scientifico della rappresentazione della realtà: a partire dal pensiero degli antichi greci e fino alle teorie del Novecento, sono contrapposte la visione meccanicista e quella finalista, per giungere infine a quella sorta di terza via che fa riferimento alla complessità. Nella medesima prospettiva sono affrontati i concetti di determinismo e indeterminismo e il sorgere di nuove scienze, quali la Cibernetica e la Teoria Generale dei Sistemi, che costituiranno il nucleo per la

nascita di un modo diverso di guardare ai problemi tanto naturali quanto sociali, e quindi alla realtà.

Nel secondo capitolo sono illustrati i principi fondamentali della Teoria dei Sistemi: tali concetti, oltre a costituire un fondamento teorico per gli strumenti di simulazione utilizzati, formano una struttura logica che ben si adatta allo studio di ogni ambito scientifico e come vedremo, anche alla scienza economica.

Nel terzo capitolo viene presentata l'economia come un sistema complesso, attraverso un punto di vista che fa ampio uso delle teorie e dei concetti proposti nei primi due capitoli: sono anzitutto descritte la prospettiva costruttivista e quella evoluzionista; quindi viene analizzato il concetto di ordine del sistema economico e il ruolo ricoperto in tale ambito dal processo di mercato, con riferimento alla contrapposizione fra il pensiero liberista e quello socialista; successivamente sono proposte le idee neoclassiche circa il comportamento degli agenti economici e la rappresentazione della realtà economica: a queste fanno da contraltare le posizioni della scuola austriaca e l'idea di razionalità limitata, e a tale riguardo è presentata la figura dell'imprenditore quale soggetto in grado di individuare le possibilità offerte dagli squilibri del mercato. Infine, è analizzata e criticata la possibilità di una nuova economia non più di mercato, bensì delle organizzazioni.

Il quarto capitolo ha per oggetto la metodologia della simulazione al calcolatore: viene proposta una analisi del metodo scientifico e il ruolo che la simulazione può ricoprire in tale contesto, con particolare riguardo all'ambito delle scienze sociali. Sono inoltre presentate alcune metodologie e strumenti di simulazione.

Il quinto capitolo offre una breve panoramica sulla struttura e sulle capacità degli strumenti MATLAB, Simulink e Stateflow: alla descrizione delle principali caratteristiche seguono alcuni esempi di semplici modelli realizzati per mezzo di queste applicazioni. Quindi è presentata la formalizzazione del modello di impresa fondata sul modello jES (*Java Enterprise Simulator*) del prof. Terna: tale struttura verrà riprodotta, con le modifiche atte a renderla compatibile con i nostri strumenti.

Il sesto e ultimo capitolo descrive la forma e il funzionamento di LABSSES (*matLAB Simulink and Stateflow Enterprise Simulator*): è proposta una dettagliata analisi della struttura degli elementi che compongono il sistema, e delle relazioni che determinano le modalità di interazione fra questi. Sono inoltre descritte le possibilità di analisi dei problemi economici e finanziari che il modello offre, e i risultati derivanti dalla simulazione.

Capitolo 1

Sul concetto di Complessità

L'economia può essere studiata in diversi modi: a seconda del metodo e del punto di vista che adottiamo, otteniamo risultati di differente portata. L'economia è un sistema: è composta da numerosi elementi e da un'incalcolabile miriade di interazioni fra questi. Tale struttura dà per lo più origine a comportamenti, aggregati e situazioni, nuove e imprevedibili sulla base delle informazioni possedute circa i singoli componenti: in altri termini, all'interno del sistema economico si manifesta la complessità.

Cosa in verità sia la complessità è stato a lungo oggetto di dibattito: non è facile darne una definizione semplice e univoca, dal momento che tante sono le possibili prospettive da cui guardare al problema. Ma la complessità esiste.

In questo capitolo cercheremo di comprendere come, nel corso dell'evoluzione del pensiero, si sia giunti al concetto di complessità: vedremo come la complessità sia una risorsa importante, in grado di risolvere questioni che altre prospettive, altre impostazioni, semplicemente non risolvono, o che dirimono per mezzo di soluzioni non ben giustificate. Vedremo come la complessità appartenga a tutti i campi del sapere, e come problemi apparentemente distanti possano in realtà essere riuniti per mezzo di unico paradigma. L'obiettivo sarà quello di cercare di comprendere il significato della complessità, e la sue origine: potremo così renderci conto di come effettivamente l'economia sia un sistema complesso.

Si manifesterà allora la necessità di studiare l'economia con metodi differenti da quelli tradizionali: tali metodi infatti, operando per mezzo di astrazioni e di semplificazioni apparentemente innocue, in realtà stravolgono la nostra visione del problema e limitano enormemente le nostre capacità di giungere alla comprensione effettiva dei fenomeni e delle cause che li determinano.

Avremo così bisogno di nuovi strumenti, e nuove prospettive, da cui guardare al problema economico.

1.1 Meccanicismo, finalismo, olismo

I filosofi dell'antica Grecia furono i primi, per quanto ne sappiamo, a tentare di dare una spiegazione riguardo al modo in cui la realtà è strutturata, ed è a questi che il pensiero filosofico e scientifico sviluppatosi nel corso dei secoli deve le due maggiori raffigurazioni mentali della realtà naturale: tali raffigurazioni si basano una sui concetti di elemento e struttura, l'altra su quello di processo.

1.1.1 L'antichità

L'atomismo di Democrito, risalente al V secolo a.C., è il primo dei grandi sistemi della storia, e sorge dalla necessità di risolvere le difficoltà poste da pensatori quali Anassogora e Zenone riguardo al concetto di infinita divisibilità delle grandezze geometriche. Secondo il paradosso del molteplice, l'infinita divisibilità di un segmento dimostrerebbe che il segmento stesso è costituito da un'infinità di punti: ammettendo che ciascuno dei punti abbia una grandezza diversa da zero, si dovrebbe giungere alla conclusione che la loro somma, ovverossia il segmento, sia infinitamente grande. D'altronde se si considera che i singoli punti abbiano grandezza nulla, ne consegue che anche la loro somma è nulla, e pertanto il segmento scompare¹.

Democrito dirime la questione compiendo una distinzione fra il suddividere matematico, che a suo dire non trova corrispondenza nella realtà ed è proseguibile all'infinito, ed il suddividere fisico, che è invece condizionato dalla natura dell'oggetto della divisione e non può pertanto superare un certo limite. La suddivisione fisica può infatti avvenire fintanto che ha per oggetto corpi composti, ma non può avvenire sugli esseri semplici: questi sono gli atomi, eterni, intrasformabili, indivisibili e impenetrabili. Dividere un corpo significa separare gli atomi che lo compongono; in nessun caso può significare dividere i singoli atomi. Il concetto di atomo è un concetto fisico, così come è fisico lo spazio in cui sono immersi: un vuoto concepito come mancanza di materia, al cui interno gli atomi si muovono ed entrano in contatto; uno spazio che separa sempre due atomi distinti, seppur di poco, anche qualora questi appaiano legati in un unico corpo indivisibile.

¹Saranno Leibniz e l'avvento del calcolo infinitesimale, ormai nel Seicento, a dirimere la questione: l'idea sarà quella di poter ottenere un risultato finito sommando infiniti termini di grandezze infinitesime

Tramite il concetto di atomo e le sue proprietà, il pensatore di Abdera giunge alla spiegazione delle sensazioni. Gli atomi sarebbero forniti di due sole qualità: grandezza e forma geometrica. Pertanto, gli aggregati di atomi possono differire per la grandezza, la forma, il numero e la posizione dei singoli elementi. Dal movimento degli atomi traggono origine i singoli corpi e le variazioni cui questi sono sottoposti. Ogni percezione sensibile è dovuta a contatto: effluvi di atomi partono dai corpi e giungono ai nostri organi di senso. Tutto dunque si fonda sul moto degli atomi: ed è fondamentale come Democrito non ritenga necessario ricorrere a cause o principi esterni agli elementi primi per dare una spiegazione di tale moto, ma lo consideri piuttosto come un semplice stato naturale, che non necessita spiegazione ma che anzi aiuta a spiegare la formazione dei corpi e i mutamenti ai quali sono sottoposti. L'ampia cosmogonia democritea è senza ombra di dubbio la più rigorosa concezione naturalistica dell'antichità, ed è strutturata in modo da fornire una precisa spiegazione per ogni tipo di fenomeno: è un materialismo permeato da un profondo carattere meccanicistico, dal momento che le uniche leggi esistenti sono di tipo meccanico. Tali leggi consentirebbero di ricavare con esattezza il comportamento dei corpi a partire dalla disposizione iniziale dei loro atomi: quella di Democrito è dunque una concezione strettamente deterministica dei processi naturali, priva di qualsivoglia grado di libertà.

Appartiene ad un'epoca precedente, il VI secolo a.C., il padre di un'altra corrente di pensiero: Eraclito di Efeso. Questi ha una mentalità più di mistico che di scienziato, ed è orientato verso una visione etico-religiosa dei fenomeni, piuttosto che verso una loro spiegazione chiara e definita. Eraclito è fermamente convinto dell'esistenza di uno stadio intermedio tra essere e non essere, lo stadio del divenire. Considera che l'unità dell'essere scaturisca dalla sua stessa molteplicità: per unità egli intende il divenire, e questo deriva dall'esistenza degli opposti, è l'unità dei contrari. In un celebre frammento (Abbagnano, 1960):

E' la stessa cosa in noi il vivo e il morto, il desto e il dormiente, il giovane e il vecchio; poiché queste cose mutandosi son quelle, e quelle a loro volta mutandosi son queste.

I contrari costituiscono dunque un tutt'uno inscindibile che alimenta una realtà in divenire, una realtà che, secondo il celebre adagio, è come un fiume, che non permette mai di immergersi due volte nella stessa acqua. L'universo si trasforma, varia e scorre nell'attuazione della profonda razionalità del *logos*, la sostanza o causa del mondo, definita da Eraclito 'la sola legge divina che domina tutto ciò che vuole e basta a tutto e prevale su tutto'. Egli rimane però un profondo razionalista, e ritiene sia indispensabile superare i sensi per

giungere alla ragione: questa è infatti la sola in grado di far cogliere l'unità nella molteplicità.

Il concetto di divenire venne ripreso anni dopo, nel IV secolo a.C., da uno dei più grandi filosofi greci: Aristotele. Nella propria metafisica lo stagirita assume le nozioni platoniche di materia e forma, che costituiscono un *sinolo*, un tutt'uno che compone la sostanza di ogni esistente. Introduce inoltre una seconda distinzione, quella tra potenza e atto, volta a spiegare la struttura del movimento: ogni movimento è passaggio dalla potenza all'atto. Aristotele riunisce le quattro nozioni considerando che la materia possiede in potenza le forme che poi possiederà in atto. Tale concezione introduce un dinamismo a noi già noto: ogni oggetto, essendo potenza che tende ad attuare una forma, è una sostanza che diviene. A differenza però di quanto avviene nel divenire eracleiteo, in cui la sostanza è immersa in un fluido generico e indeterminato, la sostanza è qui potenza di un ben preciso atto. L'atto è fondamentale, non esiste divenire, non esiste passaggio da potenza ad atto, senza un atto preesistente: ogni forma si realizza attraverso una forma già realizzata. Tale genere di divenire deve dunque svilupparsi tra una materia priva di forma, su cui Aristotele non si sofferma molto, e una forma pura, priva di materia, che è invece il cardine del sistema aristotelico: questa pura forma è dio, motore dell'universo, immobile in quanto interamente atto. L'intero universo è subordinato ad un unico fine, che è dio, e da dio dipendono, come abbiamo visto, l'ordine e il movimento dell'universo: tutto ciò che è per natura esiste per un fine, e il fine è la stessa sostanza o forma, o ragion d'essere, della cosa, fino a giungere al fine supremo, la forma assoluta e pura. Questa è la dottrina finalistica, la dottrina che ammette la causalità del fine: il fine è l'unica causa dell'organizzazione del mondo nonché la causa dei singoli eventi.

E' evidente la profonda differenza fra le due impostazioni. Peraltro, nei secoli a venire, numerosi pensatori effettueranno delle commistioni fra i due ordini di idee: a prescindere da questo, restano ben distinti i due pilastri di pensiero che si contrapporranno fin quasi ai giorni nostri. Democrito è convinto di poter spiegare il mondo mediante le sole cause meccaniche, il moto e il contatto degli atomi: il fine resta così un problema. Aristotele invece realizza una metafisica di impostazione fermamente teleologica: nella spiegazione razionale il ruolo principale è dato alla causalità finale, e il fine è dunque il principio di spiegazione.

Con l'avvento del cristianesimo, il concetto della provvidenza divina diverrà il fondamento del finalismo: l'uomo diverrà il fine del creato, tutto il resto essendo destinato a servirgli. Di ogni singolo fenomeno verrà individuata la finalità sulla base del principio che dio non può compiere nulla di inutile. Da queste idee prende il via l'impoverimento e il progressivo abbandono dello spirito scientifico e della ricerca scientifica originale, in favore di

campi di ricerca caratterizzati dalla prevalenza di elementi mistici e fideistici, quali quelli della magia e dell'alchimia, fino a giungere alla scomparsa dell'atteggiamento razionale verso la realtà naturale ed umana: si entra così nel cupo periodo del Medioevo.

1.1.2 La critica del finalismo e il nuovo meccanicismo

Si dovrà attendere il '300 e Guglielmo Ockham per vedere una prima critica del principio finalistico, ma saranno la rivoluzione scientifica e il meccanicismo moderno di Galileo, Bacon e Descartes a ridestare una corrente di pensiero tesa a scardinare sistematicamente il fondamento teleologico della concezione della realtà che aveva imperato per quasi mille anni.

La disciplina scientifica che ha i maggiori sviluppi fin dalla nascita del mondo moderno è senza ombra di dubbio la meccanica, poiché trattando dei corpi in generale, del loro movimento o del loro equilibrio, permette di astrarre da ogni altra considerazione e di ricondurre l'analisi a condizioni più semplici (come peraltro ancora oggi si fa in più campi di ricerca, compreso quello economico). Tramite una prospettiva del genere diviene possibile stabilire in maniera inequivocabile i principi e alcune relazioni fondamentali che governano la meccanica: il passo successivo è quello della generalizzazione, che dà una portata universale a tali principi dando luogo al meccanicismo. La realtà naturale viene così ridotta ad una struttura di corpi in movimento, analizzabile in tutte le sue parti semplicemente mediante le precise regole dei movimenti fra queste.

Una delle scoperte che più contribuiscono a muovere il pensiero verso questa direzione è quella del principio d'inerzia: elaborato in principio da Galileo, trova una definizione rigorosa solo con Newton. Ma è Descartes il primo ad adottarlo in maniera sistematica, tanto da farne il punto di riferimento di una dottrina che è la più ampia, definita e organica formulazione del meccanicismo. 'Ciascuna cosa, in quanto è semplice rimane per quanto è in sé, sempre nel medesimo stato, e non è mai mutata se non da cause esterne': tale enunciazione del principio permette di valutare ogni fenomeno, singolarmente o in relazione con altri, sulla base della sola nozione di causa esterna. Ogni fenomeno viene così a risolversi in una serie di operazioni, magari complicate, ma comprensibili e definibili in maniera univoca: nel contempo i corpi perdono qualsivoglia specificità. Subentra così una concezione dinamica della realtà alla tradizionale concezione statica dei fenomeni, che li vedeva correlati e strutturati unicamente in vista dei fini generali della natura. La macchina diviene modello teorico di indagine, un modello operativo che dà concretezza ad una astratta struttura della realtà che si fonda

sui principi meccanici: la ricerca scientifica è sinonimo di ricerca del modello meccanico che sostituisce il fenomeno reale che si vuole analizzare.

Nei secoli successivi le idee meccanicistiche saranno riprese dal materialismo (ad eccezione di quello dialettico, che vi si opporrà) che le estenderà a tutta la realtà, comprendendo anche la psiche umana. Ma il meccanicismo diverrà soprattutto sinonimo di determinismo, ovvero della concezione di una realtà pervasa da una rigorosa causalità necessaria che invade tutti i fenomeni della natura. In particolare sarà il francese Pierre-Simon Laplace (1749-1827), ormai nell'Ottocento, a tracciare in linea di principio il piano generale e rigoroso di una spiegazione meccanicistica dell'intero universo, basandosi sulla presunta illimitata applicabilità delle leggi della dinamica e sulla ipotetica integrabilità di tutte le equazioni differenziali volte a descrivere i singoli fenomeni verso cui tali leggi conducono. Le linee generali del meccanicismo scientifico saranno tracciate da Laplace in maniera così perfetta, da arrivare a costituire l'ideale della ricerca scientifica ottocentesca, e il punto di riferimento storico per chiunque voglia discutere di meccanicismo universale e di determinismo. E' infatti celebre il passo, in cui egli offre la propria lucida e rigorosa visione di universo deterministico, e che permette di qualificarlo a pieno titolo come padre di tutti i riduzionisti (Geymonat, 1970):

Dobbiamo dunque considerare lo stato presente dell'universo come l'effetto del suo stato anteriore e come la causa del suo stato futuro. Un'Intelligenza che, per un dato istante, conoscesse tutte le forze da cui è animata la natura e la collocazione rispettiva degli esseri che la compongono, se per di più fosse abbastanza profonda da sottomettere questi dati all'analisi, abbraccerebbe nella stessa formula i movimenti dei più grandi corpi dell'universo e dell'atomo più leggero: nulla sarebbe incerto per essa e l'avvenire, come il passato, sarebbe presente ai suoi occhi.

1.1.3 Il vitalismo

A contrapporsi nuovamente alla concezione meccanicistica della realtà sarà nell'ottocento una nuova corrente, quella vitalista, che considera i fenomeni vitali come irriducibili ai fenomeni fisico-chimici. Tale irriducibilità si manifesta in diversi aspetti: anzitutto i fenomeni vitali non possono essere interamente spiegati con cause meccaniche, bensì si fondano su di una forza vitale indipendente dai meccanismi fisico-chimici. In particolar modo, il neo-vitalismo ottocentesco dopo aver necessariamente preso atto della possibilità di produrre nei laboratori sostanza organiche, riconosce l'utilità dell'analisi fisico chimica dei fenomeni vitali, ma continua a sostenere la presenza fondativa di un elemento sconosciuto e inaccessibile, variamente denominato.

Una voce autorevole di profonda polemica contro il determinismo e il meccanicismo in genere, è quella del filosofo francese Henri Bergson (1859-1941): il suo pensiero è caratterizzato da un bipolarismo dell'essere in cui egli esalta la coscienza interiore, capace di rivelarci un reale originario che invece l'esperienza ordinaria e in particolare quella scientifica non arriverebbero a conoscere. E' in particolare sul problema del tempo che Bergson si concentra, e sulla sua relazione con il nostro essere: egli sottolinea come per la meccanica il tempo sia semplicemente una serie di istanti che si susseguono in un ben determinato ordine rettilineo, ovvero passato, presente e futuro. Per la realtà della coscienza invece, il tempo è qualcosa di non riducibile all'istante, è un flusso continuo in cui i momenti si compenetrano vicendevolmente senza poter essere separati, il tempo è durata. La concezione meccanicistica del tempo ha certamente un grado di verità, e la sua exteriorizzazione consente una buona analisi dei fenomeni che riguardano il mondo inorganico. Tale concezione però confonde il tempo con lo spazio, considerando gli istanti come qualcosa di statico invece di comprendere che ognuno di essi porta al di là di se stesso: di qui la perdita della percezione dei principi su cui si fonda il concetto di durata, e conseguentemente, l'inadeguatezza a spiegare i fenomeni del mondo organico e il profondo divenire della vita. Il filosofo francese sottolinea come tale divenire si sottragga a ogni forma di trattazione matematica e alla causalità: in particolare con riferimento a quest'ultima, parla di libero arbitrio, e considera come l'anima sia libera, essendo immersa nel perenne fluire della durata, e come i suoi atti siano sempre la creazione di qualcosa di nuovo e irriducibile agli stati antecedenti; né l'anima è la causa di essi, dal momento che non è una sostanza separata bensì in essi vive e si costituisce.

Bergson critica inoltre l'evoluzionismo, accusandolo di essere meccanicistico e quindi incapace di spiegare il vero senso dell'evoluzione: l'universo in verità si evolve in quanto il suo esistere è un progredire nella durata, e nella durata si esprime lo *slancio vitale*, ovvero una forza che agisce all'infuori di ogni schema deterministico. L'opposizione non è solo nei confronti del meccanicismo, in cui tutto è determinato da una causa passata, ma anche del finalismo, che altro non sarebbe se non un meccanicismo rovesciato, in cui tutto risulta determinato dal fine futuro: in entrambi i casi la determinazione della realtà giunge da qualcosa che esiste al di fuori del tempo. Lo slancio vitale è invece una spontaneità che non può essere ridotta a schema alcuno, e che perciò crea perennemente:

Il cammino da percorrere si crea mano a mano che l'atto lo percorre.

Se è sicuramente importante una prospettiva di questo genere, resta però il fatto che una causa che sfugge all'osservazione in verità non spiega nulla.

1.1.4 Un nuovo ordine di idee

Come abbiamo visto, il problema della raffigurazione mentale della realtà ha coinvolto nella storia ogni genere di pensatori e ogni campo del sapere umano: dalla matematica alla fisica, dalla meccanica, alla chimica e alla biologia. E sono proprio i biologi, nel loro ricercare, a scontrarsi ancora con il meccanicismo da un lato, e con l'insostenibilità del vitalismo dall'altro, per giungere ad assumere un eguale distacco da entrambe gli indirizzi.

Fra i primi a tracciare questo nuovo percorso è John Scott Haldane (1860-1936), uno dei più importanti fisiologi inglesi. Egli sostiene che i processi di adattamento e regolazione fisiologica, in cui appare chiaramente la tendenza ad uno scopo, non possono essere spiegati nei termini meccanici di causa ed effetto, bensì richiedono la nuova categoria della reciprocità. Egli considera come per una componente, il fatto di far parte di un sistema non sia essenziale alla sua esistenza, dal momento che essa ha numerose proprietà che le appartengono prescindendo dalla sua relazione con il sistema: con riguardo alle caratteristiche della vita però, le parti non sono così indipendenti. Esse sono determinate non solo per quanto riguarda la loro azione reciproca l'una sull'altra, ma anche per quanto è inerente alle parti in se stesse: nel vivente non vi è niente nelle parti che non sia una manifestazione del tutto. In tutto ciò che le parti fanno ed in ciò che esse sono, manifestano il tutto: e solo in quanto determinate dal tutto esse manifestano ciò che sono in se stesse. Questi sono i principi di quella che sarà generalmente identificata come la concezione organicista.

Un altro studioso che ha fornito contributi importanti a questo differente ordine di idee è Jan Christian Smuts (1875-1950): il suo interesse scientifico filosofico non si limita alla biologia ma si estende ad una visione più generale della natura, vista come un processo di sviluppo ascendente verso gradi sempre più elevati di unità e totalità. Nella sua opera *Olismo ed evoluzione* (1926) Smuts considera il meccanicismo inadeguato ad una conoscenza della natura poiché non è in grado di spiegare il carattere creativo del suo sviluppo: 'Il grande problema della conoscenza, il vero e proprio problema della realtà e proprio questo: come possono gli elementi o i fattori *a* e *b* incontrarsi, combinarsi e fondersi a formare una nuova entità *x* differente da ambedue?' Il meccanicismo infatti comporta una combinazione di parti in relazione reciproca, tale che queste parti non perdono la loro identità o indipendenza sostanziale nel ruolo combinato che esse svolgono nel sistema: ne consegue che l'azione del sistema è la risultante delle attività indipendenti di tutte queste parti; le parti rimangono e l'attività del sistema è la somma matematica della loro attività. Tale attività meccanica non può dunque spiegare il sorgere di nuove proprietà nel corso creativo dell'evoluzione: que-

ste nuove qualità si producono infatti solo attraverso un processo olistico in cui la funzione risultante non è una semplice somma, bensì il cambiamento tanto degli elementi quanto della loro risultante finale. Nel processo olistico la sintesi delle parti costituisce il tutto, e il tutto a suo volta imprime il suo carattere su ogni parte individuale.

Conway Lloyd Morgan (1852-1932) mantiene una posizione concorde con quella di Smuts, ampliandola anzi con la propria teoria dell'*evoluzione emergente*: ricercatore nel campo della psicologia animale, si occupa in particolare del problema dal punto di vista evoluzionistico, arrivando a superare l'idea di una graduale comparsa di nuove proprietà nel processo di trasformazione, in favore di un repentino salto qualitativo. Per Morgan il processo evolutivo comporta la distinzione fra proprietà risultanti e proprietà emergenti. Le prime sono, per esempio, le proprietà additive di un composto chimico che risultano prevedibili in base alla conoscenza delle parti: il peso, ad esempio. Le proprietà emergenti sono invece quelle non prevedibili in base a tale conoscenza e costituiscono l'effetto qualitativamente nuovo di una relazione non semplicemente additiva o meccanica. Si pensi alla molecola d'acqua, composta da due atomi di idrogeno ed uno di ossigeno: conoscendo solamente le caratteristiche dei singoli elementi non è possibile dedurre che dall'unione dei due gas emergerà la nuova componente liquida, appunto l'acqua.

E' infine uno dei maggiori rappresentanti dell'organicismo, il biologo inglese Edward Stuart Russell, a riunire le idee dei suoi predecessori e a darne una visione metodologica: egli sostiene che l'attività del tutto non può essere completamente spiegata nei termini dell'attività delle parti isolate mediante l'analisi, e può essere tanto meno spiegata quanto più astratte sono le parti medesime. Peraltro nessuna parte di qualsiasi unità vivente e nessun singolo processo di qualsiasi complessa attività organica possono essere completamente compresi isolandoli dalle strutture e dalle attività come un tutto.

Queste correnti di pensiero, intente a rifiutare qualsivoglia forma meccanicistica e finalistica, e orientate piuttosto a scoprire e a capire le relazioni fra le parti e l'evoluzione di tali relazioni, hanno tracciato la via da cui sorgeranno nuove discipline scientifiche e nuovi campi di ricerca, la via che seguiranno alcuni fra i più grandi pensatori e scienziati del XX secolo, il periodo dei più grandi stravolgimenti sociali e politici, e di una nuova e luminosa vita scientifica. Tutto ruoterà ora attorno ad un nuovo paradigma: il concetto di complessità.

1.2 Complessità

Abbiamo visto come nel corso dei secoli, diverse rappresentazioni della realtà, e diverse concezioni di materia, causalità, spazio e tempo si siano avvicinate e scontrate. Invero, numerosi aspetti di tutte queste teorie meritano ancora oggi un'estrema attenzione: è ben noto che gli atomi esistano, anche se nella gerarchia della materia non occupano quel luogo di elementi primi e indivisibili che Democrito gli aveva attribuito; resta peraltro fuori di dubbio che il mero moto degli atomi non può essere in grado di spiegare l'ordine e il funzionamento dell'universo. E' peraltro difficile non soccombere all'impressione che gli elementi cooperino in qualche modo, per giungere tramite il loro comportamento ad una unità di natura coerente: nessuno scienziato al giorno d'oggi può però accettare di adagiarsi sull'idea di un universo intenzionale, permeato da un volere divino e superiore, quale poteva essere quello aristotelico. In breve, ancora oggi persiste un profondo dualismo filosofico.

Parmenide sosteneva che nulla può prodursi dal nulla. I suoi seguaci arrivarono a sostenere che nessun cambiamento reale può avvenire nel mondo fisico, essendo le differenze che percepiamo delle illusioni: giunsero così alla concezione di un universo incapace di creare qualcosa di nuovo. Partendo da considerazioni del genere, diviene difficile accettare l'idea di una generazione spontanea dell'universo: o è sempre esistito, o è stato creato da un'intelligenza soprannaturale. Quest'ultima è stata la concezione ripresa da molte religioni: i teologi cristiani avanzano l'idea di una creazione *ex nihilo* possibile solo a dio. In verità, tramite la fisica quantistica la scienza è stata in grado di dimostrare come la materia possa crearsi senza causa apparente: i processi quantistici sono intrinsecamente imprevedibili e indeterministici, e le trasformazioni spontanee sono inevitabili. Gli effetti quantistici sono normalmente limitati agli atomi e ai loro componenti, ma il linea di principio possono applicarsi a qualunque cosa e possono anche rappresentare un modo di indagare l'universo: non è assurdo considerare la possibilità che l'universo si sia creato dal nulla per mezzo di un processo quantistico.

Nonostante gli enormi progressi compiuti con la teoria della relatività, il principio di indeterminazione e la teoria quantistica, la fisica è ancora un campo di ricerca in cui, quanto avviene, avviene necessariamente: i campi sono oggi considerati le vere entità fondamentali, e le particelle sono considerate solo delle perturbazioni. Ma un sistema resta descritto in termini di stati che si evolvono in maniera deterministica in accordo con le leggi dinamiche fissate: questo come già detto, è un approccio che ha dato, dà e continuerà a dare, numerosi successi. Il problema che sorge però, è il medesimo che si ebbe con meccanica e meccanicismo: una troppo entusiastica generalizzazione. Lo scopo dei fisici teorici è quello di formulare un'espressione matematica,

una lagrangiana di un sistema costituito da campi e particelle: tale formulazione, una volta ottenuta, equivarrebbe ad una spiegazione del sistema. I riduzionisti sono convinti di poter trovare una formula che, essendo in grado di rappresentare correttamente la dinamica di tutti i campi e di tutte le particelle osservate, sia la spiegazione dell'intricata complessità dell'intero universo.

Abbiamo però incontrato qualcuno che ha posto un'obiezione fondamentale a questo modo di ragionare, ricordandoci l'esistenza di una dimensione che appare dimenticata: Bergson ci ricorda il tempo. Così come l'abbiamo vista, la fisica ci offre un futuro completamente determinato dal presente: il futuro è già contenuto nel presente, e si può assegnare all'universo uno stato immobile nel tempo contenente tutte le informazioni necessarie per il futuro che verrà, e per il passato che è stato. Ma non è così: Bergson ci insegna che

L'universo non è stato creato, ma viene creato continuamente.
Cresce, forse indefinitamente...

La visione di un mondo attivo e in evoluzione è sorretta dall'osservazione: i mutamenti che si verificano attorno a noi equivalgono a qualcosa di più del semplice riordinamento degli atomi di Democrito. Un riordinamento si verifica: ma in un modo che distingue il passato dal futuro. Forme e strutture nuove vengono continuamente alla luce, e l'universo si evolve seguendo una precisa direzione nel tempo: l'universo compie una trasformazione unidirezionale, si muove in un'asimmetria che punta dal passato al futuro. Più avanti analizzeremo con più precisione questo aspetto, e la sua connessione con i concetti di determinismo e indeterminismo.

In questa tendenza evolutiva unidirezionale è necessario individuare la qualità che sta progredendo: è probabile che tale qualità sia la complessità. Si è infatti convinti che l'universo primordiale si trovasse in uno stato di semplicità estrema e fosse una struttura priva di particolari caratteristiche. Del resto, anche in termini di cosmologia quantistica, è più facile pensare che l'universo sia apparso spontaneamente dal nulla in una condizione di semplicità, piuttosto che all'attuale stadio di elevata complessità: tale complessità sarebbe aumentata con il passare del tempo, e oggi è individuabile a qualunque livello. Dopo aver concepito la possibilità che l'universo e la realtà si siano creati da soli, è necessario capire cosa ha permesso, e permette, che essi si organizzino da soli. In vero, la realtà così come noi la percepiamo abbonda di strutture complesse: dalle conformazioni dei fiocchi di neve, mai eguali fra di loro, alle linee costiere, agli ammassi stellari. Tali strutture compenetrano regolarità e irregolarità, e sono difficili da studiare analiticamente dal momento che presentano un alto grado di individualità: in breve,

è difficile spiegare fenomeni del genere in termini di principi generali ed esatti. Nell'immaginario collettivo sta il concetto secondo cui le forme regolari, la semplicità, la regolarità rappresentino la norma, e l'irregolarità sia solo una sorta di rumore di fondo, di fenomeno marginale e di disturbo. Eppure, sembra vero il contrario, ovvero che la complessità sia in effetti la regola, e la semplicità un caso particolare di configurazione della realtà.

Una prospettiva del genere mette profondamente in crisi la modellistica tradizionale, ovvero quella di origine newtoniana: in genere l'analisi di un sistema complicato viene fatta per mezzo di un modello che lo approssima il più precisamente possibile ad una struttura regolare. E' però evidente come, tanto più l'originale è irregolare, tanto meno la sua semplificazione può risultare soddisfacente. E' del resto quello che appare con sconcertante evidenza nel momento in cui cerchiamo di esprimere tramite equazioni che fanno uso di grandezze semplici, continue e progressivamente variabili, sistemi estremamente complessi, quale per esempio è quello economico: raramente i risultati sono del tutto convincenti. Mentre generalmente i fisici hanno una tolleranza all'errore in un ordine di grandezza di 10^{-8} , gli economisti si trovano spesso in imbarazzo non sulla precisione numerica del risultato, bensì sull'esattezza o meno del suo segno. Ovvero, alla fine di una lunga e difficoltosa analisi, rimane in dubbio se la relazione fra le due (o più) variabili in esame sia direttamente o inversamente proporzionale. Il grado di imprecisione appare ben differente.

Sono fondamentalmente quattro i motivi per cui i sistemi complessi non possono essere affrontati con i metodi tradizionali. In primo luogo, l'abbiamo già accennato, spesso la complessità si manifesta in modo repentino, piuttosto che tramite una lenta e progressiva evoluzione. La seconda ragione è il gran numero di componenti, da cui consegue l'alto numero di gradi di libertà che generalmente caratterizza i sistemi complessi. Tali sistemi inoltre sono generalmente aperti, ovvero possono essere azionati o influenzati dall'ambiente esterno. Infine, raramente i sistemi complessi sono lineari. Ciò significa che l'impostazione tradizionale, che considera i sistemi complessi come raccolte complicate di sistemi semplici, non può essere adottato: i sistemi irregolari, o meglio complessi, non sono analizzabili in termini dei loro costituenti semplici, e il comportamento dell'insieme non è riducibile al comportamento delle singole parti. Piuttosto, i sistemi devono essere trattati come entità uniche, come sistemi primari di per se stessi, e utilizzati per approssimare le irregolarità che si intende analizzare: il sistema diviene insomma, in questo nuovo approccio che abbiamo già definito come olistico, una sorta di analogo della particella elementare dell'approccio riduzionistico. In questo modo però, possiamo affrontare anche l'irregolare, senza essere legati necessariamente alla semplicità.

Non vi è una definizione univoca di complessità: ma vi è sicuramente un concetto preciso a cui tale termine fa riferimento. Quando parliamo di complessità, intendiamo considerare il comportamento degli elementi di un sistema e dell'insieme di relazioni che intercorrono tra tali elementi: con l'evoluzione, tali relazioni possono modificarsi, nuove relazioni non prevedibili all'inizio possono presentarsi, nuovi insiemi dotati di un proprio comportamento e di proprie caratteristiche distintive possono crearsi, e il sistema nel suo complesso, evolvendo, può modificare il proprio comportamento. Come conseguenza della complessità, il comportamento del sistema diviene imprevedibile, e come abbiamo detto, lo studio delle singole variabili che lo compongono non è in alcun modo in grado di fornire una spiegazione esauriente circa il comportamento del sistema nella sua totalità. La complessità si manifesta sotto numerosi aspetti, e sorge anche da strutture apparentemente molto semplici e tutt'affatto deterministiche: vedremo come.

Una semplificazione quale quella secondo cui nell'analisi i fattori debbano essere variati uno alla volta, non è più accettabile. Il fatto che sia stata accettata per lungo tempo lascia intuire come gli scienziati abbiano studiato in gran parte sistemi che permettevano l'uso di un simile metodo, essendo per lo più sistemi semplici o come tali considerati. Nei sistemi complessi, tale metodo è inapplicabile: esistono sistemi che non permettono in alcun modo di variare un fattore alla volta, poiché sono così ricchi di interconnessioni dinamiche che la variazione di un singolo fattore provoca la variazione immediata di altri fattori percepibili, e di molti altri magari non individuabili immediatamente e con precisione. Come abbiamo già accennato, il sistema economico appartiene con certezza a quella categoria di sistemi che non possono essere analizzati con molto successo tramite i metodi tradizionali.

1.3 Determinismo e indeterminismo

Il determinismo definisce la connessione necessaria di tutti i fenomeni secondo il principio della causalità. La visione laplaciana non lascia spazio al caso: se una moneta viene lanciata in aria, le leggi della meccanica classica in teoria determinano con assoluta precisione il risultato, ovvero se testa o se croce. Nella concezione deterministica, noi conosciamo tutti i possibili stati in cui il sistema può trovarsi, nonché tutte le possibili transizioni fra i vari stati: il nostro potere previsionale è pertanto pressoché totale. Nella storia del pensiero si è dibattuto a lungo tra fautori del determinismo da un lato, e coloro che dall'altro sostenevano l'esistenza del caso, dell'indeterminato: in verità può considerarsi un falso problema.

In primo luogo non vi è incompatibilità logica fra caso e determinismo, dal momento che lo stato di un sistema nell'istante iniziale può essere distribuito secondo una certa legge casuale, anziché in modo preciso: ne consegue che ogni stato successivo avrà anch'esso una distribuzione casuale deducibile da quella iniziale grazie alle leggi della meccanica. Ma la questione in verità va ancora oltre. E' stato ampiamente dimostrato come l'esistenza di strutture o comportamenti complessi non richieda necessariamente principi fondamentali complicati: una funzione semplice può generare soluzioni estremamente varie e complesse, si pensi al comportamento degli automi cellulari, nonché caotiche, e si pensi dunque alla funzione logistica. Per avere un'idea, analizziamo brevemente quest'ultima.

La funzione logistica ha la forma $x_{t+1} = cx_t(1 - x_t)$, ed è indubbiamente un algoritmo deterministico che può, per esempio, descrivere il moto di un punto su di una retta: se prendiamo un valore iniziale x_0 e usiamo il secondo membro della funzione per calcolare x_1 , possiamo poi utilizzare quest'ultimo al secondo membro per calcolare x_2 e così via. Più elegantemente, partendo da un x compreso fra 0 e 1, calcoliamo $f[c, x]$, ma essendo anche questa compreso fra 0 e 1, possiamo calcolare $f[c, f[c, x]]$: quest'iterazione forma una sequenza deterministica². In verità, il comportamento delle soluzioni di quest'equazione varia sensibilmente al variare del parametro c . In particolare, per $c < 3$ le soluzioni mostrano un andamento variabile ma regolare e convergente. Per valori di c maggiori di 3 si comincia a intravedere un andamento periodico ma oscillatorio, finché giunti ad un valore pari circa a 3.5699, detto punto di Feigenbaum, le variazioni sono complesse e irregolari.

²In codice MATLAB:

```
n=10000;D=1;
x=rand(1); y=zeros(n,1);
for i=1:n; x=(3+(i/n)*D)*x*(1-x); y(i)=x; end
```

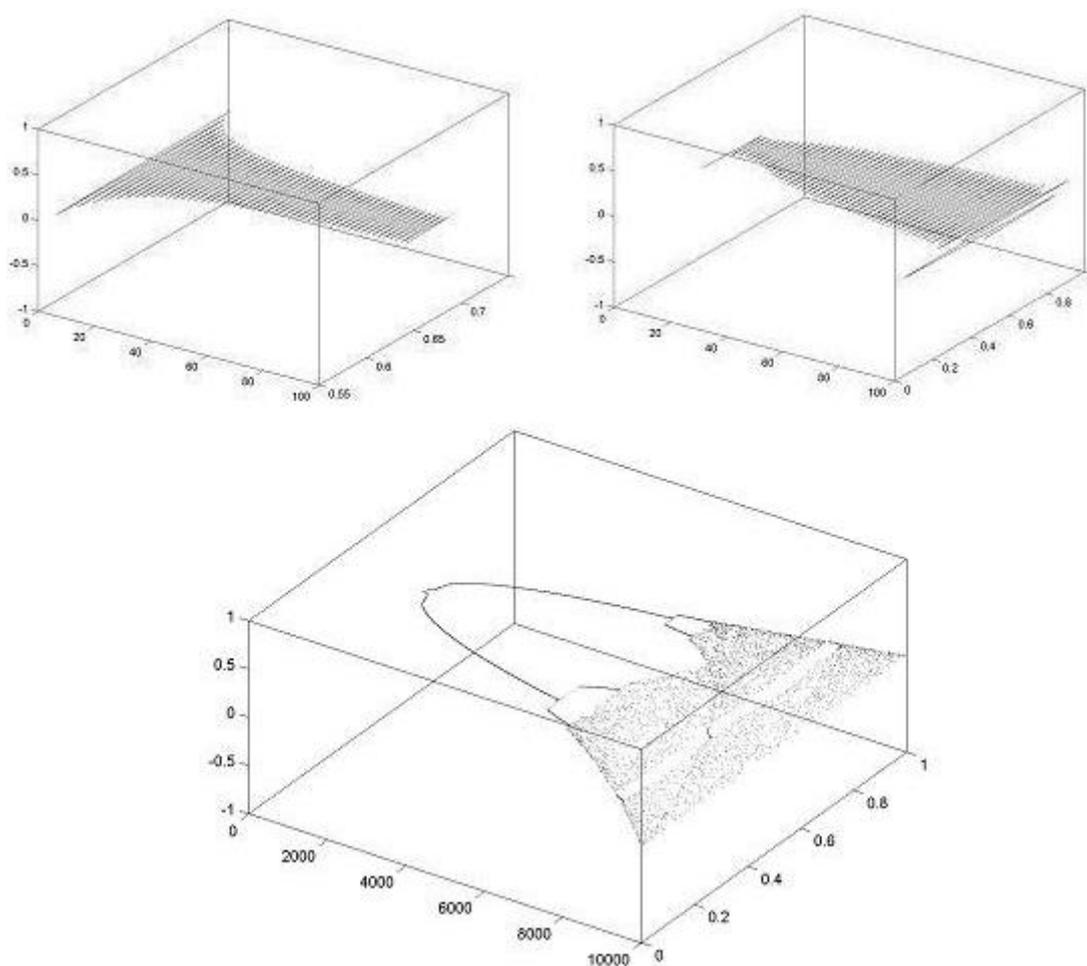


Figura 1.1: La funzione logistica. In senso orario: soluzioni convergenti per $c < 3$ e 100 iterazioni, soluzioni divergenti e inizio della zona del caos per $3 < c < 4$ e 100 iterazioni, biforcazioni e caos per $c=4$ e 10.000 iterazioni.

Se c viene ulteriormente incrementato l'irregolarità aumenta, fino a giungere, per $c = 4$, a variazioni totalmente caotiche: ovvero le soluzioni variano in modo completamente casuale. Tale comportamento complesso è veramente casuale, non semplicemente complicato: la verifica può avvenire facilmente dal momento che l'equazione può essere risolta esattamente. Possiamo così parlare di *caos deterministico*: il comportamento caotico insorge da un semplice algoritmo deterministico. E' inoltre interessante notare come certe popolazioni di insetti ed uccelli fluttuino, nel loro numero, in maniera apparentemente casuale, seguendo un andamento che ricorda l'evoluzione della nostra funzione logistica: il caso che insorge dal determinato non è solo un paradosso matematico, ma è presente anche in fenomeni biologici. E non solo.

E' del resto sempre più evidente come i sistemi dinamici abbiano in genere un regime in cui il loro comportamento è caotico, e che un comportamento ordinario, ovvero non-caotico, sia un'eccezione: la gran parte dei sistemi dinamici è soggetta al caos. E l'evoluzione di tali sistemi dipende in modo sensibile dalle condizioni iniziali, quali che siano queste condizioni iniziali: il che significa che un piccolo mutamento nello stato del sistema al tempo zero produce un mutamento ulteriore che cresce in modo esponenziale con il tempo, una piccola causa ha un grande effetto. L'evoluzione di tali sistemi conduce ad un comportamento essenzialmente imprevedibile e casuale. Fu Henri Poincaré, scienziato e filosofo della scienza francese della seconda metà dell'Ottocento, il primo a notare che:

Una causa molto piccola che sfugge alla nostra attenzione determina un effetto considerevole che non possiamo fare a meno di notare, e allora diciamo che questo effetto è dovuto al caso. Se conoscessimo esattamente le leggi di natura e lo stato dell'universo nel momento iniziale, potremmo predire esattamente lo stato dello stesso universo in un momento successivo. Ma se fosse anche il caso che le leggi naturali non avessero più segreti per noi, potremmo tuttavia conoscere solo approssimativamente lo stato iniziale. Se ciò ci mettesse in grado di predire lo stato seguente con la stessa approssimazione, ciò è tutto quello di cui abbiamo bisogno, e diremmo che il fenomeno è stato predetto, che è governato dalle leggi. Ma non è sempre così: può accadere che piccole differenze nelle condizioni iniziali ne producano di molto grandi nei fenomeni finali. Un piccolo errore nelle prime produrrà un errore enorme nei secondi. La predizione diviene impossibile, e abbiamo il fenomeno fortuito.

Il comportamento dei sistemi caotici non è intrinsecamente indeterministico: è matematicamente dimostrabile che le condizioni iniziali sono sufficienti

a fissare l'intero comportamento futuro del sistema in maniera esatta e univoca. Il problema insorge quando si cerca di specificare le condizioni iniziali, dal momento che in pratica non si può mai conoscere con assoluta precisione lo stato iniziale di un sistema: l'errore che si compie nell'osservazione sarà produttivo di effetti nei confronti delle nostre previsioni, ed è così che entra in gioco la distinzione tra evoluzione dinamica ordinaria da un lato, e evoluzione dinamica caotica dall'altro. Generalmente nei sistemi dinamici ordinari gli errori crescono proporzionalmente al tempo, ovverossia linearmente. In un sistema caotico invece gli errori crescono sempre più velocemente, o meglio aumentano esponenzialmente con il tempo: da una piccola quantità di caso consegue una grande quantità di indeterminazione. Ecco che il determinismo non esclude il caso: la casualità del moto caotico è una qualità fondamentale, non discendente dalla nostra ignoranza.

Un esempio significativo di dipendenza sensibile dalle condizioni iniziali è quello costituito dall'*attrattore di Lorenz* (1963), un insieme complesso in cui ha luogo un'evoluzione temporale in tre dimensioni. Un attrattore è l'insieme su cui si muove il punto P che rappresenta lo stato di un sistema dinamico deterministico nella situazione di regime in cui i fenomeni transitori sono spariti, quindi una situazione di lungo periodo. Lorenz era un meteorologo che si occupava del problema della convezione atmosferica, ovvero quell'insieme di movimenti che derivano dal riscaldamento del suolo da parte del sole: gli strati inferiori dell'atmosfera divengono più caldi e più leggeri degli strati più elevati, determinando conseguentemente un moto ascendente dell'aria calda, più leggera, mentre l'aria fredda discende essendo più densa. Lorenz effettuando un'approssimazione si limita a studiare l'aria, che essendo un fluido andrebbe rappresentata come un punto in uno spazio infinito, in uno spazio tridimensionale mediante tre equazioni differenziali non lineari: immaginando lo stato dell'atmosfera in convezione come rappresentato da un punto P , lo spostamento temporale ha luogo secondo una linea curva. Il punto P prende avvio verso l'origine O delle coordinate, gira attorno all'orbita destra dell'attrattore, poi più volte attorno a quella sinistra, per tornare a girare due volte attorno a quella destra e così via: l'attrattore *strano*, e quello di Lorenz ne è un esempio, è così definito poichè l'orbita è limitata, ma non è periodica ne tanto meno convergente. Se la posizione iniziale di P attorno ad O venisse modificata anche lievemente i particolari dell'evoluzione temporale ne risulterebbero completamente modificati: l'andamento tendenziale, l'aspetto generale della figura, sarebbe il medesimo, ma la sua generazione e il numero e la sequenza di giri compiuti da P attorno all'attrattore sarebbero completamente diversi. E questo perché l'evoluzione temporale del sistema dipende in modo sensibile dalle condizioni iniziali: da tale dipendenza consegue l'imprevedibilità, a lungo termine, delle condizioni

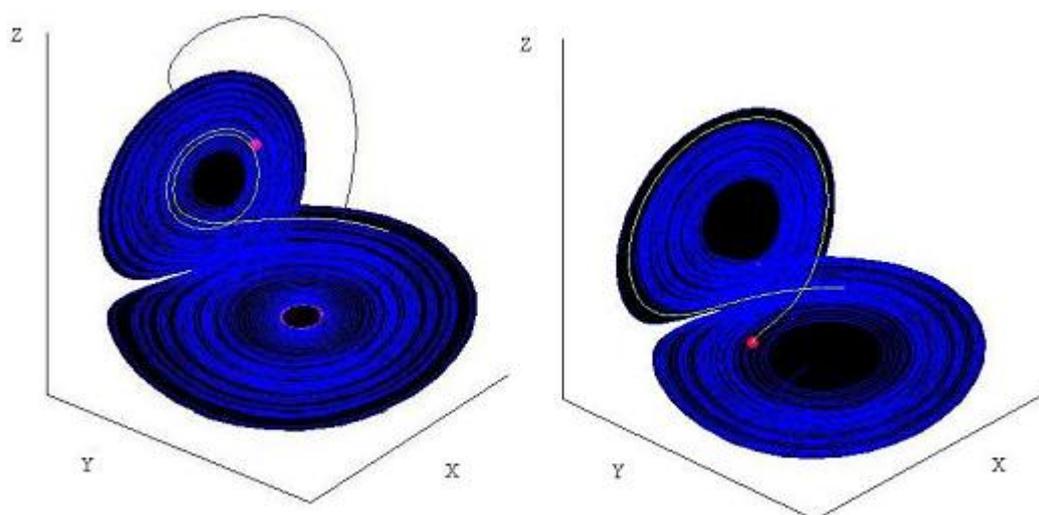


Figura 1.2: L'attrattore di Lorenz: evoluzione del sistema da due differenti condizioni iniziali.

atmosferiche.

La nostra capacità di affrontare con pari rigore un sistema deterministico o uno caotico è legata a problemi di computabilità, e possiamo ragionare sulla distinzione fra le due dinamiche in termini di elaborazione di informazioni. Se consideriamo le condizioni iniziali come informazioni di ingresso per una simulazione al computer dell'evoluzione di un sistema, nel caso di un sistema ordinario otterremo dalla conversione dell'informazione iniziale un gran numero (ma sempre inferiore a quello delle condizioni iniziali) di informazioni in uscita sotto forma di una predizione più o meno accurata del comportamento del sistema per un certo periodo futuro. Per un sistema caotico invece otterremmo una quantità di informazioni pari a quella introdotta: non riuscendo a eliminare alcuna possibilità, la nostra capacità previsionale è nulla, e la simulazione si limita semplicemente a descrivere, con un certo grado di accuratezza, il sistema mentre evolve nel tempo reale. In un sistema ordinario i calcoli si mantengono più avanti rispetto agli eventi: in un sistema caotico invece è necessario un sempre maggior numero di informazioni per mantenere un adeguato livello di accuratezza e in ultima istanza, il livello di informazione è quello offerto dall'insieme di tutti gli eventi reali, vale a dire che il sistema stesso costituisce il computer più veloce per determinare i propri stati successivi. L'elemento casuale fornisce a un sistema caotico la libertà di esplorare una vasta gamma di schemi di comportamento: le equazioni non lineari contengono soluzioni che partono molto vicine l'una all'altra,

ma che divergono rapidamente, amplificando così l'imprevedibilità e l'ignoranza per un verso, la scoperta per l'altro. Questa problematica si applica perfettamente al problema delle previsioni atmosferiche: per una previsione di breve periodo, siamo in grado di calcolare la mole di dati necessari a stabilire con una buona approssimazione le condizioni iniziali del sistema; ma, nel momento in cui vogliamo spingere oltre nel tempo la nostra previsione, la mole di dati di cui avremmo bisogno è tale da ricondurci alla conclusione secondo cui il sistema è il miglior previsore di se stesso.

Le evoluzioni temporali con eterno ritorno, ovvero quelle in cui il sistema ritorna incessantemente alle stesse situazioni, costituiscono l'ambito naturale di applicazione della teoria del caos. Nell'eterno ritorno, se un sistema si trova in un determinato stato, ritornerà in vicinanza di tale stato in un arbitrario momento successivo: questo è quanto si osserva nell'evoluzione temporale di sistemi di moderata complessità, ma non nell'evoluzione di sistemi molto complessi. Ruelle (1992), il padre della Teoria del Caos, offre una chiara spiegazione dei motivi di tale distinzione tramite un colorito esempio. Si prenda una pulce e la si posi su una casella qualunque di una scacchiera: la pulce comincerà a saltare in tutte le direzioni e dopo un certo tempo ripasserà sulla casella di partenza. Ecco che, in un sistema di moderata complessità, siamo tornati allo stato determinato iniziale. Si prendano ora cento pulci, le si numerino in modo da essere in grado di individuare univocamente ciascuna di esse, e poste ognuna su di una casella, le si lasci libere di muoversi. In questo caso, in un sistema con elevata complessità, il tempo necessario affinché si ripresenti la configurazione iniziale del sistema è lunghissimo, ovvero la probabilità che ciò avvenga esiste, ma è bassissima. Dilatando queste osservazioni alla complessità della società e del mondo, dei fenomeni biologici e fisici, ci si rende immediatamente conto che nell'evoluzione e nella storia, attendersi un eterno ritorno è fortemente illusorio: potremo ritrovarlo in un piccolo sottosistema, ma difficilmente nell'insieme dell'evoluzione. Piuttosto, ciascun imprevedibile singolo evento odierno si ripercuoterà in maniera sensibile sulle future imprevedibili configurazioni del sistema.

Dunque il nostro rapporto con la complessità e le nostre possibilità di comprensione di questa dipendono da due fattori: il caso e la probabilità. Il primo fa sì che in gran parte dei sistemi possano crearsi nuovi stati imprevedibili, e genera complessità anche in sistemi in prima battuta estremamente semplici. La seconda evidenza come l'analisi della complessità e dell'evoluzione siano legati a problemi di tempo e di computabilità. Anche se nel senso strettamente matematico l'universo si comporta come una macchina, accade comunque inevitabilmente che si verifichino fenomeni nuovi e in linea di principio non prevedibili: la natura può essere contemporaneamente deterministica e casuale. Se l'universo fosse un sistema newtoniano lineare, il

futuro sarebbe realmente contenuto nel presente e nulla di nuovo potrebbe accadere: ma l'universo è un sistema caotico, e pertanto anche nel caso in cui le leggi della meccanica fossero i soli principi organizzatori che plasmano la materia e l'energia, il suo futuro è sconosciuto e fondamentalemente inconnoscibile. Nessuna intelligenza è in grado di anticipare quali forme o sistemi nuovi potrebbero venire alla luce, l'universo è aperto e non è possibile sapere quali nuovi livelli di varietà o complessità potranno manifestarsi.

Con questo, il paradigma della complessità permette un approccio nuovo e cosciente alla realtà e mette in luce la necessità di nuove discipline, in grado di ridisegnare la nostra rappresentazione della realtà, e di offrire un nuovo modo per avvicinarci alla comprensione di fenomeni che sfuggono all'analisi così come è stata conosciuta nei secoli passati. Il nuovo modo di pensare ha il suo fondamento storico nella Cibernetica, che riconosce in Wiener il suo padre fondatore, e nella Teoria Generale dei Sistemi, di von Bertalanffy. Vedremo come queste scienze, apparentemente diverse fra loro, rappresentino in verità un'unica grande branca del sapere.

1.4 Cibernetica

Wiener, matematico statunitense, è allievo di Russell, Hilbert e grande amico di Haldane: i suoi primi studi riguardano la logica matematica, i processi stocastici e l'analisi previsionale. Nel 1940 Wiener si dedica a fini bellici allo sviluppo di macchine calcolatrici per la soluzione di equazioni differenziali alle derivate parziali, e introduce alcune importanti considerazioni per realizzare una macchina che sia in grado, tramite un processo di scansione, di gestire un'ampia mole di dati e nel contempo di non incorrere in eccessivi rallentamenti ed errori cumulativi dovuti all'enorme ripetersi di processi elementari: sui principi da lui delineati in questo frangente verranno realizzati negli anni successivi i calcolatori definiti come *ultrarapidi*, e da allora i calcolatori saranno le macchine più perfezionate impiegate nei processi di controllo. Sempre ai fini della guerra, Wiener intraprende in collaborazione con Rosenbleuth un progetto connesso e volto al potenziamento dell'artiglieria antiaerea: il problema, conseguentemente al notevole progresso compiuto nella velocità degli aerei in relazione alla rapidità dei proiettili, era legato alla necessità di lanciare il proiettile non sul bersaglio, bensì in un luogo dello spazio in cui in un istante futuro proiettile e bersaglio giungessero a incontrarsi. Nel determinare la corretta traiettoria e la giusta forza da imprimere al proiettile, rientrano numerose variabili: la temperatura, che influisce sul funzionamento meccanico della macchina, le condizioni del vento quali forza e direzione, e così via. Al fine di ottenere un funzionamento quanto più possibile uniforme si usa immettere nel cannone un elemento di comando basato sul principio della retroazione, che registra la differenza tra la posizione effettiva del pezzo e quella che questo avrebbe dovuto tenere in base ai comandi ricevuti, e che utilizza tale differenza per imprimere al cannone una forza correttiva.

La retroazione, o *feedback*, riguarda l'intenzione di effettuare un movimento secondo un determinato modello: la differenza fra tale modello e l'effettivo svolgersi del movimento viene adoperata come un nuovo segnale che determina una regolazione del movimento stesso tale da mantenerlo quanto più possibile vicino a quello del modello che si ha intenzione di seguire. E' evidentemente importante evitare che la forza impressa sia troppo forte, dal momento che ciò comporterebbe il superamento della giusta posizione, e la necessità di riportare il pezzo indietro con una serie di oscillazioni che potrebbero, divenendo sempre più accentuate, rendere estremamente instabile il sistema. Se però la retroazione è regolata e mantenuta all'interno di limiti definiti, rende il funzionamento del pezzo sempre più stabile. Il problema si traduce così nel dover effettuare una previsione del volo dell'aereo, previsione che si basa sulle possibili traiettorie, sui vincoli di forze dinamiche a cui il velivolo è sottoposto, sulla reazione del pilota.

Il meccanismo del *feedback* è presente anche in natura: si pensi al movimento che compiamo quando per esempio abbiamo intenzione di raccogliere una penna, la nostra azione è inconscia, e si può dire che il nostro movimento proceda in modo da ridurre progressivamente la distanza spazio-temporale fra noi e la presa della penna. E' un'operazione che coinvolge i nostri sensi, la nostra mente e il nostro apparato muscolare: resta evidente come anche in una situazione del genere un *feedback* in eccesso è tanto dannoso quanto uno in difetto. Ripensando al problema delle oscillazioni in seguito ad una retroazione mal calibrata nel puntamento del cannone, Wiener si chiede se esista una qualche situazione patologica in cui un individuo, tentando di compiere un'azione volontaria come quella di raccogliere una penna, oltrepassi la meta entrando in uno stato di oscillazione incontrollabile. Tale patologia è il tremore intenzionale, generalmente associato a lesioni del cervelletto. Wiener e Rosenbleuth si rendono così conto di trovarsi di fronte al medesimo problema, seppure in ambiti ben distinti: la funzionalità di un sistema vista come un tutto organico, sia questo il pezzo di artiglieria controllato da circuiti elettrici, o il sistema nervoso, visto non come organo autosufficiente, bensì come elemento di un processo circolare che coinvolge anche i muscoli e gli organi sensoriali.

Ma non basta, Wiener giunge ad individuare anche i problemi di un altro campo del sapere come inseparabili da quelli della tecnica del controllo: tale campo è la tecnica delle comunicazioni. Il problema del controllo è infatti un problema di informazione. Telegrafare significa inviare un messaggio mediante l'uso appropriato di punti e linee scelti da un insieme che contiene altre possibilità: la trasmissione di una lettera, per esempio la *e*, assume significato anche dal fatto che non è stata trasmessa la lettera *o*. Se l'unica trasmissione possibile fosse un'unica lettera, l'informazione contenuta nel messaggio sarebbe pressoché nulla. Agli albori della tecnica telefonica non aveva importanza l'economia nella trasmissione dei messaggi: era notevole che si riuscisse a trasmettere, il problema di una trasmissione ottima ed economica ancora non si poneva. Ma con il progredire della tecnica e con l'impiego di un'unica linea per la trasmissione di più messaggi ci si è resi conto dell'importanza di misurare la quantità di informazione trasmessa: diviene in vero chiaro come tale questione si identifichi con il connesso problema della regolarità e dell'irregolarità dell'informazione. Infatti una successione casuale di simboli o un modello di natura meramente casuale non può contenere alcuna informazione, e questa deve piuttosto essere in qualche modo una misura della regolarità di un modello e in particolare di modelli quali le serie temporali, le cui parti componenti si sviluppano nel tempo. La regolarità è infatti un fatto anormale, essendo più comune l'irregolare: ne consegue che la misura dell'informazione deve essere relativa a qualcosa che aumenta allorché dimi-

nuisce la probabilità a priori del manifestarsi di un modello (o di una serie temporale). Si giunge così a misurare la quantità di informazione tramite il concetto termodinamico di *entropia*, che non va assunto solo come principio meccanico, ma deve essere considerato anche sotto il punto di vista statistico: come l'entropia è una misura del grado di disorganizzazione di un sistema, così la quantità di informazione di un sistema è una misura del suo grado di organizzazione e l'una è semplicemente l'opposto dell'altra. Ancora una volta non è sufficiente l'analisi isolata dei singoli elementi, ma è necessario considerare un'entità in funzione di tutte le sue parti contemporaneamente e analizzarla come un tutto organico per poterla comprendere.

Le considerazioni connesse alla teoria dell'informazione non si fermano qui. Generalmente si è abituati a considerare un messaggio come una comunicazione fra un essere umano ed un altro, ma questo non è che un caso particolare di tutti i possibili esempi di messaggi: l'uomo può inviare messaggi ad una macchina, come per esempio accade quando si preme un tasto per attivare una funzione di un calcolatore o quando si varia il volume del suono di un televisore. Anche l'ambiente può inviare dei messaggi, e la destinazione può essere un uomo o ancora una volta una macchina: si pensi alla temperatura di una stanza, registrata da un termostato che regola conseguentemente la potenza dell'impianto di riscaldamento o di raffreddamento, in questo caso abbiamo addirittura due messaggi. A ben vedere, è chiaro come il comando altro non sia se non l'invio di messaggi che modificano il comportamento del ricevente: e il ricevente può essere indifferentemente un neurone, un muscolo, o la trasmissione di un autoveicolo. Ma non è tutto: qualunque essere vivente deriva dall'informazione che è contenuta nel proprio codice genetico, ovvero il DNA, che contiene tutti i messaggi che le cellule si scambiano al fine di mantenere un'unità organica e coerente. L'informazione è dunque un concetto fondamentale per comprendere come sono strutturati i sistemi, come e da cosa sono controllati, come si evolvono (Wiener, 1966).

Wiener ha cominciato il suo percorso con studi ingegneristici riguardanti i circuiti elettronici delle macchine calcolatrici, quindi si è reso conto che le strutture analizzate e implementate potrebbero essere le stesse del sistema nervoso, e ha infine considerato come tali strutture siano percorse dall'informazione e come possano quindi essere controllate tramite il meccanismo della retroazione. Wiener e i suoi collaboratori giungono così a lavorare su un problema comune, anche se in ambiti differenti, e sentono la necessità di un fondamento, di un linguaggio e di strumenti omogenei che offrano la possibilità di un raccordo interdisciplinare. Nasce così la nuova scienza della cibernetica, dal termine greco *arte del pilota*, definita dal suo fondatore come (Wiener, 1968):

Lo studio dei messaggi, e particolarmente dei messaggi effettivamente di comando.

La cibernetica è la teoria del controllo e della comunicazione sia negli animali che nelle macchine, o più semplicemente, è una teoria delle macchine che non si occupa degli oggetti e delle cose, bensì dei modi di comportamento: è una scienza di tipo funzionale. E' una teoria del controllo dei sistemi basata sulla comunicazione (ovvero sul trasporto di informazione) tra il sistema e l'ambiente circostante, nonché interna al sistema stesso, e sul controllo (ovvero sulla retroazione) della funzione del sistema rispetto all'ambiente stesso. Il suo campo d'indagine è costituito dall'insieme di tutte le macchine concettualmente possibili e il fatto che alcune fra esse non siano effettivamente ancora poste in essere, dalla natura o dall'uomo, ha un'importanza secondaria: in effetti, benché sia strettamente connessa alla fisica e alle proprietà della materia, non ne dipende in maniera essenziale, e lo studio dei comportamenti, purché siano regolari, determinati o riproducibili, può avere un fondamento autonomo. Nell'analizzare una macchina, la cibernetica è volta a individuare quali sono tutti i possibili modi di comportamento di cui è capace: è un problema di possibilità, e sia i dati iniziali che le conclusioni finali riguardano l'insieme considerato come un tutto e non qualche suo particolare elemento. Dunque ciò che conta è in quale misura il sistema sia soggetto a dei fattori che lo controllano e lo determinano.

Wiener, nella sua ricerca, giunse ad avere come fine ultimo quello della creazione di una macchina intelligente, ovvero in grado di ricevere input, di elaborarli, di prendere delle decisioni e di apprendere dall'esperienza. Lo sviluppo di un sistema di questo tipo non poteva che basarsi sul modello per eccellenza, il cervello umano: nel cercare di creare una macchina in grado di prendere delle decisioni e di evolversi, Wiener doveva cercare di riprodurre qualcosa di simile al cervello. Il filone di ricerca legato alle reti neurali percorre questa via. Ed è proprio in relazione a questa via che possiamo definire senza alcun dubbio la cibernetica come una scienza della complessità: in vero il cervello è il sistema complesso più affascinante. La nostra materia grigia è composta, a un primo livello, da atomi: l'aggregazione di questi porta alla creazione di entità chimiche, le molecole, da cui scaturiscono entità biologiche, quali sono i neuroni (in realtà composti da più sottosistemi quali gli assoni e le sinapsi) e si giunge così ad un terzo livello di gerarchia. Ad un livello ancora superiore sta la rete costituita dall'interconnessione dei neuroni: in questa rete corre un segnale, che è informazione ed è controllo, e i vari elementi entrano in relazione a seguito di fenomeni chimici e elettrici. La ricerca scientifica è stata in grado di comprendere che il cervello è diviso in diverse zone la cui interazione, anche se ancora non è ben chiaro

come, permette al nostro organismo di operare in modo armonico: possono così funzionare la vista, il movimento, la memoria. L'insieme di queste zone rappresenta un nuovo livello nella nostra scala gerarchica. In ultima analisi, vi è il pensiero: ovvero la nostra capacità di comprendere, di relazionarci con l'ambiente, di riconoscere forme e figure, di risolvere problemi e prendere decisioni, di apprendere. Effettivamente, come e perché pensiamo, quale sia la causa e il principio fondamentale di questa funzione del nostro cervello, non siamo in grado di spiegarlo. Ma certamente la mente non è il frutto esclusivo del movimento di particelle elementari: è piuttosto il risultato di un'evoluzione della complessità del sistema cervello. Dall'aggregazione degli atomi, attraverso vari livelli di gerarchia, emergono nuovi sistemi, e soprattutto, emerge il pensiero. Non esiste esemplificazione migliore del concetto di complessità.

La cibernetica dispone di un dizionario unico e di un unico insieme di concetti per descrivere i più diversi sistemi: qualunque sia il sistema in oggetto, con retroazione, trasmissione, stabilità, isomorfismo, si farà sempre riferimento ad uno specifico comportamento di un sistema, sia questo il sistema nervoso oppure il circuito elettronico di una macchina calcolatrice. La cibernetica è così la prima disciplina a fornire un metodo per lo studio scientifico dei sistemi in cui la complessità è una caratteristica preponderante.

Nello stesso periodo qualcun altro giunse a risultati simili ma di più ampia portata, partendo da considerazioni diverse e di carattere più strettamente filosofico.

1.5 La Teoria Generale dei Sistemi

Ludwig von Bertalanffy, di origine austriaca, è un biologo. Appartiene dunque a quella famiglia di studiosi che forse più di ogni altra ha contribuito a dare una visione definita dei concetti di complessità e di sistema: si occupa diffusamente di fisiologia cellulare, embriologia sperimentale, patologia. Ma la sua produzione è anche di carattere epistemologico, e il suo scritto più importante rimane la *Teoria Generale dei sistemi* (1971). Come i suoi predecessori, quali Haldane e Russell, è profondamente critico tanto nei confronti del vitalismo quanto del meccanicismo: il primo è reo di voler spiegare il vivente introducendo entità misteriose quali lo slancio vitale e l'entelechia; il secondo, implicito a suo dire in gran parte della biologia contemporanea, assume posizioni anche più indifendibili. L'unico scopo del meccanicismo risulta essere di tipo analitico, ovvero tale da consistere nella suddivisione della realtà in unità sempre più piccole e nell'isolamento di singoli treni causali: la realtà fisica viene in questo modo frantumata in masse puntiformi, l'organismo vivente in cellule. La causalità diviene a senso unico e le nozioni di interazione e organizzazione, quando presenti, sono un mero riempitivo dello spazio. In questo modo, ogni fenomeno diviene semplicemente la somma dei propri costituenti, la base della vita altro non è che un insieme di meccanismi fisico chimici predeterminati, e gli organismi viventi sono degli automi in grado di reagire solo se stimolati. Bertalanffy considera lo schema in termini di unità isolabili come insufficiente, e evidenzia come tutti i concetti di olismo, emergentismo, organicismo e totalità, altro non significhino se non la necessità di pensare in termini di sistemi di elementi in interazione. Il biologo austriaco considera come anche il concetto di organizzazione sia estraneo al mondo meccanico, mentre nozioni quali totalità, evoluzione, ordine gerarchico e controllo sono del tutto padroneggiabili dalla teoria dei sistemi: tali nozioni possono essere definite nell'ambito del modello matematico di un sistema.

Un'impostazione in termini di sistemi è necessaria nei casi più disparati: il traffico aereo e quello automobilistico non costituiscono affatto un problema dipendente solo dal numero dei veicoli in circolazione, bensì costituiscono dei sistemi che debbono essere progettati e organizzati. La vita di un formicaio non è comprensibile se si analizza solo il comportamento delle singole formiche, e peraltro i singoli elementi di tale sistema operano in maniera del tutto decentrata e inconscia, ma dando vita ad un tutto estremamente coerente e organizzato. Dunque il concetto di sistema può essere trasposto anche nell'ambito dei fenomeni sociali, e la storia stessa può essere considerata senza timore tramite l'analisi sistemica: l'evoluzione storica mostra infatti come vi siano entità socio-culturali che nel corso dei secoli si sono trasformate, come

ve ne siano altre che sono sparite, e come altre nuove siano sorte. La storia non è un semplice susseguirsi di azioni e di eventi, bensì un'evoluzione di sistemi. E del resto, riesce difficile pensare alla nostra evoluzione sociale e all'evolversi della storia contemporanea, come il semplice risultato delle azioni di individui più o meno potenti: se così fosse, apparentemente dovrebbe essere possibile evitare di incorrere in errori ripetuti; gli eventi sembrano implicare ben più che semplici decisioni o azioni individuali, e paiono piuttosto derivanti da forze storiche, ovvero dal riproporsi delle interazioni di sistemi quali ideologie, crescita e decadenza delle civiltà, ascesa di gruppi di potere, antisemitismo e così via. In vero, è generalmente difficile che un singolo individuo possa modificare da solo il corso degli eventi: al più egli può trovarsi in una situazione, generata dalla società nel suo complesso, in cui decidere quale diramazione imboccare. Ma è la società nel suo complesso, e l'interazione fra i grandi sistemi, a determinare l'evoluzione e il corso degli eventi. La sociologia e la storia vertono sullo studio di quelle che potremmo definire come organizzazioni informali, ma vi sono altre organizzazioni, e sono quelle di tipo formale ovvero che derivano da un preciso volere e da una precisa programmazione dell'uomo, che meritano di essere studiate tramite l'approccio sistemico: l'organizzazione vista come un sistema di variabili mutuamente dipendenti.

Bertalanffy giunge così a concepire una Teoria generale dei sistemi che abbia una funzione integrante nei confronti di tutti i campi del sapere: ritiene infatti che fino ad allora l'unità delle scienze sia stata vista in termini di riduzione di tutte le scienze alla fisica, e di tutti i fenomeni in eventi fisici. Rispetto a questa prospettiva, egli considera più efficace e coerente una concezione unitaria basata non sulla riduzione di tutti i livelli della realtà al livello della fisica, quanto piuttosto sull'isomorfismo dei principi validi nei diversi campi del sapere. Il che significa, in termini formali, ovvero di quella che fin dall'inizio abbiamo chiamato rappresentazione della realtà, e quindi in termini di costrutti concettuali della scienza, un riferimento a unità strutturali, fondative e metodologiche degli schemi applicati. In termini materiali ciò comporta invece che il complesso degli eventi osservabili, ovvero la realtà così come noi la percepiamo, mostra uniformità strutturali manifestandosi secondo tracciati isomorfi, ossia simili, che sono caratterizzati da ordine in differenti livelli e domini. In contrasto con riduzionismo, Bertalanffy definisce tale visione *prospettivismo*: la teoria prospettivistica considera impossibile ridurre i livelli del biologico, del sociale e del comportamentale al livello più basso dei costrutti e delle leggi della fisica; piuttosto, sarà possibile individuare nuove leggi e costrutti nell'ambito dei livelli individualmente esaminati. In ultima analisi, il principio unificatore consiste nel trovare a tutti i livelli l'organizzazione.

L'oggetto di studio della Teoria generale dei sistemi è la formulazione di principi validi per i sistemi in generale, a prescindere dalla natura degli elementi che li compongono e quali che siano le relazioni o forze operanti tra di essi: si configura così come una scienza di quel vago concetto che era la totalità, e a cui è stato poi dato il più significativo appellativo di complessità. In forma elaborata è una disciplina puramente formale, di stampo logico-matematico, ma applicabile alle varie scienze empiriche. Bertalanffy nel suo scritto programmatico individua le seguenti principali finalità interne alla teoria generale dei sistemi:

1. esiste una tendenza generale verso l'integrazione nelle varie scienze, naturali e sociali;
2. questa integrazione risulta incentrata in una teoria generale dei sistemi;
3. tale teoria può costituire un importante strumento per puntare a una teoria esatta nei settori non fisici della scienza;
4. in quanto sviluppa dei principi unificatori che corrono 'verticalmente' attraverso l'universo delle scienze particolari, questa teoria ci porta più vicini all'obbiettivo dell'unità delle scienze.

Con particolare riferimento allo studio della società umana e delle organizzazioni, Bertalanffy individua però un precetto fondamentale: l'uomo non è solamente un animale politico, bensì prima di tutto e soprattutto un individuo. Le caratteristiche fondamentali della società non sono riconducibili alle entità biologiche, al funzionamento di un organismo o di una comunità di animali, ma sorgono piuttosto dalla mente individuale: ne consegue un grado di complessità infinitamente superiore. La società umana non è una comunità di formiche o di termiti, governata da un istinto intrinseco e controllata da leggi di totale decentramento, ma è invece fondata sulle realizzazioni dell'individuo che rimangono imprescindibili ai fini della sopravvivenza dell'organizzazione. Le stesse considerazioni circa l'importanza dell'individuo sono il principio fondamentale di una grande corrente di pensiero economico: quella della scuola austriaca.

1.6 Il concetto di sistema

E' ora giunto il momento di definire in modo formale e dettagliato cosa si intende per Sistema: sono invero numerose le definizioni di sistema, e altrettanti i punti di vista da cui è possibile affrontare la questione. Noi ci rifaremo alla trattazione di Bertalanffy (1971).

Questi, nello studiare complessi costituiti da elementi compie tre diversi tipi di distinzioni:

- a seconda del loro numero;
- a seconda della loro specie;
- a seconda delle relazioni tra gli elementi.

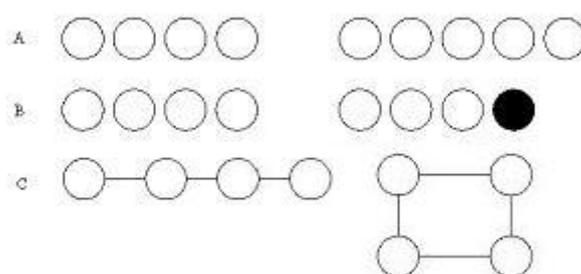


Figura 1.3: Elementi e Relazioni

Nei primi due casi il complesso può intendersi come la somma di elementi ciascuno dei quali è considerato isolatamente. Bertalanffy definisce le caratteristiche di questi elementi come *sommabili*. Nel terzo caso invece per intendere il complesso si devono conoscere non solo gli elementi, ma anche le relazioni che esistono tra questi. Le caratteristiche di questi elementi sono così definite *costitutive*.

Le caratteristiche sommabili di un elemento rimangono le medesime sia all'interno che all'esterno del complesso: il complesso nel suo insieme può così essere compreso per mezzo di una somma di caratteristiche e di comportamenti degli elementi in quanto singolarmente noti. Le caratteristiche costitutive invece dipendono da relazioni specifiche entro il complesso, ed è quindi necessario conoscere non solo le parti ma anche le relazioni per poterle comprendere. Così, l'affermazione secondo cui l'insieme è maggiore della somma delle parti, vuol semplicemente significare che le caratteristiche costitutive non sono spiegabili dalle parti isolate: le caratteristiche del complesso,

considerate rispetto a quelle degli elementi costitutivi, sono pertanto nuove o emergenti. Non è tutto però: infatti, se siamo in grado di conoscere il totale delle parti contenute in un sistema e le relazioni tra di esse, il comportamento del sistema può essere fatto derivare dal comportamento delle parti.

Un sistema può essere definito come un complesso di elementi interagenti, il che significa che gli elementi p sono connessi da relazioni R , in modo tale che il comportamento di p in R è diverso da quello che sarebbe in R' , ossia in un'altra relazione. Se i comportamenti nelle due relazioni non sono differenti, allora non si ha interazione, vale a dire che il comportamento degli elementi è indipendente da R e R' . Dal punto di vista matematico un sistema può essere adeguatamente espresso mediante un sistema di equazioni differenziali simultanee. Indicando con Q_i una qualche misura di elementi p_i , con ($i= 1, 2, \dots, n$), le equazioni riferite a un numero finito di elementi saranno nella forma:

$$\begin{aligned} \frac{dQ_1}{dt} &= f_1 (Q_1, Q_2, \dots Q_n) \\ \frac{dQ_2}{dt} &= f_2 (Q_1, Q_2, \dots Q_n) \\ &\dots \\ \frac{dQ_n}{dt} &= f_n (Q_1, Q_2, \dots Q_n). \end{aligned} \tag{1.1}$$

Una variazione di una certa misura di Q_i è allora una funzione di tutte le Q , da Q_1 a Q_n e viceversa, una variazione di una Q_i comunque scelta, implica variazioni di tutte le altre misure e del sistema nel suo complesso.

1.7 Sul concetto di Complessità

In queste pagine si è visto come, dal pensiero degli antichi greci fino ai giorni nostri, il problema della rappresentazione della realtà abbia costituito il cardine dello studio filosofico e scientifico.

Abbiamo contrapposto la visione meccanicista, intenta a ridurre qualunque problema alle sue componenti elementari e a relazioni determinate fra queste, a quella finalista, volta a spiegare tramite i principi della necessità i fenomeni naturali e sociali. Nel contempo, ci siamo resi conto di come in realtà la contrapposizione fra determinismo e indeterminismo sia un falso problema. Questi elementi ci hanno consentito di individuare una terza via, quella che porta al concetto di complessità, in grado in un modo o nell'altro di ovviare alle indecisioni e incertezze delle prime due prospettive.

Siamo così giunti a definire una nuova entità, quella di sistema, in grado di rappresentare adeguatamente le strutture presenti nella realtà. Al concetto di sistema segue un'intera teoria, che permette di studiare e analizzare qualunque problema o entità ridefinendola in una prospettiva caratterizzata da situazioni uniformi: la Teoria dei Sistemi.

Nel corso del capitolo successivo analizzeremo i principi fondamentali di questa teoria, e vedremo come ciascuno degli elementi teorici che la compongono, si riflettano perfettamente nei numerosi problemi che costituiscono il campo di ricerca della scienza economica.

Capitolo 2

La Teoria dei Sistemi

Attorno al concetto di sistema si è sviluppata una teoria, volta allo studio, alla classificazione e all'analisi dei sistemi: si è creato un vocabolario e si sono ordinate le diverse forme in cui i sistemi si presentano. Ai fini del nostro studio è importante individuare le qualità dei sistemi e ottenere una griglia di analisi che ci permetta di conoscere lo strumento sistema e di comprenderne così le caratteristiche principali, la struttura, la dinamica e l'evoluzione.

Questo per due ragioni. In primo luogo, per definire con chiarezza quali sono gli elementi e le relazioni che costituiscono i problemi da affrontare: poiché questi problemi per studiarli, dovremo ricrearli. In secondo luogo, perché gli strumenti informatico-matematici di cui faremo uso fondano la propria logica su questi concetti e questa struttura. Realizzare un modello in Simulink e Stateflow significa creare un sistema gerarchico, costituito da elementi in relazione fra loro, da meccanismi di retroazione e da strutture complesse.

Avremo così, in un secondo tempo, la possibilità di sfruttarne al meglio le potenzialità per affrontare i problemi che l'economia pone: già fin d'ora vedremo come ogni entità e ogni fenomeno analizzati in forma astratta abbiano un parallelo nella realtà sociale ed economica, e siano quindi perfettamente in grado di rappresentarla. Sono numerosi i testi che affrontano, in maniera più o meno rigorosa, l'analisi dei sistemi: qui si farà in particolare riferimento a Walliser (1977) e a Waddington (1977).

2.1 Il sistema e l'ambiente

Per prima cosa individuiamo una nozione elementare di sistema, per poi complicarla e analizzare il rapporto del sistema con l'ambiente.

2.1.1 Il Sistema quasi-isolato

Definiamo sistema *quasi-isolato* un sistema che:

- è influenzato dal suo ambiente solamente attraverso dei processi determinati che definiamo *input*;
- effettua internamente delle trasformazioni sugli input (la funzione del sistema);
- esercita un'influenza sul proprio ambiente, ma solamente attraverso dei processi determinati che definiamo *output*.



Figura 2.1: Black Box

In un sistema quasi-isolato ci interessiamo esclusivamente alla transizione da *input* ad *output*, senza preoccuparci effettivamente del meccanismo o dei meccanismi interni che realizzano detta transizione: per questo si usa definire un sistema del genere come una *black box*.

Ciascun *input* (o *output*) è caratterizzato dalla durata dell'intervallo di tempo in cui esercita la propria azione, dall'insieme dei valori che può assumere (e consideriamo come caso speciale l'ipotesi in cui non vi sia alcuna entrata o uscita al sistema) e infine da quella che potremmo definire la propria *traiettoria*, che è data dalla relazione fra gli istanti di tempo e i valori assunti dalla variabile. In altre parole, un sistema quasi isolato può essere definito come la risultante dell'andamento nel tempo di input e output.

La relazione *input-output*

E' evidente l'importanza di definire la relazione input-output; tale relazione può essere:

- *statica*, e il sistema dipende in questo caso da relazioni costanti con il proprio ambiente, ovvero esogene;

- *stazionaria*, nel qual caso il sistema realizza una trasformazione costante tra flussi in entrata e flussi in uscita;
- *temporale*, nel caso in cui il sistema è la sede di un fenomeno variabile che ha per oggetto le grandezze in entrata e che genera quelle in uscita.

Ne consegue che una relazione statica è una relazione stazionaria nella quale le interazioni sono fissate esogenamente, mentre una relazione stazionaria è una relazione temporale che si evolve nel tempo senza variazioni.

Gli input e gli output possono avere diversa natura, ma in genere si dividono in entità fisiche o in informazione: in effetti qualunque variabile di un sistema può essere ricondotta ad una delle due categorie, o ad una fusione di entrambe, dal momento che qualunque entità fisica veicola informazione, e che qualunque informazione è veicolata tramite un supporto fisico. situazione tre componenti interagiscono in modo tale che la reazione di A nei confronti di B rende a quest'ultimo difficile una reazione appropriata nei confronti di C. E' in pratica un altro modo per descrivere il problema del *trade-off*: se per esempio lo Stato aumenta il tasso sui BOT per stimolarne la domanda da parte nostra, sarà per noi più difficile investire adeguatamente sul mercato azionario

Pressoché qualunque entità economica e sociale può essere ricondotta al concetto di sistema quasi isolato. Si pensi ad un'impresa: questa realizza una trasformazione di materie prime, energia, lavoro e quanto d'altro, in semilavorati, prodotti finiti, scarti. E naturalmente lo stesso modello può essere utilizzato anche per descrivere un distretto industriale, una città o addirittura una nazione. Ciascun tipo di funzione interna ad ogni singolo sistema può esprimere adeguatamente i processi che l'impresa svolge: inoltre qualunque genere di input o output, siano questi informazioni o entità fisiche, può descrivere le qualità dei beni che l'impresa trasforma o i servizi, o ancora le operazioni, che la stessa produce.

L'ambiente

Per quanto riguarda l'ambiente di un sistema, a una prima analisi possiamo effettuare la distinzione fra ambiente *attivo*, che è quello che agisce sul sistema per mezzo degli input, e ambiente *passivo*, che subisce le azioni del sistema per mezzo degli output: le due nozioni possono coincidere, ovvero possiamo trovarci in una situazione in cui l'ambiente del sistema è al tempo stesso attivo e passivo. Ma è ancora più importante un'altra distinzione, necessaria dal momento che va definito con precisione qual'è la portata dell'ambiente del sistema: infatti qualunque sistema può essere influenzato dall'universo ester-

no, e ogni sistema influenza l'universo esterno. Giungiamo così ai concetti di:

- *ambiente specifico* del sistema, che è quello effettivamente influenzato dal sistema e che a sua volta influenza effettivamente il sistema;
- *ambiente generale* del sistema, che facendo riferimento ai concetti dell'insiemistica, ne è il complementare all'interno del sistema universo.

Ovviamente l'ambiente, nella sua accezione più ampia, è a sua volta un sistema variamente strutturato. Nella sua accezione specifica invece, è generalmente considerato come un'area fra il sistema e l'ambiente generale le cui proprietà sono relativamente costanti. E' la *frontiera* di un sistema a separarlo dall'ambiente: questa può essere più o meno flessibile.

L'ultima importante distinzione concernente i sistemi quasi isolati è quella che riguarda le proprietà degli stessi: le proprietà *estrinseche* derivano dall'ambiente specifico del sistema; le proprietà *intrinseche* sono invece indipendenti dall'ambiente e caratterizzano dunque in maniera definita e univoca il sistema.

E' indubbio come per qualunque tipo di entità economica l'ambiente giochi un ruolo fondamentale: l'impresa si sviluppa all'interno di un contesto costituito da differenti mercati, quali sono per citarne alcuni quello dei beni, quello del lavoro e quello della moneta. Tutti questi mercati, a seconda di quale sia il ruolo dell'impresa e l'obbiettivo da questa perseguito, possono avere ruolo attivo o passivo. L'impresa naturalmente si muove in un ambiente specifico, qual'è quello individuato dal proprio *core business*: nel contempo dimora in un ambiente generale, che può essere per esempio quello dell'economia nazionale, o in una accezione ancor più ampia, internazionale.

2.1.2 Il sistema a stati

Il concetto di sistema a stati è uno dei più importanti di tutta la nostra trattazione: fa riferimento a un sistema quasi isolato che possiede uno stato definito in ciascun istante ed è caratterizzato da due relazioni fondamentali

1. lo stato attuale è determinato dagli stati anteriori e dagli input;
2. l'output attuale è determinato dallo stato attuale e dall'input attuale.

Per stato si intende una particolare e definita configurazione del sistema: è una fotografia degli elementi e delle relazioni fra gli elementi del sistema, in un determinato istante di tempo. L'insieme di tutti gli stati possibili del sistema è detto *morfologia* del sistema. Definiamo inoltre *condizioni al limite*

di un sistema l'insieme costituito dalle condizioni iniziali di uno stato, e dalle condizioni esterne al sistema. L'andamento nel tempo degli stati definisce l'andamento del sistema nel tempo: ne consegue che chiameremo *evento* una variazione discontinua dello stato, variazione che può essere dovuta al sistema stesso o al suo ambiente; diremo invece *processo* un'insieme di eventi che modificano gli stati e guidano l'evoluzione del sistema.

Caratteristiche dei sistemi a stati

Il concetto di sistema a stati ci consente di rivedere da una nuova prospettiva alcuni importanti paradigmi che abbiamo incontrato in precedenza. Un sistema di questo tipo infatti è generalmente *deterministico*, il che significa che lo stato e l'uscita del sistema in un determinato istante, dipendono esclusivamente dall'input e non anche dal tempo: in altre parole immaginando di avere due sistemi simili, il medesimo input ai due sistemi genererà lo stesso output per entrambe i sistemi, anche nel caso in cui uno dei due sia traslato temporalmente rispetto all'altro. Si è soliti fare riferimento a questo concetto nell'affermare che le stesse cause producono gli stessi effetti. Con questo, sappiamo ormai molto bene che anche sistemi determinati possono dare origine a comportamenti imprevedibili. Un'altra proprietà ricorrente nei sistema a stati è quella di essere *non anticipativi*, ovvero lo stato e l'uscita in un momento determinato dipendono solamente dagli stati e dagli input precedenti, non anche da quelli che seguiranno: dunque, le cause precedono gli effetti. Questo non esclude che un sistema non anticipativo sia anche funzione degli input futuri: in tal caso sarà però il sistema stesso a determinare queste entrate future per mezzo di quelle passate.

Nella nostra analisi possiamo andare anche oltre: definiamo un sistema a stati *causale* se la relazione f che caratterizza il sistema descrive un rapporto causa-effetto tra input e stati e, parimenti, tra stati e output. Al riguardo, essendo più precisi, sulla base del tipo di relazione potremo definire un sistema causale:

- *determinato*, o certo, se f è una funzione univoca;
- *aleatorio*, o stocastico, se f è una funzione plurivoca e le possibilità di transizione fra due stati successivi sono fissate;
- *indeterminato*, o incerto, se f è una funzione plurivoca e le possibilità di transizione fra due stati successivi sono non note o variabili.

Il primo dei tre casi ci consente date le condizioni iniziali, una previsione perfetta dello stato del sistema: nelle rimanenti ipotesi invece non possiamo che

avere una previsione imperfetta, ovvero per date condizioni iniziali dovremo accontentarci di un insieme di stati possibili e noti. Non possiamo così più considerare il sistema come deterministico: può infatti accadere che cause identiche portino a effetti differenti. In particolare, possiamo considerare un sistema stocastico come deterministico *in probabilità*.

Un sistema a stati può anche essere *finalizzato*: in tal caso la relazione f è in grado di risolvere un problema la cui soluzione è lo stato attuale del sistema, a cui si è naturalmente giunti tramite degli input iniziali dati. In questo modo arriviamo a supporre che vi siano due famiglie di input: quelle non controllate dal sistema, note come variabili d'ambiente, e quelle invece controllate dal sistema, ovvero le variabili d'azione. Ne conseguono due tipi di relazione: la funzione di *transizione*, che determina lo stato attuale in funzione degli input e degli stati passati; la funzione di *valutazione*, che definisce un valore associato all'andamento della relazione input-output.

Un sistema a stati è in grado di descrivere efficacemente un'impresa dal momento che questa altro non è se non un sistema che si evolve e che modifica nel tempo la propria configurazione: cambia il posizionamento all'interno del mercato, cambiano la situazione economica come quella finanziaria, cambiano i prodotti e i processi volti alla loro realizzazione. L'impresa è anche un sistema finalizzato: analizzeremo più avanti però quale sia questo fine, poiché vi sono numerose e differenti correnti di pensiero al riguardo, che individuano obiettivi principali tutt'affatto differenti. E' altrettanto delicata la questione che concerne le caratteristiche di un sistema a stati di tipo causale: mentre è indiscutibile che il funzionamento di un'impresa o di una qualsiasi altra entità economica risponda, almeno nelle intenzioni di chi la governa, a relazioni di causa-effetto, resta da verificare quale sia la natura di tale relazione.

Delle tre possibilità, quella a dover forse lasciare il passo è la visione puramente deterministica: è raro che ad un'azione, pur ben ponderata, corrisponda sempre e solamente un unico preciso effetto, poiché troppo numerose sono le variabili, tanto endogene quanto esogene, che possono avere effetti più o meno importanti sul sistema impresa. E' evidente come sia impossibile avere una previsione perfetta dello stato futuro del sistema a partire dal presente: conoscere il conto economico dell'esercizio attuale non può in alcun modo permetterci di determinare con esattezza quello dell'esercizio futuro.

Può invece giocare un ruolo più importante la visione probabilistica, ed è infatti più aderente alla realtà una visione che ci offra, a partire da condizioni iniziali note, un insieme di possibili sviluppi e stati futuri del sistema: in questo caso il nostro potere di previsione è tanto maggiore quanto più accurate sono le informazioni che possediamo circa lo stato della situazione iniziale. Con questo, è probabilmente una forzatura immaginare come

fissate le probabilità di transizione fra i vari stati, ovvero per esempio fra i vari inconvenienti o le diverse innovazioni che la nostra impresa deve trovarsi ad affrontare e gestire nel proprio processo produttivo. Giungiamo così alla terza possibilità, ovvero quella di una relazione fra i vari stati del sistema avente una natura indeterminata: è forse questo il punto di vista che meglio descrive la realtà delle cose.

Naturalmente il calcolo delle probabilità ci permette di affrontare con cognizione di causa e con buone possibilità di successo una situazione di questo genere: e se anche la configurazione dello stato futuro della nostra impresa al momento non è determinabile con certezza, possiamo comunque avere una buona intuizione di quale sia la direzione verso la quale il sistema sta muovendo. Dunque se la nostra posizione finanziaria migliora, o se gli utili crescono, possiamo pensare di essere su di un sentiero di crescita e di aver operato bene. Ugualmente, anche se abbiamo un limitato potere previsionale, la probabilità ci dice che se oggi abbiamo un solido rapporto commerciale con un cliente o con un fornitore, è possibile che in futuro, anche se magari solo in un'ottica di breve periodo, la situazione rimanga grossomodo invariata. Con questo, non possiamo stabilire con precisione quante possibilità ci sono che il nostro cliente si rivolga alla concorrenza. Tanto meno siamo in grado di stabilire con certezza se lo farà o meno.

2.1.3 Proprietà esterne dei sistemi

Fin qui abbiamo visto i sistemi in se stessi: restano da vedere le relazioni con l'ambiente che si configurano come caratterizzanti per il sistema in analisi.

Apertura

Definiamo **aperto** un sistema che possiede un'entrata ed un'uscita, semiaperto un sistema che possiede una sola delle due, isolato un sistema che non possiede ne una ne l'altra. Dal grado di apertura del sistema consegue un comportamento dello stesso più o meno dipendente dalle proprie caratteristiche costitutive: più un sistema è aperto, più dipende dal suo ambiente fino a giungere, nel caso estremo, ad esserne semplicemente un riflesso.

L'evoluzione storica del commercio è un buon esempio di evoluzione nell'apertura di un sistema: le società primitive erano isolate e interagivano poco fra di loro, ma con il passare del tempo si è giunti a società più evolute e articolate, il commercio a preso piede tanto all'interno dei sistemi quanto, con l'apertura dei singoli mercati (sistemi), all'esterno. Ed è evidente come, tanto maggiore è l'apertura di un mercato e di un paese verso l'ambiente esterno, tanto maggiore è la perdita da parte dello stesso delle proprie ca-

ratteristiche costitutive in favore di un sistema che diviene profondamente influenzato dall'ambiente esterno.

Equilibrio

Un sistema a stati possiede uno **stato d'equilibrio** se si mantiene in una configurazione determinata in assenza di modificazioni dell'input: possiamo altresì parlare di equilibrio stazionario. Allo stesso modo, un *ciclo d'equilibrio* è costituito da un sistema di stati attraverso cui il sistema passa periodicamente in assenza di variazioni dell'ambiente: parliamo in questo caso di equilibrio oscillatorio. Dalla definizione di *equilibrio istantaneo*, che è uno stato d'equilibrio che il sistema potrebbe avere in un determinato istante se l'input fosse costante, giungiamo al concetto di *equilibrio dinamico* di un sistema, che altro non è se non una successione di equilibri istantanei. Un sistema è *conservativo* nel momento in cui la sua evoluzione è prossima all'equilibrio istantaneo, mentre è *dissipativo* qualora nell'evolversi si allontani da tale equilibrio.

L'equilibrio del sistema economico è stato da sempre uno dei principali oggetti di studio della teoria economica: anche questo problema però lo analizzeremo approfonditamente più avanti, perché ancora oggi gli economisti non sono in accordo su quale contingenza meriti di essere individuata come una situazione di equilibrio.

Stabilità

Un'altra proprietà che coinvolge le relazioni fra il sistema e il suo ambiente è quella della **stabilità**: tale nozione fa riferimento a modificazioni nelle transizioni fra i vari stati, dovute a variazioni nelle condizioni al limite del sistema (condizioni iniziali ed esterne), che ci conducono a verificare la stabilità *asintotica* del sistema; oppure modificazioni dovute a variazioni nelle caratteristiche definitive del sistema, che ci portano in tal caso a considerare la stabilità *strutturale* del sistema. Ne consegue che una *perturbazione* sul sistema, ovvero una variazione costante e marginale dell'entrata, modifica le transizioni fra i vari stati in tre modi possibili:

- il nuovo andamento rimane prossimo a quello iniziale ma senza tendervi ed è dunque neutro;
- il nuovo andamento tende asintoticamente a quello iniziale, ed è in tal caso definito asintoticamente *stabile*;

- infine, l'andamento conseguente alla perturbazione può divergere da quello iniziale tanto più il tempo tende a infinito: in quest'ultimo caso parliamo di comportamento asintoticamente *instabile*.

Nel primo caso, con il venir meno della perturbazione il sistema si configura in un nuovo stato di equilibrio; nel secondo caso il sistema ritorna allo stato di equilibrio iniziale; nell'ultimo caso il sistema continua a modificarsi e degenera in un equilibrio instabile.

Un sistema economico ad esempio è soggetto ad una miriade di perturbazioni, si pensi agli shock petroliferi, alle guerre o alle epidemie, ed è tanto più stabile quanto più riesce ad assorbire queste variazioni mantenendosi sul proprio sentiero.

Adattabilità

Infine, un'ultima importante proprietà esterna dei sistemi è quella dell' **adattabilità**: un sistema è adattivo se è in grado di adottare un comportamento favorevole alle proprie finalità, che tenga conto dell'ambiente. I principali tipi di adattamento sono due:

- è detta *omeostasi* l'adattamento di un sistema volto al mantenimento di uno stato interno costante;
- è detta *omeoresi* l'adattamento di un sistema volto al mantenimento di un processo costante.

Per un'impresa la capacità di adattarsi può rappresentare un forte vantaggio competitivo. A prescindere dalla connotazione strategica che il concetto può assumere, un'azienda è un sistema adattivo in quanto reagisce alle azioni che l'ambiente compie su di essa e si comporta in modo da raggiungere il proprio fine: può per esempio decidere di entrare in un mercato, di battere la concorrenza con strategie di prezzo o di differenziazione del prodotto, può ancora adattare la propria struttura e le proprie capacità produttive alle esigenze del mercato.

2.2 Sistemi e sottosistemi

Fin qui abbiamo studiato il sistema come un'entità globale in relazione con un ambiente. E' però altrettanto importante comprendere se il sistema che analizziamo è a sua volta un semplice elemento all'interno della più vasta struttura, costituita da altri sistemi legati da relazioni di vario tipo, che è rappresentata dall'ambiente; e, d'altra parte, se il sistema stesso è a sua volta

composto da un insieme di sottosistemi che interagiscono. Giungiamo così al concetto di sistema *quasi scomponibile*: un sistema di questo genere è scomponibile in sottosistemi quasi isolati che sono in relazione fra di loro e in relazione con l'ambiente. Tutti i sistemi quasi scomponibili sono definiti dalle reti di interazione tra i sottosistemi, dalle relazioni input-output relative a ciascun sottosistema, nonché dalle relazioni che legano input e output del sistema alle relazioni dei vari sottosistemi con l'ambiente.

Gerarchia

E' evidente come ciascun sottosistema possa a sua volta essere scomposto: ne consegue una gerarchizzazione del sistema in livelli multipli fino al raggiungimento di un sistema elementare. Tale gerarchizzazione è però possibile solo se le relazioni tra i sistemi posti in un livello, sono differenti per intensità o natura, a quelle fra i sottosistemi di un livello differente. Nel breve termine il comportamento di ciascun sottosistema componente è quasi indipendente dal comportamento a breve degli altri elementi componenti: nel lungo termine invece si crea una sorta di dipendenza aggregata, in cui tutti i sottosistemi tendono a muovere verso un comportamento uniforme.

Il tipo di gerarchia che si incontra più frequentemente nelle scienze sociali è quella che viene generalmente definita come organizzazione formale: gli organi internazionali, i governi e naturalmente le imprese ne sono un esempio. Tutte queste entità hanno una struttura che equivale a quella di un sistema quasi scomponibile a più livelli: tutto quanto riguarda il funzionamento di questo tipo di associazioni organizzate in maniera più o meno gerarchica costituisce l'oggetto di quelle che vengono definite come *scienze del management*. L'importanza della struttura gerarchica e la sua ampia diffusione trovano fondamento nelle caratteristiche dell'evoluzione dei sistemi complessi: questi infatti come abbiamo già sottolineato più volte, derivano dall'aggregazione di più sistemi semplici. Ebbene, è dimostrabile come i sistemi complessi si evolvano dai sistemi semplici in modo più rapido nel caso ci siano forme intermedie stabili, piuttosto che nel caso in cui tali forme non esistano.

Simon (1984) sottolinea questo punto di vista per mezzo di una nota parabola. Hora e Tempus sono due celebri orologiai e producono entrambe modelli molto belli e richiesti: ciononostante, Hora prospera mentre Tempus diviene sempre più povero e sarà presto destinato ad abbandonare la sua attività. Questa disparità nei risultati deriva dal loro modo di organizzare il lavoro: entrambe producono orologi composti di circa 1000 pezzi ciascuno. Tempus costruisce i propri in modo tale che se ne ha uno parzialmente montato e deve abbandonarne la lavorazione per un attimo, poniamo

per raccogliere un'ordinazione, questo si disunisce immediatamente e le sue componenti tornano ad essere isolate comportando così la necessità di ricominciare il montaggio da principio. Hora ha invece disegnato i propri orologi sulla base di uno schema gerarchico: egli deve così montare dieci componenti per formare un assemblaggio stabile, ovvero che non degenera in disordine nel caso in cui ne venga interrotto il montaggio; quindi montando dieci di questi assemblaggi stabili, ne ottiene uno ancora più grande: e infine, unendo altri dieci di questi ulteriori assemblaggi, ottiene il prodotto finito. Ne consegue che Hora trova le eventuali interruzioni fastidiose, ma in ogni caso tali interruzioni non lo portano indietro nel suo lavoro per più di un'operazione a dieci stadi: per Tempus invece completare un orologio risulta estremamente più difficile. Anche nel caso in cui esista una sola probabilità su cento che uno dei due orologiai venga interrotto durante il proprio lavoro, Tempus completerà un montaggio 44 volte ogni milione di tentativi: Hora ne completerà nove su dieci. Il sistema adottato da Hora è un'organizzazione adottata da un gran numero di sistemi naturali, proprio perché consente un'evoluzione più rapida.

Proprietà

Possiamo distinguere due tipi di proprietà in un sistema quasi scomponibile:

- le proprietà *microscopiche*, che sono specifiche a ciascuno dei sottosistemi;
- le proprietà *macroscopiche*, che sono definite solo ad un livello globale del sistema .

Possiamo così immaginare, per una scomposizione nota di un sistema, una sorta di principio di integrazione dal quale consegue che le proprietà macroscopiche di un sistema risultano dall'unione delle proprietà microscopiche dei sottosistemi e dalle caratteristiche della rete di interazioni tra queste. Proprio le caratteristiche dei sottosistemi e le interazioni fra queste possono spiegare come:

- dei comportamenti complessi nei sottosistemi conducano a un comportamento semplice del sistema nel suo insieme, a causa di meccanismi compensativi fra le diverse interazioni. O viceversa e più probabilmente, come comportamenti semplici di sottosistemi possano condurre ad un comportamento complesso del sistema, conseguente dalla composizione delle diverse interazioni;

- dei comportamenti aleatori dei sottosistemi conducano ad un comportamento determinato del sistema, o come dei comportamenti determinati dei sottosistemi conducano ad un comportamento aleatorio del sistema.

La questione micro-macro in economia è di importanza fondamentale: il sistema economico è un fenomeno di gruppo il cui comportamento è difficile da spiegare semplicemente tramite il comportamento dei singoli individui. Piuttosto le decisioni collettive, ma soprattutto l'andamento globale del sistema, sono il risultato delle caratteristiche e degli atteggiamenti delle organizzazioni e degli individui che ne fanno parte. Nello studio dell'economia ci si concentra in genere su due fronti: nel fronte micro si cercano di individuare delle componenti elementari e le caratteristiche distintive di ciascuna di esse; sul fronte macro si cerca invece di descrivere e spiegare il comportamento del sistema che deriva dal complesso degli elementi che lo costituiscono. Mentre questo tipo di struttura è pressoché unanimemente accettata, vi sono idee diverse riguardo a quali siano i singoli elementi e a come si debba descriverne natura e comportamento: ma soprattutto è controversa quale sia la natura delle relazioni che legano i vari sistemi e infine, quale sia effettivamente il risultato che da queste interazioni ci si deve attendere e se sia o meno possibile effettuare un controllo razionale e efficace del sistema. Più avanti analizzeremo tutte queste problematiche.

Organizzazione

Nell'analizzare la composizione di un sistema, è anche molto importante individuare in che modo i sottosistemi al suo interno sono organizzati. Un tipo possibile di organizzazione è quello statistico, che fa generalmente riferimento alla distribuzione spaziale di sottosistemi simili: tale distribuzione può essere regolare, e si ha così una densità costante, aleatoria, e la densità è dunque casuale, e infine per aggregati.

Il concetto di organizzazione fa anche riferimento al modo in cui due o più sistemi quasi isolati interagiscono. I modi principali di connessione sono due:

- in *serie*, l'uscita dal primo sistema è l'input al secondo;
- in *parallelo*, i due sottosistemi in tal caso hanno il medesimo input.

Vedremo come mediante la sovrapposizione di queste due modalità sia possibile ottenere le altre configurazioni possibili.

Naturalmente anche le relazioni fra i sottosistemi sono soggette a organizzazione: possiamo infatti avere una struttura a catena, strutture centralizzate, ad albero o ancora strutture cicliche. Queste stesse relazioni possono

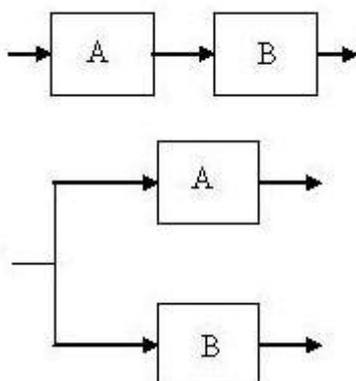


Figura 2.2: Connessioni in Serie e in Parallelo

essere gerarchiche, vale a dire che i sottosistemi possono essere classificati in diversi livelli e avere un doppio ordine di relazioni: di natura simmetrica con i sottosistemi del medesimo livello, di natura asimmetrica con i sottosistemi di un livello differente.

E' ormai evidente come un sistema sia fondamentalemente un insieme di sottosistemi più o meno interdipendenti: un sistema è aggregato nel caso in cui sia formato da elementi perfettamente isolati, mentre è integrato qualora sia formato da elementi che abbiano perduto le loro caratteristiche distintive. La forte interdipendenza fra sottosistemi comporta la perdita di dipendenza del comportamento del sistema dalle proprietà intrinseche dei sottosistemi, per lasciare spazio invece all'importanza della rete delle relazioni che intercorrono fra i vari sottosistemi. Abbiamo così che:

- nel caso di un sistema aggregato, le proprietà macroscopiche sono ottenute in via additiva a partire dalle proprietà microscopiche;
- nel caso di un sistema integrato, le proprietà macroscopiche risultano invece da una composizione complessa che prende il via dalle proprietà dei sottosistemi.

Ci troviamo così nuovamente di fronte alla considerazione che 'il tutto è maggiore della somma delle parti'.

Coordinazione

Prima di passare ad analizzare la dinamica dei sistemi, resta ancora da vedere il problema della *coordinazione* interna ad un sistema. In un sistema finalizzato il comportamento dei sottosistemi può essere più o meno favorevole

al raggiungimento dell'obiettivo, e questo può avvenire attraverso tre tipi di coordinazione: l'esclusione, la dominazione e l'aggiustamento. Nel primo caso il sistema tende ad escludere dal processo taluni sottosistemi considerati devianti o dannosi; nella seconda ipotesi alcuni sottosistemi vengono limitati nel loro agire; infine, nel caso di un aggiustamento a essere modificata è la struttura stessa del sistema. Se esistono dei sottosistemi dominanti ci troviamo di fronte ad un sistema *centralizzato*. Se invece i vari sottosistemi hanno un potere d'azione pressoché equivalente, il nostro sistema è *decentralizzato*. E' evidente come la coordinazione sia quindi strettamente legata al grado di omogeneità relativa dei sottosistemi: tanto più questo è alto, tanto più il sistema tende alla decentralizzazione, e viceversa. La coordinazione è alla base del funzionamento di una struttura formale quale è per esempio un governo, o un'impresa.

2.3 La dinamica dei sistemi complessi

E' giunto il momento di prendere in considerazione la dimensione temporale di un sistema, dal momento che questa ne costituisce il supporto al funzionamento e alla evoluzione: il divenire temporale infatti è ciò in cui si trova immersa ogni attività, e dunque non basta conoscere la struttura di un sistema, ma occorre cercare anche di analizzarlo come insieme interrelato di processi. Un sistema è identificabile, all'interno di un universo fisico o sociale, nella misura in cui esiste una certa permanenza delle caratteristiche distintive a dispetto di eventuali variazioni nell'ambiente esterno o interno al sistema. Ne consegue che si usa definire come *invariante* una proprietà del sistema che si conserva attraverso le trasformazioni che questo ha subito. A seconda delle modificazioni prese in considerazione possiamo distinguere due grandi famiglie di invarianza:

- *le invarianze spazio temporali*, che sono
 1. spaziali, ossia relative a trasformazioni geometriche del sistema;
 2. temporali, che riguardano la traslazione e l'inversione temporale (ovvero periodicità e reversibilità dei processi del sistema);
 3. miste, relative al movimento uniforme e alla rotazione uniforme.
- *le invarianze qualitative*, che riguardano le trasformazioni più profonde dell'ambiente del sistema, quali la struttura o la scomposizione in sottosistemi, o lo stato in cui è configurato l'ambiente stesso.

In particolare nel nostro studio dell'economia ci interessiamo in primo luogo alle invarianze temporali: si pensi per esempio alle teorie, quale quella del ciclo economico, che cercano di individuare delle regolarità nel funzionamento del sistema. In secondo luogo in ambito sociale sono importanti le invarianze di natura qualitativa: si pensi in questo caso alle economie in transizione dell'est europeo, che si trovano ad affrontare un processo che dovrebbe muovere da un'economia legata alle istituzioni del comunismo verso un sistema di libero mercato. Quale che sia la configurazione di tale processo le economie in transizione sono, rispetto ad altre economie con il medesimo livello di sviluppo (o di sottosviluppo), economie dai costi di transazione elevati, avendo ereditato un fenomeno quale il comunismo le cui regole, credenze e consuetudini inevitabilmente radicate nel tessuto culturale, sono ben distanti dai concetti di libero scambio, e muovono pertanto in direzione opposta al processo di transizione. In questo caso l'invarianza del sistema si configura come un ostacolo alla sua evoluzione. Ancora, per rimanere nel contesto dell'impresa, accade spesso che nel corso degli anni, la struttura dirigenziale, giuridica e societaria si modifichi, senza per questo intaccare le caratteristiche distintive dell'impresa stessa, quale per esempio il proprio *core business*.

2.3.1 La crescita

Con il termine crescita si fa riferimento a tutto quello che con il passare del tempo aumenta nella propria dimensione. E' dunque un concetto che può con certezza appartenere a un sistema: inoltre, nel momento in cui consideriamo la possibilità di una crescita negativa ovvero di una decrescita, il nostro concetto diviene applicabile anche a sistemi che con lo scorrere del tempo riducono le proprie dimensioni. Il mutamento di dimensione o di quantità è certamente un fenomeno che ha un'importanza fondamentale nelle scienze economiche: i sistemi ci consentono di descrivere tale fenomeno con estrema chiarezza. La forma più semplice di crescita è quella in cui il sistema cresce di una determinata quantità per ciascuna unità di tempo: il tasso di crescita è quindi costante. Ciò significa che se la dimensione iniziale del sistema è x_0 , dopo un tempo t la sua dimensione sarà $x_0 + kt$. Invero, tanto nei sistemi viventi quanto in quelli sociali questo tipo di crescita lineare è piuttosto raro.

Crescita esponenziale

In genere infatti la quantità di cui il sistema cresce dipende strettamente dalla quantità di sistema già esistente: ovvero il tasso di crescita dipende in modo proporzionale dalla dimensione del sistema già in atto. La dimensione assoluta cresce esponenzialmente: di qui la definizione di crescita esponen-

ziale. Se l'incremento è direttamente proporzionale alla dimensione, potremo descriverlo con $\frac{\partial x}{\partial t} = kx$ dove k è una costante che indica il grado di proporzionalità. Da qui consegue che a ogni tempo t la dimensione del sistema è $x = x_0 e^{kt}$, dove x_0 è la dimensione iniziale: l'incremento in ogni intervallo aumenta con l'aumentare del sistema. Una volta sviluppatosi il processo per un certo periodo di tempo, il tasso di crescita si fa talmente rapido che è richiesto solo un tempo molto breve affinché il sistema giunga a raddoppiare la propria dimensione. Numerosi processi di crescita di popolazioni animali, o batteriologiche, o ancora vegetali, seguono questo andamento: anche la crescita della popolazione umana sembra assumere un comportamento analogo, il che ha destato non poche preoccupazioni fra gli studiosi più pessimisti.

E' però dubbio che la crescita esponenziale possa continuare per un periodo molto lungo, e vedremo perché. Orientando il nostro pensiero al versante finanziario del mondo economico, possiamo individuare nel regime di interesse composto un valido esempio di crescita esponenziale. Sono peraltro frequenti tipi di crescita ancora più accelerati, in cui la frazione di sistema che si aggiunge ad ogni intervallo di tempo aumenta a sua volta: si pensi al caso in cui, rimanendo nel contesto della crescita della popolazione umana, le condizioni di salute migliorano riducendo il tasso di mortalità infantile. Si parla di accelerazione esponenziale del secondo ordine.

Limiti allo sviluppo

Prima abbiamo fatto cenno alla possibilità che la crescita esponenziale possa durare a lungo: la crescita infatti può avvenire in un sistema che ha dei limiti naturali che finiranno per arrestarla. La situazione più comune è quella in cui il sistema che cresce toglie all'ambiente risorse necessarie alla crescita di quest'ultimo, con il risultato che l'ambiente si riduce a spese della crescita del sistema. Al raggiungimento di un punto critico il sistema non sarà più in grado di alimentare la crescita: è chiaro che se le risorse sono date una volta per tutte, prima o poi si esauriranno. E' però possibile ottenere un sistema stabile che continua indefinitamente se si possono produrre nuove risorse da aggiungere di continuo alla riserva iniziale: se il tasso di consumo delle risorse eguaglia quello della loro produzione, il sistema raggiunge la stabilità, anche se questo non significa una crescita indefinita. Ritorniamo al problema della crescita della popolazione umana: la questione si pone in relazione alla sfruttamento operato dall'uomo delle limitate materie prime offerte dal pianeta. Se consideriamo l'economia come una *scienza della scarsità*, questo è probabilmente l'oggetto principale del suo studio, specie in considerazione del fatto che vi sono categorie di beni, i non rinnovabili, sui quali la crescita del sistema si fonda ma che presto o tardi verranno necessariamente a mancare.

Se una popolazione utilizza la propria riserva di risorse più velocemente di quanto non sia in grado di produrre, si genererà una crescita quantitativa in concomitanza con lo sfruttamento delle riserve iniziali, seguita da una ricaduta verso i livelli che possono essere garantiti dalla continua produzione di risorse.

Un altro esempio che può essere molto utile per comprendere a fondo le dinamiche di crescita in relazione alla limitazione delle risorse è il modello Lotka-Volterra, o preda-predatore: in questo caso nell'ambiente abbiamo due sistemi che interagiscono fra di loro. Tale modello studia infatti la dinamica di due popolazioni in competizione: la descrizione avviene per mezzo di due equazioni differenziali. Analizziamo separatamente i due sistemi. Da un lato abbiamo i conigli, ovvero le prede, che indichiamo con x_1 : assumiamo solo per queste che la capacità di cibo sia illimitata, e pertanto la loro crescita sotto questo aspetto procede costantemente: $\frac{\partial x_1}{\partial t \text{ crescita}} = Ax_1$. Il loro tasso di morte è invece legato all'interazione con i predatori, indicati con x_2 : più volpi ci sono, più la popolazione dei conigli si assottiglia; formalmente: $\frac{\partial x_1}{\partial t \text{ morti}} = -Bx_1x_2$. Guardiamo ora all'altro sistema: per i predatori l'unica risorsa disponibile di cibo sono le prede, quindi le risorse sono limitate, e il tasso di crescita della popolazione è proporzionale al numero di conigli presenti nell'ambiente: $\frac{\partial x_2}{\partial t \text{ crescita}} = Dx_1x_2$. Il tasso di morte delle volpi infine è quello naturale, ossia non influenzato da alcuna particolare relazione: $\frac{\partial x_2}{\partial t \text{ morti}} = -Cx_2$. Ponendo a sistema le due equazioni differenziali otteniamo il nostro sistema preda-predatore ¹:

$$\begin{aligned}\frac{\partial x_1}{\partial t} &= Ax_1 - Bx_1x_2 \\ \frac{\partial x_2}{\partial t} &= -Cx_2 + Dx_1x_2\end{aligned}\tag{2.1}$$

Non è difficile dedurre la dinamica del sistema data la determinazione che ne abbiamo appena dato: se il predatore sfrutta in modo eccessivo la propria risorsa, ovvero uccide una gran quantità di prede, ne riduce la popolazione. Questo ha un effetto negativo sulla popolazione stessa del predatore, che vedendo ridotte le proprie risorse, non può continuare a crescere: la crescita si

¹In codice MATLAB:

```
function lv=LV(t,x);
lv=zeros(2,1);
lv(1)=2*x(1)-0.001*x(1)*x(2);
lv(2)=-10*x(2)+0.002*x(1)*x(2);
In evaluation:
simtime=5; initx=[5000 100]; [t,x]=ode23('LV',[0,simtime],initx);plot(t,x)
```

interrompe e anzi, il fenomeno inizia a diminuire. A questo punto la contrazione dei predatori favorisce nuovamente la crescita della popolazione delle prede: e nuovamente, un incremento delle risorse per il sistema predatorio ne permette a sua volta una nuova crescita. E' evidente come il sistema nel suo complesso sia stabile con un andamento oscillatorio nel tempo, andamento che si sviluppa fra gli estremi del picco massimo nel numero delle prede, e del minimo del numero dei predatori.

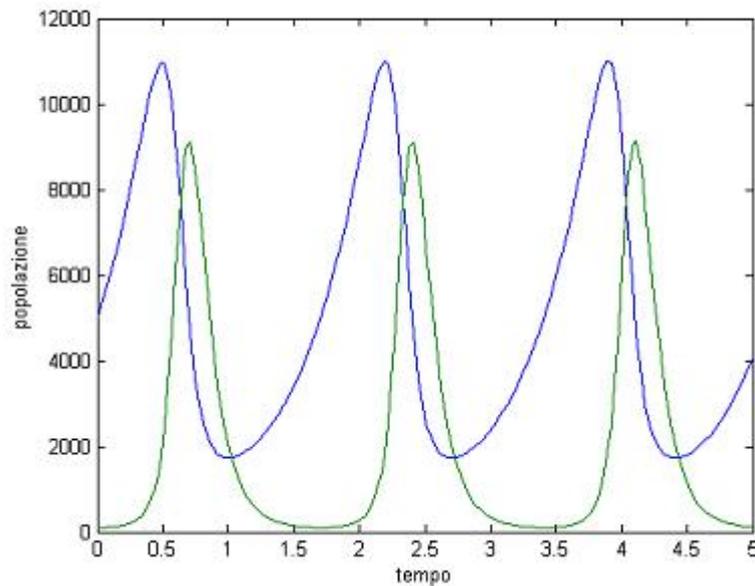


Figura 2.3: Il Modello Lotka-Volterra: la curva più in alto rappresenta la dinamica del sistema delle prede, quella più in basso la dinamica del sistema dei predatori. Nel momento in cui la popolazione dei predatori supera le 4000 unità, la popolazione delle prede inizia a contrarsi, e nel ridursi, induce il sistema antagonista a fare lo stesso. Al minimo della popolazione delle volpi corrisponde una prossimità notevole al proprio massimo nella popolazione dei conigli. E' inoltre importante notare come la prossimità della popolazione delle prede al proprio massimo, inneschi la crescita esponenziale nella popolazione dei predatori.

Dunque la crescita esponenziale può procedere indefinitamente solo ove esistano uno spazio infinito e una disponibilità infinita di risorse: nella realtà ciò non può avvenire. E non solo per le ragioni dovute alla limitazione dell'ambiente. In genere infatti:

- il sistema produce degli scarti che tendono ad essergli dannosi;

- il meccanismo di crescita tende a logorarsi e a perdere efficienza con l'andare del tempo, fino a giungere alla necessità di essere rivisto: entrano così in gioco l'evoluzione e il progresso tecnologico.

La crescita in genere effettivamente riscontrabile, segue un andamento evolutivo a saturazione. Nel periodo iniziale il sistema si adatta al nuovo ambiente, è la fase di attesa; entra quindi in gioco per un certo periodo la crescita esponenziale, e questa è la fase definita logaritmica. Infine il tasso di crescita comincia a rallentare, si creano infatti forze che riducono la crescita e ne impediscono l'aumento all'infinito: se tali forze agiscono in modo graduale nel ridurre il tasso di crescita il sistema si stabilizza ².

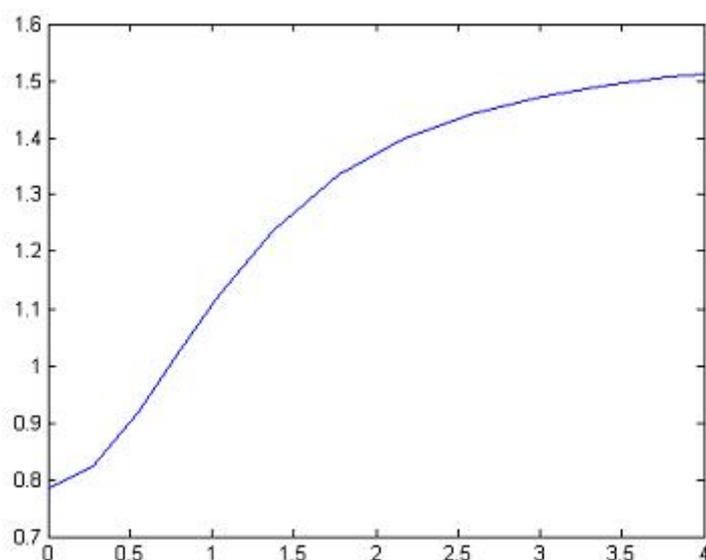


Figura 2.4: La Crescita a Saturazione

Più spesso però il loro agire è tutt'altro che equilibrato, e ne conseguono delle oscillazioni transitorie: a periodi di crescita seguono periodi di decrescita prima che il sistema si assesti in una dimensione stabile che le risorse ambientali possono consentire indefinitamente.

²In codice MATLAB:

```
function dy=saturazione(x,y); dy=2*x*cos(y);
In evaluation: [x,y]=ode23('saturazione',[0,2],pi/4);plot(x,y)
```

Crescita differenziale

Fin qui abbiamo considerato una crescita omogenea del sistema, ovvero uguale in tutte le sue componenti: in vero, molti sistemi soggetti a crescita si sviluppano in ciascuna componente a ritmi differenti. Per esempio, la popolazione umana è suddivisibile in vari gruppi ciascuno dei quali presenta tassi di natalità e mortalità differenti. Allo stesso modo nel contesto della crescita economica di una nazione, il settore industriale e quello dei servizi, benché facenti parte del medesimo sistema, possono presentare tassi di crescita differenti. Quando parti differenti di un sistema crescono con velocità differenti un modo efficace per descrivere la situazione, piuttosto che effettuare una divisione in sottosistemi e analizzare ciascuno di questi singolarmente, è quello di individuare uno o più gradienti di crescita. Ciò nonostante è però inevitabile che nell'analizzare la crescita di un sistema i particolari vadano perduti: una valutazione in termini di crescita complessiva in genere sarà sempre il risultato di indici scelti più o meno arbitrariamente e risultanti da composizioni altrettanto arbitrarie, e non sempre rifletterà adeguatamente i fattori effettivamente di rilievo.

2.3.2 La retroazione

Abbiamo già detto come, nella maggior parte dei casi, la relazione fra il segnale e i sistemi aperti sia costituita da un input che viene sottoposto a lavorazione per riemergere sotto forma di output. In un sistema complesso composto da più sottoinsiemi, a seconda del modo in cui questi sono connessi tale relazione genera effetti differenti.

Sequenze

Dalle connessioni in serie e in parallelo, rispettando il vincolo per cui il sistema risultante presenti anch'esso una sola entrata e una sola uscita, derivano due importanti tipi di connessione:

- la connessione per *interazione*, tramite una in serie, e una in parallelo;
- la connessione per *retroazione*, ottenuta tramite due connessioni in serie.

Quest'ultimo tipo di legame in particolare, comporta conseguenze piuttosto interessanti per il comportamento del sistema nel suo complesso. Infatti il legame ingresso-uscita stabilito dal sistema a retroazione dipende dai legami ingresso-uscita dei due sistemi componenti in un modo assai più complesso

di quello che si verifica nei collegamenti in serie o in parallelo: il comportamento di questi può essere caratterizzato mediante i modi, ovvero i termini ad andamento esponenziale o oscillatorio che si sommano al termine costante di regime permanente nella risposta del sistema. Nel collegamento in retroazione la risposta del sistema complessivo presenta modi che non compaiono nella risposta dei sistemi componenti. Vediamo perché. Nel caso di un collegamento in serie è sufficiente calcolare l'uscita m del primo sistema per essere in grado di valutare l'uscita y del secondo che ha appunto m come ingresso. Ancora più semplicemente nel collegamento in parallelo i sottosistemi sono sollecitati dal medesimo ingresso, e l'uscita del sistema risultante è la somma di quelle calcolabili separatamente dei due componenti.

Nella retroazione le cose si complicano: anche se si conosce l'andamento dell'ingresso u ed il modo di rispondere dei due sottosistemi, l'output y rimane comunque formulato in maniera implicita. Per determinarlo è infatti necessario conoscere l'input a del sottosistema A, il quale dipende:

- dall'input u del sistema \Rightarrow
- congiunto con l'output b del sottosistema B \Rightarrow
- il quale a sua volta dipende dall'output y .

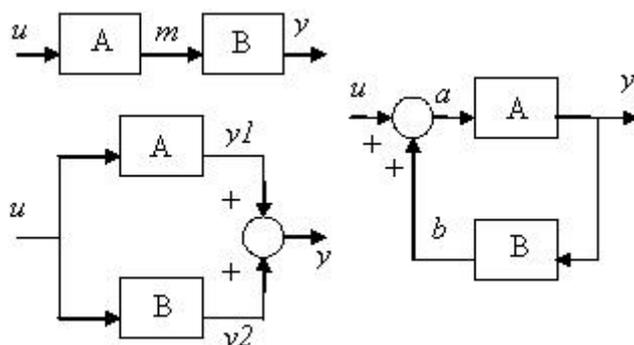


Figura 2.5: Retroazione e connessioni

Quella che dunque si viene a creare è un'alterazione prodotta dall'interno del sistema, situazione assai frequente tanto nei sistemi biologici quanto in quelli sociali. Immaginiamo di avere più stadi A, B, C e D: può crearsi una situazione in cui tanto più è presente la componente D, tanto più rapida è la produzione di tale componente da parte del sistema complessivo. In questo caso D agisce sugli stadi precedenti della sequenza aumentando la dimensione

del segnale, ovvero dell'input: questo fenomeno è detto *retroazione positiva*. E' quanto accade per esempio quando, dopo che la popolazione di una data regione è cresciuta oltre il livello che le risorse esistenti nell'ambiente sono in grado di sostenere, si creano nuove infrastrutture, nuove forme di produzione e sfruttamento, in modo da permettere nuovamente alla popolazione di incrementare in stadi successivi. Si noti la differenza con la crescita esponenziale: la retroazione positiva è un meccanismo che modifica il sistema attraverso passaggi differenti e stadi successivi. La crescita esponenziale concerne invece un solo stado.

All'interno di un sistema possono svilupparsi anche tendenze frenanti: una presenza tanto maggiore della componente D può comportare una produzione tanto minore della medesima. In questo caso abbiamo la *retroazione negativa*, che può essere:

- *di inibizione* del prodotto finale, forma più debole che rallenta il flusso del segnale fra due stadi precedenti, ad esempio B e C;
- *di repressione* del prodotto finale, forma più forte che impedisce la transizione da B a C fino a quando D non si riduce entro una determinata soglia.

Questi concetti sono strettamente connessi ai processi biologici che descrivono i livelli di cellule ed enzimi, ma trovano riscontro altrettanto importante anche nei processi sociali. Torniamo per esempio alla nostra impresa, supponiamo sia un'industria automobilistica e immaginiamo che sia in grado di effettuare una produzione estremamente efficiente che le permette di generare forti profitti: possiamo a questo punto supporre che i lavoratori ritengano il loro livello salariale non più adeguato in relazione al livello di utilità che hanno per l'impresa. Uno sciopero costituisce l'inibizione del prodotto finale. La retroazione, è un processo che si alimenta da solo e dunque ben si adatta a rappresentare l'analoga dinamica riscontrabile nelle tensioni sociali. La rivolta dei lavoratori, l'occupazione e il danneggiamento degli stabilimenti, sono tutte azioni che costituiscono una repressione del prodotto finale.

Lo schema della retroazione consente un'interpretazione meccanicistica di un comportamento almeno apparentemente finalistico, ovvero orientato al conseguimento di determinati obiettivi: un sistema di controllo sembra avere un comportamento influenzato da una causa finale, ovvero dall'esigenza di ridurre lo scostamento fra risultato effettivo e quello desiderato, reagendo in maniera appropriata alle cause che avrebbero la tendenza a far aumentare questo scostamento. In verità tale comportamento teleologico consegue dalla struttura del sistema.

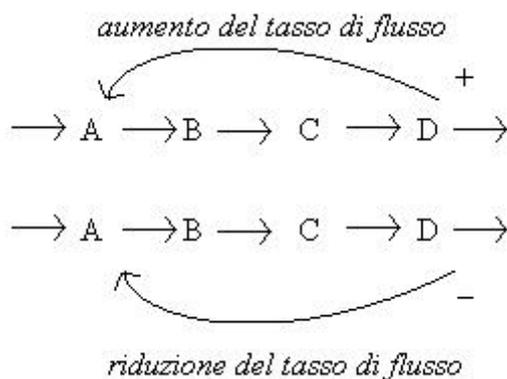


Figura 2.6: Retroazione e Tasso di Flusso

Reti

I sistemi sino a qui analizzati sono però molto semplici e non in grado di rappresentare al meglio la complessità della realtà per un motivo fondamentale: hanno una sola entrata ed una sola uscita. Nella realtà sono in vero più diffusi sistemi con molti tipi di entrata e altrettanti di uscita: gli input si articolano in una serie di ramificazioni e si suddividono risolvendo in un gran numero di esiti finali differenti. Inoltre tali ramificazioni in genere non sono indipendenti, bensì il più delle volte interagiscono formando così una rete di relazioni: all'interno di tali reti vi sono le medesime tendenze di comportamento di destabilizzazione, per retroazione positiva, e stabilizzazione, per retroazione negativa, incontrati precedentemente nelle sequenze semplici. Ma non solo: in una rete ad esempio, se un canale viene ristretto verrà aggirato dal flusso che potrà così percorrere legami alternativi; inoltre il livello di ciascuna delle uscite finali può inibire o reprimere collegamenti della rete non necessariamente localizzati sulla sequenza che porta direttamente a questa. Questa struttura permette di descrivere con efficacia le problematiche che possono emergere in un sistema complesso: per esempio l'aumento esagerato di traffico in una città potrebbe non portare all'inibizione della produzione di nuove automobili e alla repressione dell'industria; piuttosto potrebbe condurre all'inibizione di altri settori della rete quale la domanda immobiliare nel centro città, e favorire i settori della rete che rappresentano la domanda di immobili in zone periferiche. Questa strutturazione comporta inoltre che, tanto più una rete è complessa e interconnessa, tanto più è indifferente al venir meno di particolari relazioni.

Tutte le reazioni che hanno luogo all'interno di una rete non possono es-

sere analizzate semplicemente mediante la misurazione della velocità e delle interazioni: i sistemi di equazioni non sono in grado di rappresentare adeguatamente la complessità del sistema. Modelli di reti al computer hanno però permesso di progredire in questo campo, evidenziando una caratteristica molto importante delle reti complesse: il loro comportamento controintuitivo, ovvero la risposta del tutto inattesa offerta dal sistema a seguito di precise perturbazioni. Si è giunti a credere che tali risultati siano la causa di una porzione del sistema che si approssima ad un nuovo equilibrio con un andamento oscillatorio anziché con un lento e progressivo avvicinamento; o altrimenti, l'espressione di un collasso in una parte apparentemente isolata ma fragile del sistema. Ma il problema fondamentale, nel momento in cui si cerca di intervenire sul sistema al fine di modificarne il comportamento o di migliorarne i punti deboli, resta il fatto che il contributo di ogni particolare elemento alla stabilità o alla variabilità del sistema, muta con il mutare del sistema stesso.

Interazioni particolari

All'interno dei sistemi complessi vi sono infine particolari interrelazioni e comportamenti ricorrenti che meritano di essere brevemente discussi. Il *block* (*lock in*), è uno di questi: si tratta di una situazione in cui all'inizio il componente *a* interagisce con un certo numero di altri componenti *b*, *c*, *d*, ma l'interazione con uno di questi, ad esempio *c*, mette in moto una reazione che tende a far concentrare l'attenzione solo su questo. Man mano che la situazione si sviluppa, le altre interazioni si indeboliscono fino ad annullarsi, e *a* reagisce solo con *c*: l'evoluzione che seguirà dipenderà così solo da questi due elementi. Esempi di *lock-in* sono la diffusione del formato VHS a scapito del Betamax, delle auto a benzina piuttosto che a vapore, dei computer compatibili IBM piuttosto che di quelli fondati sul System di Apple.

Un'altra nozione è quella di *schismogenesis*, ovvero lo sviluppo di un chiasmo. Prendendo in considerazione due parti A e B, ciò che fa una parte determina nella seconda un inasprimento del proprio comportamento, in direzione eguale o contraria, cui a sua volta la prima parte reagirà. La corsa agli armamenti è un esempio di *schismogenesis simmetrica*; la relazione fra autorità e sottomissione è invece un esempio di *schismogenesis complementare*.

Infine un ultimo concetto che merita la nostra attenzione è quello di *doppio legame*: in questa situazione tre componenti interagiscono in modo tale che la reazione di A nei confronti di B rende a quest'ultimo difficile una reazione appropriata nei confronti di C. E' in pratica un altro modo per descrivere il problema del *trade-off*: se per esempio lo Stato aumenta il tasso sui BOT per stimolarne la domanda da parte nostra, sarà per noi più difficile

investire adeguatamente sul mercato azionario; questo allora, per cercare a sua volta di mantenere inalterata la nostra domanda farà salire i rendimenti. E così via.

2.3.3 La stabilizzazione

Giunti a questo punto, l'impressione è che i sistemi debbano continuare indefinitamente nella propria dinamica, oppure finire, in maniera disorganizzata e del tutto confusa. Ma non è così. Anzitutto è importante effettuare una distinzione fra:

- *sistemi conclusi*, ovvero che giungono ad una sorta di stato finale in cui permangono costantemente o da cui tornano a ripetere indefinitamente il proprio comportamento (andamento ciclico);
- *sistemi progressivi*, che continuano a trasformarsi anche in un orizzonte temporale estremamente ampio.

Sistemi conclusi: stati stazionari

Abbiamo già detto di come una situazione possa concludere in uno stato stazionario: non significa che non accade nulla, ma semplicemente che qualche tipo di flusso attraversa costantemente il sistema. La forma di tale flusso è stazionaria. Il processo produttivo di una catena di montaggio può essere un esempio. Gli stati terminali possono però essere di vario tipo: può essere costante una singola componente così come numerose variabili. *L'omeostasi* è il ritorno allo stato stazionario di un sistema dopo che è stato perturbato. Rappresentando lo stato come un punto in un piano tridimensionale, possiamo dire che il meccanismo omeostatico produce un'attività di controllo il cui risultato è il ritorno del punto (xyz) nella propria posizione normale, una volta che ne sia stato spostato. L'attività di controllo può essere visualizzata mediante una superficie d'attrazione a forma di cono rovesciato con il vertice situato nella posizione normale di (xyz) : se il punto viene spinto altrove, dapprima viene attratto nuovamente sulla superficie conica, poi scivola giù verso il vertice. Vedremo complicarsi le cose nel momento in cui le variabili in questione saranno più di tre.

Un tipo di stato finale raggiungibile dai sistemi conclusi è quello in cui il sistema continua a oscillare con regolarità fra due estremi: la configurazione non si appiattisce e non si ferma mai, proseguendo in un fenomeno pendolare rappresentabile tramite un movimento ondulatorio. Altra rappresentazione possibile, definita *ciclo limite*, vede il sistema descrivere continuamente una linea circolare passante per i due estremi.

Un altro tipo di stato finale, anche se più affine ad un sistema progressivo, è quello in cui il sistema tende ad uno stato stazionario senza mai raggiungerlo: il comportamento è *asintotico*. Il tasso di incremento di un sistema per esempio può crescere indefinitamente ma sempre con maggiore lentezza, fino a divenire impercettibile: naturalmente questa evoluzione all'asintoto può essere anche non continua, ma oscillatoria a intervalli decrescenti.

Sistemi progressivi: flussi stazionari

I sistemi progressivi non possiedono uno stato stazionario, o ne sono così lontani da permetterci di trascurarlo. La maggior parte dei sistemi che coinvolgono l'individuo e la società è di questo tipo: il loro orizzonte temporale è troppo ampio per l'uomo, oppure i sottosistemi si trasformano a seguito di perturbazioni da parte dell'ambiente che non gli consentono di giungere allo stato finale. Un insieme iniziale di entrate in un sistema progressivo produrrà una sequenza di trasformazioni, ma è difficile stabilire quale questa sequenza sia, e dove condurrà il sistema: l'elaboratore può per via numerica offrirci un'idea di ciò che accadrà, ma è azzardato definire come attendibili le previsioni offerte circa gli stati futuri del sistema, specie in relazione alla in ogni caso insufficiente attendibilità delle stime effettuate circa la situazione iniziale del sistema. Il calcolatore può però illustrare comportamenti che non avremmo ritenuto probabili, tanto in relazione alla situazione iniziale quanto a eventuali perturbazioni successive. In genere le risposte a tali perturbazioni sono considerate come dei transitori: dopo un intervallo di tempo dall'eccitazione del sistema più o meno lungo, i mutamenti transitori si saranno smorzati fino a raggiungere un nuovo assetto delle relazioni fra i diversi valori delle componenti, magari poco difforme dall'iniziale.

In gran parte dei sistemi complessi che analizziamo l'esistenza di una certa stabilità costituisce una proprietà di rilievo: un sistema vivente la acquisisce per selezione, un sistema artificiale ne è invece provvisto per mezzo di meccanismi di controllo. La stabilità nei sistemi progressivi non indica però necessariamente un mantenimento a valore costante di una determinata componente del sistema: in un sistema del genere piuttosto la stabilizzazione agisce in modo da assicurare una continua modificazione del sistema con le stesse modalità che si sono verificate nel passato. Tale processo è definito *omeoresi*, termine greco che indica la conservazione del flusso. Anche un sistema omeoretico può essere rappresentato graficamente in termini di una superficie di attrazione in uno spazio multidimensionale: la superficie in questione non potrà però essere un cono che conduce ad un punto, dal momento che l'effetto dei meccanismi di controllo è un movimento continuo verso una determinata direzione. La superficie avrà allora la forma di una

valle, e il cammino stabilizzato sarà rappresentato dal letto di un ideale fiume a fondovalle: le misure delle componenti istantanee saranno rappresentate da una pallina che scorre lungo tale canale. Se una perturbazione sposta la pallina, essa verrà prima riattratta verso la superficie, quindi raggiungerà un determinato punto del pendio della vallata, infine scenderà a fondovalle, ma gradualmente anziché perpendicolarmente, per l'impulso a procedere nella direzione precedentemente seguita: ne consegue che il nuovo stato di equilibrio, seguente alla perturbazione, non sarà quello iniziale bensì un poco più avanti. La perturbazione viene cioè superata solo ad uno stadio successivo a quello in cui si è presentata.

Il cammino canalizzato della trasformazione è definito *creodo*, termine che in greco significa percorso obbligato: ogni creodo può presentare un tipo particolare di stabilità, la forma della valle essendo la rappresentazione dell'insieme delle azioni di controllo, risultanti da effetti di rete o da meccanismi di retroazione. Una descrizione di questo tipo può ad esempio permetterci di analizzare l'evoluzione della ricchezza all'interno di una comunità: supponiamo che ciascun individuo sia dotato di una ricchezza iniziale, e analizziamone l'evoluzione nel tempo. A seconda dell'andamento delle entrate e delle uscite di ciascun budget, si creeranno differenti evoluzioni. Immaginando una situazione semplice, potrebbero venire a crearsi due soli creodi: uno costituito dagli individui ricchi, che tenderanno ad esserlo sempre più, ed uno costituito dagli individui poveri, anch'essi destinati a proseguire nel loro percorso canalizzato. Più probabilmente però si creeranno diversi creodi, ovvero più di due classi di ricchezza. Qualcuno probabilmente auspicherebbe forze di controllo che comportino l'esistenza di creodi che non conducano mai alla povertà. In un'economia estremamente flessibile invece sarebbero presenti dei cammini che renderebbero possibile il passaggio da un creodo all'altro. L'utopia comunista potrebbe essere immaginata come un sistema privo di creodi, ovvero non in grado di creare classi di ricchezza distinte. In ogni caso, tutti i canali visti fin qui hanno un andamento parallelo: in effetti abbiamo affrontato un sistema estremamente semplificato e composto di due soli variabili, ricchezza e tempo.

La rappresentazione di sistemi più complessi, strutturati gerarchicamente anche in modo non ordinato, e caratterizzati da componenti con funzioni e comportamento tutt'affatto differenti, può allora avvenire per mezzo di quello che Waddington ha definito un *paesaggio epigenetico*: questo si forma per mezzo dell'evoluzione del sistema. All'inizio del processo abbiamo una sola valle, che in seguito però si dirama in più valli, le quali a loro volta si dividono continuamente. Qualunque sviluppo, sia esso biologico, storico o sociale, può essere rappresentato per mezzo di un paesaggio epigenetico: e così pure, il comportamento di ciascun sistema o individuo si muove all'interno di questo

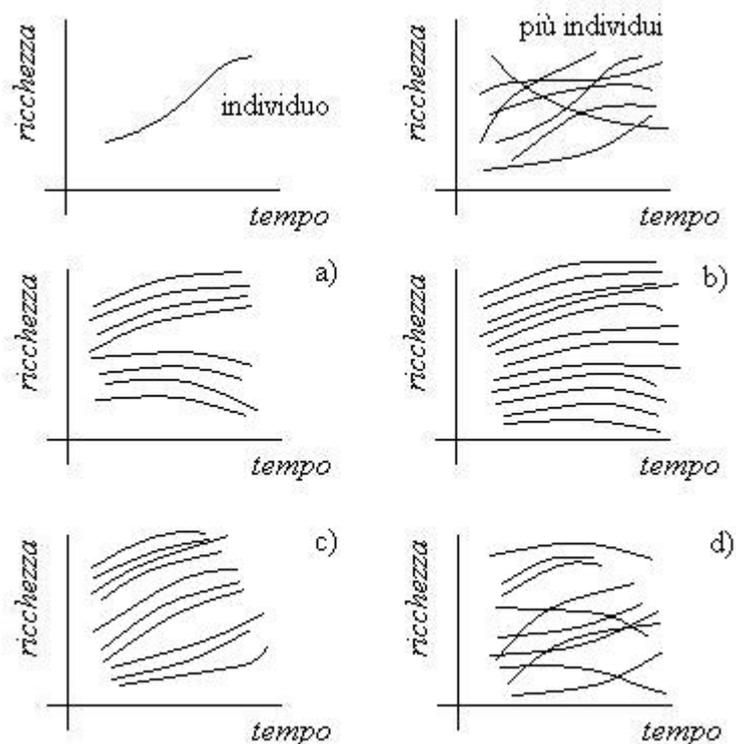


Figura 2.7: Creodi e Ricchezza: il primo grafico in alto a sinistra mostra l'andamento nel tempo della ricchezza di un individuo; il grafico accanto descrive l'evoluzione in una comunità di individui di una ricchezza variamente distribuita. Nei grafici successivi: a) due creodi, uno ricco e uno povero; b) più creodi ovvero più classi di ricchezza; c) creodi che non conducono mai alla povertà; d) creodi che consentono il passaggio fra classi di ricchezza.

paesaggio. Si pensi allo sviluppo storico di un pensiero, quale può essere quello marxista o quello capitalista: entrambi partono da un'unica direttrice di pensiero, per poi però suddividersi in correnti differenti quali leninismo o stalinismo da un lato, neoclassicismo e libertarismo dall'altro. Ciascuna divisione presenterà poi un proprio carattere creodico: e quindi se un'individuo cercherà di porsi a metà strada fra l'una e l'altra suddivisione, si troverà soggetto a forze intense che cercheranno di attirarlo dall'una o dall'altra parte. E' evidente come questo strumento possa essere estremamente valido per affrontare lo studio dell'economia nel suo complesso: dall'evoluzione del sistema nel suo complesso a quello delle realtà che lo costituiscono.

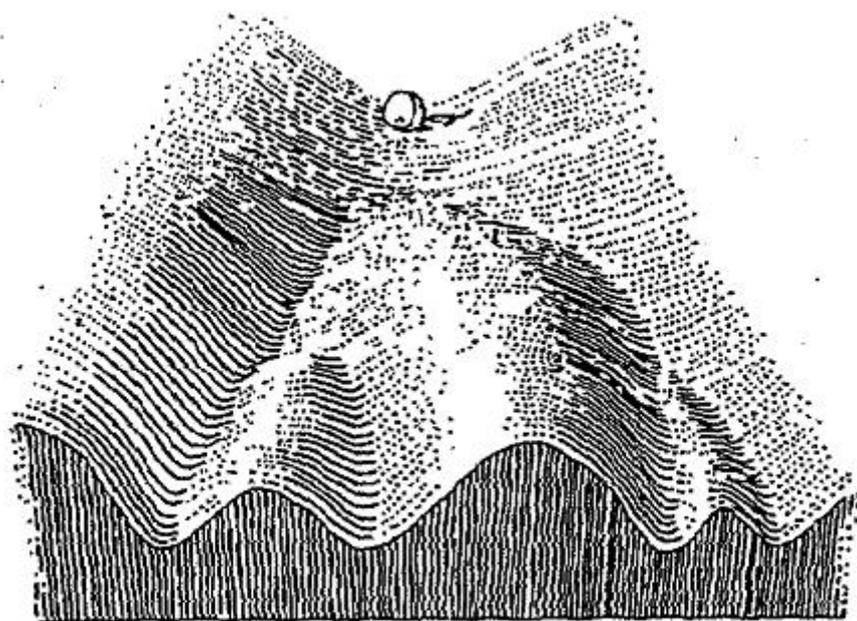


Figura 2.8: Il Paesaggio Epigenetico

A questo punto sorge in maniera evidente un'importante questione: cosa fa sì che, all'interno di un paesaggio epigenetico, il sistema rappresentato dalla nostra pallina imbocchi un canale piuttosto che un altro? Il sistema può percorrere autonomamente il paesaggio: in tal caso a guidarlo potrà essere il caso, o una ricerca di coerenza interna dovuta alla sua stessa struttura, o ancora una coerenza dell'ambiente dovuta ancora una volta alla strutturazione. Dunque niente di nuovo. Ma supponendo che conosca il paesaggio, questo è in effetti il compito di chi deve prendere delle decisioni ed effettuare delle scelte: se ci si rende conto dell'esistenza nel sistema di un punto di diramazione, si può fare in modo di spingere il sistema nella direzione desiderata.

Naturalmente la scelta del momento adatto è importante: una spinta troppo precoce si limiterà ad assumere la veste di una perturbazione, con il sistema che ritornerà al canale in seguito al processo di attrazione, dissipando la spinta. Il periodo immediatamente precedente la diramazione, durante il quale una spinta sarà in grado di dirigere il sistema verso l'uno o l'altro cammino, è detto periodo di competenza. I grandi personaggi storici hanno fatto proprio questo: scelto il momento opportuno per imprimere una spinta a una società prossima a giungere ad una diramazione.

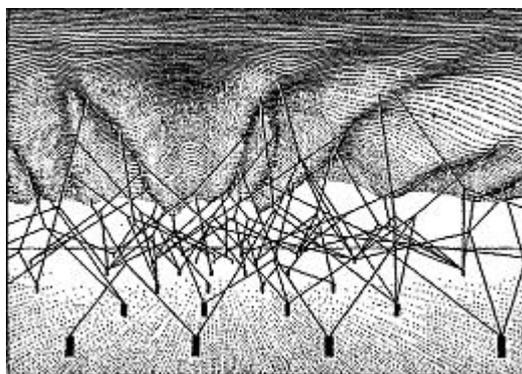


Figura 2.9: La complessità delle relazioni sottostanti il Paesaggio Epigenetico

Una questione analogamente rilevante è come mai si creino le diramazioni. Tenendo a mente che la forma della valle consegue dai meccanismi di controllo del sistema, possiamo bene immaginare come l'intensità delle retroazioni dipenda dal numero dei vari elementi presenti nel sistema: man mano che il sistema si trasforma anche l'intensità di tali controlli si modifica, e interazioni di controllo marginali possono divenire decisamente più significative. Le alterazioni in genere sono tali da far sì che i meccanismi di controllo non riescano più a mantenere la stabilità: ne consegue che il sistema, o degenera nel disordine totale, oppure si suddivide in percorsi alternativi ciascuno dei quali con una propria stabilità. La maggior parte dei sistemi si comporta nel secondo modo: questo perché è più probabile che si crei una sola spaccatura, essendo la superficie di controllo caratterizzata da una certa robustezza e coesione fra le parti, piuttosto che una totale rottura della superficie di attrazione. Ovvero, è più probabile che da un insieme di relazioni estremamente ordinato e coordinato in fase di collasso, sorgano sottoinsiemi a loro volta ordinati, piuttosto che un indefinita massa caotica.

2.4 La Teoria dei Sistemi: ricapitolazione

Abbiamo dunque visto come è composto un sistema complesso e quali sono le sue caratteristiche principali: anzitutto abbiamo definito il sistema quasi-isolato. Poi abbiamo capito che un sistema può essere aperto o chiuso, a seconda del grado di interazioni che detiene con l'ambiente circostante. Abbiamo quindi visto che un sistema al suo interno può configurarsi in diversi stati, e che può effettuare le transizioni fra questi stati in maniera determinata, stocastica, o indeterminata. Ancora, un sistema può essere lui stesso l'ambiente per sottosistemi gerarchicamente inferiori: parliamo così di sistemi quasi-scomponibili, caratterizzati da gerarchie interne al sistema. Sistemi di questi genere godono di proprietà microscopiche, specifiche di ciascuno dei sottosistemi, e macroscopiche ovvero definite solo ad un livello globale del sistema: ne consegue che il comportamento del sistema diviene la risultante del comportamento dei suoi sottosistemi, ovvero che le proprietà macroscopiche sono la risultante delle insieme delle proprietà microscopiche.

Siamo quindi passati ad analizzare la dinamica di questi sistemi, per capire come insieme e sottoinsiemi interagiscono fra di loro e con l'ambiente. Abbiamo visto a quali tipi di crescita può essere soggetto un sistema, quali sono i meccanismi che controllano il comportamento dei sistemi, ed infine come i sistemi raggiungono o meno la stabilità.

Tutto questo ci è estremamente utile per un motivo molto semplice: l'economia è un sistema, un sistema complesso, che risponde alle caratteristiche che abbiamo analizzato. E' composta di sottosistemi, ed è descrivibile con un sistema a stati: se fossimo in grado di conoscere tutte le transizioni che il sistema è in grado di compiere, ne avremmo il totale controllo. E' ovvio come ciò non sia possibile, ma è proprio per tale ragione che questo genere di analisi si rivela importante: studiare il sistema, la sua gerarchia, analizzarne le proprietà macroscopiche e capire come derivano da quelle microscopiche, può permetterci di conoscere al meglio l'economia e ciascuno degli elementi che lo compongono. In questo modo arriveremo ad avere uno strumento in grado di aiutarci a compiere le scelte che effettueremo riguardo al nostro modo di influenzare il sistema: potremo capire dove il sistema può andare, e soprattutto, in quale direzione sia preferibile che muova e cosa fare per aiutarlo ad andare dove noi vorremmo. Nei capitoli successivi analizzeremo il sistema economico e il sistema impresa nella prospettiva che abbiamo tracciato fin qui: vedremo così quali implicazioni comporta un'analisi di tipo sistemico delle problematiche di natura sociale.

Capitolo 3

La Complessità del Sistema Economico

3.1 Il problema economico

Individuare con chiarezza quale sia l'oggetto di studio della scienza economica è intento non facile: in molti ambiti del sapere più si progredisce nella ricerca più appaiono vasti tanto l'oggetto di studio quanto l'obbiettivo che lo stesso studio si è prefissato. In questo l'economia non si smentisce e anzi, non solo gli obbiettivi che tale scienza si è posta con il passare del tempo si sono modificati e accresciuti, ma anche i modi di affrontare il problema economico, nonché la definizione stessa di tale problema, si sono moltiplicati e hanno assunto le più diverse conformazioni. In effetti l'economia è definibile, ed è stata definita nel corso della storia, nei modi più vari: è la scienza della ricchezza e del benessere, della formazione dello stato sociale; ma può anche essere vista come una scienza, per così dire, dell'avarizia ovvero una scienza fondata sul principio del massimo risultato con il minor costo; ancora, l'economia è la scienza della moneta, del commercio, dello scambio. Con questo, in verità quello che forse più conta è il fatto che l'economia ha a che vedere con ogni singolo individuo e con il modo che questi ha di relazionarsi con gli altri individui: dunque l'economia si preoccupa dell'azione degli uomini, della società e della sua evoluzione.

Abbiamo visto nel primo capitolo come nel corso dei secoli i filosofi abbiano cercato di comprendere la natura e la struttura della realtà e quale ne fosse il fine ultimo, se un fine vi era: si cercavano le leggi che guidavano l'evoluzione e il destino dell'uomo, che governavano le cose e gli avvenimenti. La visione finalistica della realtà imponeva sistematicamente la necessità di inserire, quale motore o anima dei sistemi teorizzati, una qualche forza o

causa esterna e superiore. Vi erano però anche altri pensatori più realistici, e orientati piuttosto che alla comprensione delle forze della natura, allo studio della società umana e delle forme di governo utili al fine di ottenere un sistema di convivenza armonioso. Il loro studio però non aveva per oggetto la ricerca e la comprensione delle leggi di cooperazione sociale: piuttosto tali filosofi ricercavano, o creavano, la struttura perfetta all'interno della quale l'uomo avrebbe potuto esistere, convinti di poter disegnare la società secondo il proprio volere. Tutto quanto occorre per la realizzazione di una società civile perfetta erano governanti giusti, e cittadini virtuosi: la mancata realizzazione delle utopie derivava esclusivamente dal fallimento morale degli uomini.

Questo modo di vedere le cose relegava però in secondo piano quelle che sono invece un aspetto fondamentale del sistema sociale, ovvero le interdipendenze tra gli individui che si configurano non in quanto guidate da valori morali quali bene e male, bensì in quanto il risultato di aggiustamenti nel comportamento di ciascuno di essi con il fine di avere successo nel perseguimento di determinati obiettivi. L'individuo, nell'affrontare se stesso e gli altri, si trova a dover compiere delle scelte: scelte che implicano delle preferenze, che si fondano su valutazioni per lo più soggettive, e che costringono a prendere qualcosa e a lasciare da parte qualcosa d'altro. Scelte che coinvolgono tanto i mezzi con cui agire quanto il tipo di azione da perseguire, e che comportano reazioni e nuove scelte da parte degli altri individui, dando così vita a quell'insieme di comportamenti e di avvenimenti che costituiscono la dinamica della società umana. Una dinamica che è innegabilmente caratterizzata da una miriade di relazioni e di elementi, e che da luogo a quel fenomeno che abbiamo ormai imparato a conoscere e a cui facciamo riferimento con il termine complessità.

Ne consegue che un modo importante di guardare alla scienza economica è quello che prende in seria considerazione le azioni degli uomini, e soprattutto che individua le varie configurazioni del sistema economico nel suo complesso come il risultato delle scelte e delle decisioni dei singoli individui, e non invece, come un mero adattamento dell'uomo ad un disegno scritto e predeterminato, disegno che non si realizza solo perché l'individuo non ne è all'altezza. Nelle pagine che seguiranno incontreremo diversi modi di guardare al sistema economico e vedremo come i concetti di evoluzione, incertezza, ordine e gerarchia, in una parola come la complessità sia parte costitutiva dei problemi economici e come anzi, sia in grado meglio di qualunque altro paradigma di offrire un accostamento valido e soddisfacente ai problemi sociali ed organizzativi che comportano delle scelte, ovvero appunto, i problemi economici.

3.2 Costruttivismo ed evolucionismo

Le prospettive tramite cui possiamo guardare alla società sono due, diametralmente opposte, e che ci conducono a conclusioni differenti sia per quanto riguarda la spiegazione della struttura e della dinamica del sistema sociale, sia per quanto riguarda le possibilità che abbiamo di intervenire su tale sistema e modificarne il comportamento.

La visione costruttivista considera che le istituzioni sociali siano in grado di perseguire dei fini solo nel caso in cui a tali fini siano esplicitamente destinate: e anzi, considera che l'esistenza medesima di tali istituzioni sia prova della loro creazione per il perseguimento di un fine determinato. Ne consegue che gli individui sarebbero in grado di disegnare la società e le istituzioni in modo da far sì che tutte le azioni siano guidate da obiettivi noti e ben specificati: solo il disegno e la progettazione umana sono in grado di rendere utile un'entità di qualsivoglia natura. Questo modo di vedere la società umana ha avuto, e tutt'oggi ha, un notevole successo per ragioni che in seguito analizzeremo più approfonditamente, e che possono essere ricondotte fondamentalmente ai gradi di libertà che tale visione offre al potere umano di determinare il corso dei propri eventi, e di definire inequivocabilmente secondo il proprio volere il mondo in cui vive. Questa prospettiva peraltro, ha le proprie radici nella propensione del pensiero umano a interpretare in modo antropomorfo e antropocentrico qualunque regolarità riscontrabile nei fenomeni naturali, fisici, sociali: dunque la propensione a spiegare tutto come il risultato dei progetti di una mente pensante e ordinatrice, se non superiore, quantomeno perfettamente razionale.

La seconda prospettiva ha invece un'impostazione del tutto differente e mostra quali sono i limiti della mente umana: non offre solo speranze e certezze di successo, ma anche delusioni ed errori. Secondo questa visione l'ordine all'interno della società, che ha reso estremamente importanti e efficaci le azioni dei singoli individui, non è dovuto né esclusivamente né tanto meno principalmente a istituzioni ed azioni disegnate o realizzate a tale specifico proposito: piuttosto tale ordine è il risultato di quella che all'inizio venne definita come crescita, ma che oggi noi possiamo chiamare evoluzione, ovvero un processo per cui certe scelte e soluzioni, magari assunte con fini diversi da quelli ottenuti o ancora addirittura incidentalmente, sono state preservate poiché hanno permesso a chi le aveva operate o adottate di prevalere sugli altri. La visione evolucionista considera quindi che la configurazione della società, delle relazioni fra gli individui, delle istituzioni, sia da ascrivere ad un processo che permette alle migliori soluzioni di prevalere sulle altre.

3.2.1 La critica all'impostazione costruttivista

D'altronde risulta difficile accettare l'idea, che per secoli ha dominato probabilmente poiché, da un lato, sembra rendere più semplice la giustificazione dei gradi di elevata complessità osservabili, secondo cui fenomeni quali la religione, la legge, il linguaggio o il mercato, siano il risultato della progettazione di qualcuno e che a tale progettazione si debba ogni tipo di armonia e apparente perfezione: in effetti questo era considerato il risultato del cosiddetto contratto sociale, in cui credettero filosofi quali Hobbes e Rousseau.

Appare ben più condivisibile l'idea che molte delle istituzioni e delle regole formali che sono invero fondamentali per la convivenza degli individui e per il perseguimento con successo di obiettivi determinati, siano il risultato di abitudini, di regole informali e di azioni che non sono mai state inventate o pensate con l'intento di giungere ad un risultato specifico, ma che sono piuttosto il risultato di un processo adattivo che si è configurato nel corso del tempo. L'uomo nella sua condotta non è solo mosso dalla realizzazione di un fine specifico, ma anche dalla conformazione a regole, a standard sociali e a consuetudini, e agisce in funzione non solo dei propri obiettivi ma anche delle regole che deve rispettare: è dall'unione di questi due elementi, obiettivi e regole, che l'individuo ha la possibilità di conseguire dei successi. Ed è fondamentale come questi elementi possano nel contempo configurarsi come perfettamente noti in un rapporto di causa ed effetto, o altrimenti sconosciuti tanto nel loro fine quanto nella loro esistenza. In altre parole l'uomo può, entro certi limiti, avere successo e perseguire i propri obiettivi non perché è perfettamente conscio delle ragioni per cui deve seguire determinate regole e perché ne è perfettamente a conoscenza, ma piuttosto perché il suo modo di pensare ed agire si sviluppa all'interno di un solco tracciato da un insieme di norme che sono tali perché evolvono tramite un processo di selezione operato dalla società, e quindi dalle generazioni passate attraverso l'esperienza.

Il costruttivismo si fonda sull'idea di una mente o di un'entità centrale in grado di conoscere tutti i fatti rilevanti e di costruire, sulla base di tale conoscenza, un ordine sociale desiderabile. Ma sappiamo bene che la miriade di elementi, di interazioni e di fenomeni emergenti che si presentano all'interno di un sistema complesso, qual'è quello della società umana, in realtà non permettono in alcun modo di controllare e governare la totalità delle relazioni: tale prospettiva assume contorni tanto più improbabili se giungiamo a considerare la quantità immane di dati che dovremmo poter conoscere, analizzare e assemblare in relazione all'ordine sociale che intendiamo creare, e agli eventi interni ed esterni a questo. In effetti l'idea di una pianificazione, di una definizione precisa e specifica della vita sociale ed economica, per quanto possa apparire chiara, esplicita, ordinata e relativamente semplice da attuare

con successo, manca nella maniera più assoluta di aderenza alla realtà e ai fenomeni coinvolti.

Abbiamo già affrontato questo problema in relazione alla teoria del caos e alla nostra capacità di prevedere eventi specifici riguardanti la dinamica di sistemi complessi: le nostre possibilità in tali frangenti sono decisamente esigue dal momento che non siamo in grado di conoscere e distinguere con esattezza tutte le variabili che riguardano lo stato del sistema. La conoscenza dei fenomeni sociali è dispersa: a ciascun individuo sono noti, peraltro in maniera incompleta, i fatti che lo riguardano, ma nessuno ha informazione di quanto riguarda tutti gli individui. D'altronde la soluzione a tale questione non può essere trovata nella ricerca scientifica: questa infatti non va considerata come una collezione di fatti stilizzati e di osservazioni, come una catalogazione, come una precisa e puntuale descrizione di come le cose sono; se anche questo fosse possibile, ci condurrebbe poco lontano. Piuttosto, nello studio scientifico è anche importante l'analisi della dinamica dei sistemi, ovvero un'analisi di come le cose sarebbero se fossero diverse dallo stato in cui noi le osserviamo: quello che a noi interessa, specie in ambito sociale, è lo studio e l'analisi dei possibili mondi che verrebbero a configurarsi in relazione alle variazioni delle condizioni in cui ci troviamo. L'intento è quello di individuare schemi e regole generali di comportamento, crescita ed evoluzione. In prima battuta, non ci interessano risposte specifiche a problemi specifici: e questo perché, all'interno di un sistema caratterizzato da un'elevata complessità, non è possibile individuare con certezza né i confini di un problema, né tanto meno la totalità delle relazioni e dei fenomeni che ne fanno parte.

3.2.2 L'impostazione evuzionista

La teoria dell'evoluzione descrive un processo che è indipendente dalle particolari circostanze in cui ha luogo: può infatti aver corso in situazioni anche molto differenti fra loro, e genera quella moltitudine di configurazioni che possiamo riscontrare osservando la realtà. L'evoluzione si fonda su un meccanismo di riduplicazione che trasmette delle modifiche dello stato di partenza: la selezione concorrenziale delle entità che mostrano di avere maggiori probabilità di sopravvivere produrrà, nel corso del tempo, una moltitudine di strutture che si adattano alle continue variazioni dell'ambiente, nonché alle interazioni fra le strutture stesse. Per mezzo di questo continuo adattamento dei loro stati interni all'ambiente, le strutture complesse crescono e si mantengono.

E' evidente come solo la nostra immaginazione sia in grado di porre limiti al numero delle possibili configurazioni che si possono presentare: è del resto ragionevole attendersi variazioni minime, quanto meno nel breve periodo.

Configurazioni del tutto differenti da quelle che conosciamo, e che aumentano vertiginosamente lo spettro delle possibilità, difficilmente possono presentarsi a un tratto: il processo evolutivo impiega diverso tempo a compiere il suo corso, e ciò avviene attraverso continui aggiustamenti; variazioni repentine e quanto meno apparentemente incoerenti, potrebbero costringerci a rivedere la teoria, o a ricercarne la causa in qualche importante fattore esterno. Con questo, solo l'evoluzione è in grado di dirci quali tipi di variazioni potranno avere luogo, e quali invece non rientrano nello spettro dei possibili cammini che il sistema in questione potrà percorrere.

In questo contesto assume una notevole rilevanza il fatto che i singoli eventi regolarmente dipendono da una moltitudine di circostanze, e che in alcun modo possiamo pensare di essere in una posizione che ci permetta di riconoscerle e controllarle tutte. Ancora una volta ci troviamo così a criticare i metodi e le impostazioni che credono di poter fornire una spiegazione esauriente, e addirittura potere di controllo e previsionale, mediante l'analisi isolata di ogni singolo evento. Ogni singola azione compiuta da un individuo, che sia stata o meno consciamente rivolta verso un obiettivo, avrà effetto sulla sua situazione futura così come sulle sue azioni. Ma non solo: la vita di una società consiste di miliardi di relazioni fra individui, e fra gruppi più o meno grandi; al riguardo è possibile stabilire delle regole generali, ma osservarle tutte è impossibile. Nel contempo, è estremamente importante considerare che molti fenomeni, primo fra tutti quello del mercato, non possono aver luogo se non con un numero elevato di attori: e cosa ancora più importante, il risultato globale deriverà non solo dai comportamenti dei singoli individui, ma anche dalle differenze fra tali comportamenti. Differenze e comportamenti che difficilmente potranno essere analizzati uno per uno.

Così, a differenza di quanto può avvenire per esempio in fisica, nel nostro studio dei sistemi sociali potremo ottenere risultati maggiormente significativi studiando le caratteristiche generali dei sistemi: all'interno dei sistemi complessi infatti le strutture prevalenti, ovvero quelle che hanno superato la selezione, hanno in comune solo tali caratteristiche generali. In un'analisi, per quanto approfondita, dovremo limitarci così ad individuare la natura di un sistema, dal momento che non saremo in grado di individuare gli attributi di ogni singolo elemento componente: saremo in grado di definire uno specchio di possibili evoluzioni del sistema o di fenomeni che potranno presentarsi, ma difficilmente riusciremo a stabilire con certezza quale configurazione o evento si presenterà.

Da questo genere di considerazioni possiamo quindi dedurre che l'attuale ordine della società, piuttosto che essere il risultato di un progetto specifico e prestabilito o di un contratto, è più probabilmente emerso dalla prevalenza di regole, istituzioni e pratiche che nel corso dell'evoluzione si sono rivelate

più efficienti di altre. Del resto, la cultura di una società non è artificiale, non è trasmessa geneticamente né tanto meno è stabilita a tavolino, ma è il risultato di tradizioni e regole informali che sono state scelte e seguite perché considerate migliori o giuste: l'evoluzione culturale non è il risultato di una costruzione umana razionale delle istituzioni.

Ne consegue che per riuscire a comprendere gli aspetti economici di sistemi sociali di grandi dimensioni, o di dimensioni anche piccole ma dal comportamento complesso, dovremo prendere in considerazione un flusso di relazioni, azioni ed eventi in continua evoluzione, piuttosto che analizzare l'ipotetico equilibrio determinato mediante un set di dati empirici che sono in grado di rappresentare solo una piccola (se non addirittura infinitesima) frazione dell'intero sistema. Più avanti torneremo nuovamente sull'argomento per approfondirlo.

3.3 L'ordine nel sistema economico

3.3.1 Il concetto di ordine

E' importante anzitutto definire cosa intendiamo descrivere con il termine ordine: Hayek (1973) definisce 'ordine' uno stato in cui una molteplicità di elementi di vario genere è interrelata in modo tale, che la nostra conoscenza (tanto di natura spaziale quanto di natura temporale) di una parte dell'intero sistema ci permette di formare aspettative corrette, o che perlomeno hanno una buona possibilità di rivelarsi tali, circa il resto del sistema. Tale prospettiva è avvalorata dall'idea secondo cui, essendo l'individuo un membro della società, egli dipende per la soddisfazione della maggior parte delle proprie necessità da varie forme di cooperazione con gli altri: dunque ciascuno di noi nella ricerca dei propri obiettivi dipende dalla corrispondenza fra le proprie aspettative riguardo il comportamento degli individui all'interno del sistema, aspettative sulle quali ha necessariamente basato i propri piani, e il comportamento da questi effettivamente tenuto. Hayek individua proprio in questo incontro fra intenzioni e aspettative, che determina l'agire dei diversi individui, il modo in cui l'ordine si manifesta nella vita sociale. Il passo che segue è interrogarsi sulle prerogative e sui principi sui quali tale ordine si basa e da cui conseguentemente emerge.

Ripensando alla contrapposizione fra costruttivismo ed evolucionismo che abbiamo poc'anzi trattato, diviene relativamente semplice considerare due possibili sorgenti di ordine. La prima presunta origine dell'ordine non può che essere il progetto della mente umana: secondo questa interpretazione l'ordine all'interno della società si basa su un rapporto di autorità e obbedienza,

ovvero su di una struttura gerarchica in cui il volere dei superiori, o al limite di una singola autorità suprema, determina cosa ciascun individuo debba fare. Questa connotazione autoritaria si fonda sull'idea che l'ordine possa essere creato esclusivamente da forze esterne al sistema, ovvero esogene. Parliamo allora di ordine organizzato (o costruito).

Un altro modo di guardare alla sorgente dell'ordine è invece, al contrario, supporre che un sistema sia in grado di sviluppare endogenamente una forma di equilibrio interno, una forma di ordine che discende da un percorso evolutivo. Tale sorta di autogenerazione è definita da Hayek 'ordine spontaneo': questi considera come lo stesso studio della società abbia inizio con la scoperta dell'esistenza di strutture ordinate che sono il risultato dell'azione di numerosi individui, ma non di un disegno predeterminato. Nella sfera economica, è celebre l'immagine della mano invisibile di Smith, che descrive come l'uomo sia destinato a promuovere un fine che non è parte delle proprie intenzioni. Hayek sottolinea inoltre come un ordine di questo genere non sia esplicitamente visibile, ma solo ricostruibile mentalmente prendendo in considerazione le relazioni che esistono fra gli elementi: si tratta di un ordine astratto.

In contrapposizione a questo vi è l'ordine concreto, il quale non solo è chiaramente percepibile bensì, essendo come già detto il risultato di una specifica progettazione, serve al raggiungimento di uno scopo definito più o meno precisamente. Al riguardo è da evidenziare una questione che anche più avanti si rivelerà di una certa importanza: Hayek sostiene infatti che l'ordine organizzato sia in genere relativamente semplice, o al più confinato entro un certo grado di moderata complessità, dal momento che il creatore di tale ordine deve essere in grado di controllarlo. Al contrario, l'ordine spontaneo non necessariamente è complesso, ma diversamente da artefatti umani, può raggiungere qualunque grado di complessità: solo strutture che derivano dall'evoluzione e che sottostanno a forze di ordinamento spontaneo possono raggiungere elevati gradi di complessità. Successivamente vedremo come questa posizione sia almeno in parte discutibile.

Quello che a questo punto invece ci preme maggiormente rilevare è la natura della causalità delle diverse forme di ordine: nella forma creata esogenamente, come detto, la struttura è tale perché è orientata ad uno scopo specifico. Un ordine endogeno invece non può avere, quantomeno in se stesso, un fine specifico: ciò non toglie però che la sua esistenza possa essere utile per gli individui che vi operano. Anche l'ordine spontaneo infatti può dirsi fondato sulle finalità delle azioni dei propri elementi: tali finalità non sono però riconducibili a obiettivi specifici, bensì semplicemente al mantenimento o alla reintegrazione dell'ordine stesso. Ritroviamo così il nostro paradigma evolutivo: gli elementi del sistema agiscono secondo certe regole

dettate dalla selezione, ovvero regole che si sono rivelate più utili di altre per la sopravvivenza.

L'ordine sarà sempre il risultato di un adattamento ad un ampio numero di circostanze particolari, che non saranno mai note ad alcuno nella loro totalità: dunque il modo in cui l'ordine astratto risultante si manifesta dipenderà, oltre che dalle regole che governano le azioni dei singoli elementi, dalla loro posizione iniziale nonché dalla configurazione dell'ambiente immediatamente circostante, che avrà ovviamente influenza sugli elementi e sul loro processo di ordinamento.

3.3.2 La composizione dell'ordine della società

Pur con tutte le differenze che abbiamo operato fin qui, appare tuttavia evidente come in una società umana, quale che sia il suo grado di complessità, convivono tanto l'ordine spontaneo, che si manifesta nella struttura della società, nella natura del sistema economico o ancora nel mercato, quanto le organizzazioni, quali le imprese o le istituzioni pubbliche. E'dunque necessario comprendere a fondo quali sono le relazioni che intercorrono fra i due generi di ordine e, inoltre, in che modo i due possono coesistere. Ma prima ancora, è necessario individuare le componenti elementari del sistema: gli individui, e le regole.

Azione umana

E' von Mises (1949) a fondare l'intero sistema economico sulla figura dell'individuo: egli vede l'economia come la branca più sviluppata di una scienza più ampia, la prasseologia, che ha come oggetto lo studio dell'azione umana. Per Mises l'azione umana è necessariamente sempre razionale: è al termine razionalità che egli attribuisce un significato ben diverso da quello a cui fa in genere riferimento l'economia neoclassica. Egli considera che il fine ultimo di ogni azione sia il soddisfacimento di qualche desiderio dell'individuo che agisce: la locuzione 'azione razionale' è esclusivamente pleonastica, e non ha alcun senso parlare, nei riguardi del fine ultimo del comportamento di un individuo, di razionalità o irrazionalità. Dal momento che nessuno è in una posizione che gli offre il diritto di sostituire il proprio metro di valutazione a quello dell'agente, è superfluo offrire giudizi sui desideri e sulle azioni degli uomini. L'uomo, a differenza delle altre forme di vita animale, non è guidato esclusivamente dall'istinto di sopravvivenza: per l'uomo anche vivere è il risultato di una valutazione soggettiva, di una scelta. Mises ritiene arbitrario considerare i soli bisogni fisiologici come naturali, e quindi razionali, e tutto il rimanente artificiale e quindi irrazionale: l'uomo ha dei bisogni, e ricerca

una soddisfazione, che travalica quelle ricercata dagli altri esseri animali. I termini razionale e irrazionale, se riferiti ai mezzi utilizzati per ottenere i propri scopi implicano delle valutazioni circa l'adeguatezza di tali mezzi e dei modi in cui si è operato: ma la ragione umana non è infallibile, e l'uomo spesso commette degli errori nella ricerca dei propri obbiettivi. Un errore è contrario al nostro scopo, ma è pur sempre razionale: un individuo che anche non riesca mai a raggiungere il proprio obbiettivo, non è irrazionale. Semplicemente ha agito al proprio meglio, ma non ha avuto successo.

Mises ritiene inoltre che l'uomo sia in grado di agire poiché è in grado di scoprire, o anche semplicemente individuare, relazioni causali che determinano cambiamenti nelle configurazioni di un sistema. Dove l'uomo non individua relazioni causali, non è in grado di agire. Possono anche presentarsi cambiamenti le cui cause siano per noi sconosciute. In altri casi possono presentarsi situazioni in cui abbiamo una conoscenza parziale che ci permette di individuare con diversi gradi di probabilità, per esempio, che ad A consegue B in x casi, mentre nei rimanenti $1 - x$ si presentano B, C e D. Per incrementare la nostra conoscenza dovremmo essere in grado di scomporre A in sottosistemi e analizzarne più a fondo il comportamento: se questo non è possibile ci si dovrà accontentare di una legge di distribuzione statistica. L'ignoranza però, per parziale o totale che sia, non influisce sul significato che la causalità ha in relazione alla capacità umana di agire.

Ci troviamo di fronte a due punti di vista: un'impostazione, promossa da Mises e Hayek (1948), ritiene che quanto l'uomo ha ottenuto, ed è in grado di ottenere, derivi solo in parte dalla ragione, una ragione che è estremamente limitata ed imperfetta. Un secondo ordine di idee dà invece alla ragione un ruolo preminente, la considera egualmente alla portata di tutti in termini di capacità e di informazione, e ritiene che tutto quanto l'uomo può ottenere sia il risultato del controllo tanto di tale ragione quanto delle azioni degli individui. In questo ambito, e a critica di questa seconda prospettiva, si colloca il concetto di 'razionalità limitata' introdotto da Simon, che più avanti analizzeremo meglio: tale concetto fa riferimento ad una scelta razionale che prende in considerazione i limiti cognitivi del soggetto decisionale, limiti tanto nella conoscenza quanto nella capacità di calcolo.

Regole

Ma come già detto, non sono solo gli uomini ad avere un ruolo fondamentale all'interno della dinamica del sistema sociale: vi sono infatti anche le regole, che possono riguardare i singoli individui, così come gruppi e organizzazioni, fino a giungere a regole che guidano la dinamica nel suo complesso. Per quanto riguarda le regole di condotta degli individui è possibile riscontra-

re una sorta di stratificazione in tre livelli: in un primo strato vi sono le leggi ereditate geneticamente, meno esposte al corso evolutivo imposto dal sistema sociale, che guidano gli agenti istintivamente e che sono determinate dalla loro struttura fisiologica; quindi vi sono le regole dettate dalle tradizioni acquisite nelle società attraverso cui l'uomo è passato: sono le regole determinate dalla cultura, intesa nella sua più ampia accezione; infine, lo strato più superficiale di regole riguarda quelle deliberatamente adottate o modificate con l'obbiettivo di ottenere specifici risultati.

In effetti Hayek sottolinea con decisione l'importanza di questo secondo elemento, e considera la formazione dell'ordine spontaneo come il risultato dell'operato di individui che seguono appunto delle regole nel reagire agli stimoli dell'ambiente circostante. Una caratteristica di tali regole è proprio quella di esistere e di operare pur senza essere esplicitamente note a coloro che le osservano. In quest'ordine di idee è importante rilevare però come non necessariamente qualunque comportamento regolare degli individui conduce ad un ordine generale eguale a quello auspicato: se in un sistema sociale per esempio, immaginiamo che la regola da seguire sia quella di uccidere chiunque si incontri, o meno cruentemente, di evitarlo, difficilmente potrà emergere un ordine spontaneo fondato sulla reciproca cooperazione. Esiste dunque una moltitudine di regole concernenti la condotta individuale che congiuntamente possono rendere impossibile la creazione di un sistema con le caratteristiche di ordine da noi desiderate. E' importante notare però che fino a quando le nostre aspettative avranno una ragionevole probabilità di verificarsi, ovvero fino a quando avremo un ragionevole potere previsionale nei confronti del comportamento degli altri individui e dell'andamento del sistema, questo sarà ordinato. Il sistema degenererà nel disordine solo nel momento in cui la nostra capacità previsionale sarà nulla: un sistema sociale in cui tutti si evitano accuratamente, anche se apparentemente può dar vita ad uno sciame di elementi impazziti, in realtà risponde alla nostra idea di ordine, poiché sappiamo perfettamente che se due elementi stanno per incontrarsi terranno un comportamento tale da permettergli di evitarlo.

Sulla base di queste considerazioni, possiamo allora ragionevolmente supporre che una società civile esista solo se il processo di evoluzione ha selezionato un insieme di regole tali da permetterlo, ovvero tali da far tenere agli individui un comportamento compatibile con una società così configurata: l'ordine che ne consegue sarà un adattamento alla moltitudine di circostanze che sono note a tutti gli individui, ma che nessuno di questi conosce per intero. Il problema centrale diviene dunque quello di individuare il tipo di ordine che definiamo accettabile, e quali sono le regole che permettono se non di raggiungerlo, quanto meno di non ostacolarne la formazione. Avremo regole a cui obbediranno tutti gli individui di una società perché generate da

una similare rappresentazione mentale dell'ambiente; altre verranno seguite spontaneamente perché fanno parte della loro comune tradizione culturale; infine vi saranno quelle regole che i singoli individui dovranno essere forzati a seguire: fare diversamente tornerebbe utile a loro stessi, ma sarebbe di danno all'ordine generale del sistema. Hayek considera queste ultime come le uniche in grado di offrire uno strumento che permetta di influenzare l'andamento del sistema, dal momento che possono essere deliberatamente modificate dall'uomo: le definisce *rules of law*. La legge è quel complesso di regole che determinano l'orbita all'interno della quale gli individui sono liberi di agire. I principi su cui si fonda la *rule of law* sono tre: il diritto di proprietà, il diritto alla libertà individuale nei limiti in cui questa non leda quella altrui, e il rispetto dei rapporti contrattuali.

Ordine Spontaneo ed organizzazioni

In qualunque aggregato sociale la collaborazione fra gli uomini si fonderà sempre tanto sulle strutture dell'ordine spontaneo quanto su quelle dell'organizzazione. L'idea fondamentale è che per molti obbiettivi di portata relativamente limitata l'organizzazione sia il metodo più potente di coordinazione, poiché permette con un sufficiente grado di discrezionalità, di adattare l'ordine risultante dalla cooperazione di più entità ai propri desideri: invece, nel momento in cui ci basiamo sui meccanismi e sulle forze dell'ordine spontaneo, a causa dell'elevata complessità delle situazioni che ci troviamo ad affrontare perdiamo potere nei confronti degli elementi particolari di tale ordine. In altre parole, vi sono situazioni in cui la complessità ci permette comunque di avere controllo di un numero di variabili e di relazioni tale da poter operare in modo da configurare il sistema per realizzare i nostri fini: se il grado di complessità si fa però troppo elevato, non potremo far altro che basarci su regole di condotta ancora più generali, regole che dovrebbero poter condurre il sistema verso un ordine o equilibrio, che naturalmente non necessariamente sarà quello da noi voluto.

Nel sistema sociale questi due generi d'ordine coesistono, ma in una combinazione ben precisa: tutte le forme di organizzazione, da quelle più piccole quale per esempio la famiglia, a quelle più ampie delle grandi imprese o delle istituzioni, sono integrate nel più ampio sistema che è quello che Hayek definisce dell'ordine spontaneo. In una configurazione di questo tipo il ruolo giocato dall'organizzazione governativa è indispensabile per far sì che vengano rispettate quelle regole minime tracciate dalla società: questa stessa entità potrà inoltre configurarsi a sua volta come elemento in gioco all'interno del sistema sociale, al pari delle altre organizzazioni.

Risulta così evidente che le regole che guidano un'organizzazione saranno

di natura differente da quelle che guidano la società. Le regole che guidano l'azione all'interno di un'organizzazione infatti devono essere tali da consentire l'adempimento di un determinato obiettivo: si fonderanno allora sul concetto di comando, e sui compiti specifici a cui ciascun individuo deve più o meno attenersi. Per contro invece le regole di un ordine spontaneo dovranno essere indipendenti da un compito specifico ed essere uguali, se non per tutti gli individui, quanto meno per ampie categorie: la *rule of law* mira dunque ad ottenere un ordine astratto, il cui contenuto particolare in vero non è noto a nessuno.

In questa prospettiva Hayek assume però una posizione discutibile: egli sostiene come sia impossibile migliorare o correggere l'ordine spontaneo interferendo per mezzo di comandi diretti. L'ordine spontaneo deriva dal bilanciamento operato da ciascuno degli elementi dei vari fattori che operano all'interno del sistema, un bilanciamento che verrebbe messo in crisi dalle azioni di un'altra entità sulla base di una diversa conoscenza e di fini differenti. Si tratta in pratica di una critica all'interventismo governativo: ma se quest'ordinamento del sistema economico, come vedremo meglio più avanti, convince pienamente nel rigettare l'idea di un'economia pianificata, non riesce invece a scardinare l'ipotesi interventista. L'azione governativa infatti si colloca all'interno della dinamica dell'ordine spontaneo come il comportamento tenuto da una delle tante organizzazioni: pertanto la selezione concorrenziale che opera all'interno del sistema sarà in grado di permettere al sistema stesso di aggirare quelle azioni che risultino dannose alla società. Se un governo compie un'azione che si verifica errata, e che genera malcontento piuttosto che soddisfazione e benessere, l'esperienza farà in modo che un tipo di atteggiamento del genere non si ripeta in seguito. Allo stesso tempo invece la selezione individuerà quelle azioni che si configurano come positive per lo sviluppo e l'equilibrio del sistema.

La critica mossa all'interventismo prende probabilmente piede dall'ipotesi secondo cui, un'organizzazione quale quella governativa, potrebbe sfruttare la propria posizione predominante per perseguire i fini degli individui che la compongono, a danno dei diritti e delle libertà di altri individui e organizzazioni: del resto in effetti, è quanto spesso accade. Ma una situazione di prevaricazione nei confronti degli altri può darsi anche qualora non sia l'autorità governativa a compierla, bensì per esempio un'impresa che gode di ampio potere di mercato, e che compie azioni di *lobby* nei confronti delle istituzioni, o altrimenti che fa un uso coercitivo del proprio potere di mercato nei confronti di concorrenti o di fornitori più deboli: anche in questo caso gli individui che fanno parte dell'organizzazione perseguono un interesse proprio che va a ledere diritti altrui. Dunque il problema non è l'azione di intervento, ma il fatto che questa sia o meno conforme alla *rule of law*. Se intendiamo

dar credito alla visione evoluzionista dell'economia, dobbiamo accettare anche una politica interventista da parte dell'autorità governativa, che dovrà però svolgersi naturalmente in conformità a quell'apparato di regole valido per tutti gli agenti del sistema: sarà poi la selezione a decidere se tali interventi saranno o meno favorevoli all'ordine del sistema. La selezione potrà addirittura decidere se la stessa organizzazione debba o meno esistere. Non è però condivisibile l'idea che un'azione da parte di un'organizzazione possa demolire sistematicamente l'equilibrio all'interno di un sistema: l'evoluzione delle istituzioni, delle organizzazioni stesse, degli individui e delle regole, farà in modo di premettere al sistema di aggirare l'ostacolo e di condurre verso una situazione di ordine. Resta inoltre da valutare se, quello che apparentemente ad un'analisi esclusivamente locale del sistema può apparire un ostacolo, in realtà non favorisca un effettivo equilibrio e ordinamento della società nel suo complesso. In breve dunque, se assumiamo l'esistenza ipotetica di una società fondata sui paradigmi dell'evoluzione e della *rule of law*, allora dobbiamo accettare che qualunque azione compiuta dagli elementi del sistema possa essere gestita adeguatamente dal sistema stesso, sia tale azione positiva o negativa per l'ordine e la sopravvivenza della struttura nel suo insieme.

3.4 Il mercato

3.4.1 Il concetto di mercato

E' Mises a fornirci la più lucida e precisa visione del mercato. L'economia di mercato è il sistema sociale di suddivisione del lavoro in regime di proprietà privata dei mezzi di produzione. Ciascuno agisce nel proprio interesse, ma le azioni di tutti mirano alla soddisfazione dei bisogni degli altri così come dei propri. Ognuno è nel contempo un mezzo ed un fine: un fine per se stesso, un mezzo per permettere agli altri di raggiungere i propri fini. Il sistema è guidato dal mercato, che dirige le attività degli individui verso quei percorsi in cui possono meglio servire i bisogni degli altri uomini: nell'operare del mercato non vi è alcuna forma di obbligo o coercizione. Lo stato, che è l'organizzazione sociale che stabilisce obblighi e divieti nell'intento di preservare i diritti di tutti, non interferisce con il mercato e con le attività degli individui a questo dirette: sono naturalmente fatte salve le situazioni in cui l'intervento è necessario per prevenire azioni distruttive del sistema o per migliorarne l'efficienza. In pratica lo stato crea e preserva un ambiente che permetta all'economia di mercato di operare adeguatamente. La produzione non è guidata da un ente supremo che decide chi deve produrre cosa, e che gli

indica come farlo: ciascun individuo è libero di operare come meglio crede, sarà il mercato a indicargli qual'è la via attraverso la quale egli può meglio promuovere il proprio benessere e quello degli altri.

Mises evidenzia in particolar modo un concetto fondamentale: il mercato non è un luogo, una cosa, né tanto meno un'entità collettiva. Il mercato è un processo attuato dall'interagire delle azioni di vari individui che cooperano per mezzo della suddivisione del lavoro: le forze che determinano il continuo cambiamento della configurazione del mercato sono i giudizi di valore che gli individui effettuano nei confronti delle proprie azioni, giudizi che a loro volta guidano le azioni stesse. Lo stato del mercato è descritto ad ogni istante dalla struttura dei prezzi, ovvero dalla totalità dei rapporti di scambio stabiliti fra coloro che intendono comprare e coloro che intendono vendere: i prezzi di mercato indicano agli individui cosa produrre, come e in quale quantità.

3.4.2 La catallassi

Il termine catallassi, dal greco *katallattein* che significa 'scambiare', ma anche 'ammettere in una comunità' e 'cambiare da amico in nemico', descrive l'ordine portato dal mutuo aggiustamento di numerose economie individuali in un mercato. Hayek (1976) sottolinea con forza però che la catallassi non è solo questo: è infatti un tipo speciale di ordine spontaneo, prodotto dal mercato attraverso individui che agiscono nei limiti tracciati dalla *rule of law*, ovvero nel rispetto della proprietà privata, della libertà individuale e dei rapporti contrattuali. Le economie individuali consistono di un complesso di attività per mezzo delle quali, un determinato set di risorse, è allocato in funzione di un piano unitario rivolto all'ottenimento concorrenziale degli obiettivi definiti: le risorse sono allocate in funzione della loro importanza relativa, importanza che è dettata dal mercato per mezzo della struttura dei prezzi. In questa prospettiva, la politica economica non dovrebbe essere orientata al raggiungimento di fini specifici, quanto piuttosto ad assicurare un ordine generale astratto tale da assicurare ad ogni individuo le medesime possibilità di raggiungere i propri obiettivi. Questo modo di coordinare le azioni individuali è in grado di assicurare un elevato grado di coincidenza nelle aspettative, nonché l'efficace utilizzo delle capacità e delle informazioni in possesso dei singoli agenti: naturalmente però vi è un prezzo da pagare, in termini di costante delusione di un certo numero delle aspettative in gioco.

La catallassi crea ricchezza, ovvero incrementa il flusso di beni all'interno del sistema e le possibilità che ciascuno degli individui ha di soddisfare i propri bisogni: si sviluppa in un contesto regolato ed è deciso da superiori capacità, da maggiore informazione e da fortuna. La causa principale per cui la catallassi genera benessere è da ricercare nei risultati ottenuti dagli

agenti orientati al perseguimento dei propri obiettivi: questi agiscono come segnali che permettono di contribuire al soddisfacimento di bisogni non necessariamente noti, sfruttando situazioni conosciute solo indirettamente proprio tramite tale sistema di segnali. Con riguardo ai prezzi Hayek sottolinea una questione estremamente importante: la loro funzione all'interno del processo catallattico è quella di indicatori di quanto andrebbe fatto nelle attuali circostanze, e non necessariamente hanno relazione con quanto è stato fatto in passato per giungere ad esempio, al livello attuale di offerta di un bene. Per Hayek, così come i prezzi che guidano i diversi sforzi orientati alla produzione riflettono eventi o situazioni che all'individuo non sono note, gli effetti delle azioni saranno frequentemente diversi da quelli attesi, e solo in questo modo la produzione potrà essere orientata adeguatamente. La remunerazione del mercato dunque non è legata funzionalmente con quanto gli individui hanno fatto, bensì con quanto dovranno fare: sono incentivi volti a guidare gli individui verso il successo, ma funzionano proprio perché spesso disattendono le aspettative che hanno creato a seguito del verificarsi di variazioni inattese nei confronti di circostanze rilevanti. Ne consegue che la fortuna è un elemento fondamentale nell'affrontare con successo tali imprevedibili variazioni. Queste considerazioni implicano un concetto di equilibrio che è ben diverso da quello adottato dalla *mainstream economics*: vedremo presto come e perché, e soprattutto, quale prospettiva sia quella più efficace per descrivere la realtà.

La catallassi permette una distribuzione ottimale delle risorse, ovvero, tramite la struttura dei prezzi, permette ai vari fattori di produzione di orientarsi verso quelle strutture che possono farne miglior uso: un sistema di segnali di questo genere permette infatti agli individui di selezionare i beni meno costosi per la produzione, ovvero quelli che implicano il minor sacrificio di altri beni. Dunque, in termini globali l'agire degli individui verso un uso quanto più possibile efficiente delle risorse, fa sì che il prodotto totale della catallassi sia il maggiore possibile. In questo contesto, si creeranno nuove opportunità di impiego dei fattori e nuove possibilità di scambio, favorevoli ai singoli individui quanto alla società nel suo insieme: è pur vero che alcuni soggetti incorreranno in perdite che avranno interesse ad evitare. Ma tali perdite si configureranno come una ripercussione di centinaia di scambi similari avvenuti all'interno del sistema, e rilasceranno risorse che potranno essere sfruttate meglio da qualcun altro, generando così un miglior livello di offerta all'interno del mercato: gli stessi individui che oggi soffrono le perdite, in passato hanno potuto usufruire di risorse almeno in parte derivanti dalle perdite di qualcun altro.

Dunque abbiamo detto che la catallassi è una forma particolare di ordine spontaneo generata dal mercato, che si fonda sulla *rule of law*: è quindi ne-

cessario individuare con precisione il ruolo delle regole all'interno di questo contesto. Le regole di condotta possono permettere di determinare quali beni appartengono a ciascun individuo, ma non quale sia il valore di tali beni né tanto meno quale sia il beneficio che ciascun agente trae nel possederli: le regole servono a produrre informazioni per le decisioni degli individui e aiutare così a ridurre l'incertezza, ma naturalmente non determinano quale uso gli agenti debbano fare di tali informazioni e non possono pertanto eliminare l'incertezza. Le regole definiscono le condizioni a cui i soggetti possono scambiare, non in quale situazione gli stessi si troveranno dopo aver scambiato: ne consegue che l'astratta regola di condotta può (e deve) proteggere solo le aspettative circa particolari situazioni e condotte, e circa cose e relazioni, ma non ha alcun potere sul valore di mercato di tali entità, ovvero sui termini a cui avvengono gli scambi. Questa protezione avviene per mezzo della proibizione a interferire con la proprietà privata, e della garanzia al rispetto degli obblighi contrattuali: le regole non definiscono quale prezzo un individuo potrà ottenere per un determinata cosa, ma garantiscono che l'individuo avrà diritto al prezzo che riuscirà ad ottenere. Le regole di condotta dunque possono limitare lo spettro delle azioni possibili solo in modo da evitare che le intenzioni dei singoli individui siano in conflitto tra loro, ma non possono determinare quali azioni gli individui debbano compiere: risulta così possibile, ma non certo, ogni ordine di collaborazione fra gli uomini.

Il processo di adattamento del mercato opera così per mezzo di quel meccanismo che abbiamo già imparato a conoscere e che prende il nome di retroazione: le risposte alle differenze tra quanto atteso, e quanto poi in realtà verificatosi, influenzano le azioni in modo tale da ridurre tale differenza. Si avrà così un incremento nella corrispondenza dei fatti alle aspettative, nella misura in cui i prezzi attuali incorporano indicazioni circa i prezzi futuri, ovvero nella misura in cui, in un contesto caratterizzato da una moltitudine di circostanze, solo alcune di queste si modificano. Non si può dunque ottenere la certezza riguardo agli scenari futuri, ma è possibile eliminare quell'incertezza che è in qualche modo evitabile, e che deriva da una inadeguata distribuzione di informazioni esistenti.

Le regole dunque potranno solo stabilire un quadro di riferimento per un certo numero di circostanze future: in questo modo però, sarà possibile incrementare le possibilità dei singoli individui di avere successo per mezzo della loro conoscenza, della loro abilità e infine, delle circostanze fortuite nelle quali si trovano ad operare. Ne conseguono due importanti considerazioni. In un ordine spontaneo non possono essere evitate delusioni indesiderate. Ma dal momento che i risultati che i singoli agenti possono ottenere dipendono in parte dalle loro capacità, in parte dalla fortuna, non vi è alcun senso nel definirli giusti o ingiusti.

Nel quadro tracciato dalla catallassi, Hayek muove nuovamente contro l'interventismo: egli sostiene giustamente che questo è orientato all'ottenimento di specifici obbiettivi, diversi da quelli che si sarebbero prodotti se il sistema fosse stato libero di agire secondo i propri principi intrinseci. In questa prospettiva, l'intervento statale è sempre ingiusto, perché si configura come una coercizione nei confronti di qualcuno ad agire diversamente da come avrebbe voluto: ogni atto di interferenza crea un privilegio, nel senso che assicura dei benefici ad alcuni a spese di altri, in un modo non giustificabile per mezzo dei principi generali delle regole di condotta. Hayek sostiene infine che il grado di coercizione di cui necessita un ordine spontaneo, è esclusivamente quello relativo a regole uniformi e applicabili a tutti in maniera paritaria.

Rispetto alla critica mossa in precedenza queste considerazioni sono ben più condivisibili, ma restano aperte alcune questioni. In primo luogo, anche le operazioni di interferenza sono il risultato dell'azione umana, e molto spesso si conformano perfettamente al quadro tracciato dai principi della *rule of law*: l'economia monetaria ne è un valido esempio. Inoltre, sempre rimanendo all'interno di un contesto democratico, chi compie tali azioni è stato investito del potere di farlo dagli altri individui, con lo specifico interesse a ottenere determinati risultati. Se anche questa non è la soluzione più efficiente dal punto di vista economico, è pur sempre dettata dal volere degli individui, ovvero dall'insieme delle azioni che questi compiono e delle decisioni che assumono in tal senso: dunque anche le istituzioni pubbliche che interferiscono con il sistema, emergono endogenamente dal sistema stesso.

Ancora una volta, se vogliamo dar credito all'ipotesi evuzionista, dobbiamo accettare l'esistenza di questi fenomeni, e considerare che se effettivamente si configurano come un danno per il sistema, questo in un modo o nell'altro dovrà essere in grado di aggirarli e di fare selezione nei comportamenti degli individui in modo da evitare che situazioni dannose all'ordine si ripetano: ordine che, lo sottolineiamo ancora una volta, non necessariamente risponderà all'idea che noi ne abbiamo, ma che semplicemente sarà una configurazione del sistema in cui il comportamento degli uomini è in una certa misura prevedibile. L'evoluzione delle forme sociali in cui l'uomo ha organizzato la propria convivenza del resto, sembra almeno in parte dar credito a questa prospettiva: in effetti i regimi totalitari, o comunque le forme di convivenza che soffocano e limitano la libertà degli individui, sono venuti meno nel corso dei secoli e sono quasi sempre osteggiati dalla restante parte del sistema che è l'intera società umana. Infine, si impone ancora una considerazione: non è infatti da scartare l'ipotesi secondo cui non necessariamente la libertà di tutti gli individui porti all'equilibrio nell'ordine spontaneo. E' in altre parole possibile, che la libertà e il benessere della maggior parte de-

gli individui si fondi inevitabilmente sulla coercizione o sulla soppressione di altri: non necessariamente un ordine democratico universale porterà equilibrio nel sistema. E non necessariamente l'ordine spontaneo sboccherà in una democrazia universale. Fermo restando che sia assolutamente auspicabile che vengano sempre seguiti i principi di libertà e rispetto dell'individuo, la complessità ci insegna come non è detto che il risultato analizzato nella sua totalità sia quello desiderabile.

3.4.3 Pianificazione

Mises nei suoi studi sottolinea con particolare vigore come l'economia di mercato, o capitalista, e l'economia socialista si precludano a vicenda: non è possibile alcuna commistione fra i due sistemi, né tanto meno un'economia può essere in parte capitalista, in parte socialista. La produzione o è guidata dal mercato, o dalle decisioni di un comitato appositamente predisposto. Il fatto che, in un regime di proprietà privata dei mezzi di produzione, alcuni di questi siano in mano alle istituzioni pubbliche non fa del sistema economico in questione un sistema misto. Anche le imprese detenute dallo Stato sono soggette alle leggi del mercato, e devono competere per ottenere mezzi, informazioni e conoscenza ai prezzi migliori, e per vincere la concorrenza delle altre imprese nelle preferenze dei consumatori. E se è pur vero che lo Stato può coprire eventuali perdite per mezzo dei fondi pubblici, resta pur sempre in obbligo di rispettare un vincolo di bilancio: per ovviare alle inefficienze, sarà necessario elevare il livello della tassazione, il che si rifletterà sui beni di produzione e quindi sul mercato stesso.

La nozione di socialismo si fonda sull'assenza di un mercato per i fattori produttivi e sull'assenza di un prezzo per tali fattori: tale mancanza della funzione di segnale dei prezzi quale informazione per gli individui circa come comportarsi, va ricercata nella teoria del valore del lavoro di Marx. La ricerca di una causa fisica nel valore delle cose comporta che i prezzi siano in realtà esclusivamente funzione del costo del lavoro, quindi di quanto le persone hanno fatto in passato, piuttosto che delle indicazioni circa il comportamento da tenere per soddisfare le esigenze degli individui. La critica al socialismo si fonda, da un lato sull'impossibilità del calcolo economico in quanto fondato sul sistema dei prezzi, dall'altro sull'annullamento che tale ordine comporta nei confronti della responsabilità e libertà individuale, sull'inevitabile sbocco verso un regime totalitario, e sul grande impedimento alla creazione di ricchezza se non anzi, sulle ampie possibilità di impoverimento generale della società.

In un'economia socialista la concorrenza non è possibile. Anzitutto, la distribuzione iniziale delle risorse non potrà che essere arbitraria. In secondo

luogo, coloro che riceveranno fattori di produzione da sfruttare non potranno avere una giusta propensione al rischio e un adeguato incentivo a operare con successo, non essendo proprietari né dei beni da sfruttare, né tanto meno dei risultati di tale sfruttamento. Del resto, non vi è motivo di pensare che un sistema socialista possa trovarsi in una posizione migliore per affrontare o evitare le crisi, di quanto lo sia un sistema capitalista. Quello che piuttosto è da sottolineare, è il fatto che il socialismo si fondi su meccanismi redistributivi, e che il vero obiettivo sia quello di migliorare la posizione relativa delle classi meno abbienti per mezzo di quelle che una volta erano le quote sui proventi della terra e del capitale, e che oggi si configurano come sussidi e detassazioni. Con questo, il fatto che la redistribuzione comporti un aumento nella ricchezza relativa delle classi più povere rispetto a quanto avviene in un sistema capitalistico, non implica che la loro ricchezza assoluta sia aumentata. In altre parole, i meccanismi redistributivi operano sulle disparità fra le diverse classi sociali riducendole, ma a scapito della ricchezza assoluta di ciascuno degli individui che fa parte del sistema, e conseguentemente della ricchezza assoluta del sistema economico nel suo complesso. Questo perché la redistribuzione non permette alle risorse di dirigersi laddove verrebbero sfruttate al meglio.

La ragione per cui non vi è alcuna speranza che una pianificazione centralizzata possa raggiungere i livelli di efficienza nella distribuzione delle risorse che invece sono raggiunti dal mercato, sta nel fatto che l'ordine economico di una qualunque società di ampie dimensioni si fonda su di una conoscenza delle circostanze particolari notevolmente dispersa: Hayek (1979) evidenzia chiaramente come il mercato e la concorrenza abbiano fatto sì che la determinazione dei prezzi si basi su di una procedura in grado di offrire ai singoli individui una moltitudine di informazioni estremamente condensate, capaci di guidarli nelle scelte operate all'interno del sistema. Per contro infatti, è impossibile che ogni singolo individuo possa rivolgersi ad un'autorità centrale pianificatrice in possesso della conoscenza di tutte le circostanze particolari, e quindi di tutte le variabili del sistema: il grado di informazione in un sistema centralizzato è inferiore a quello che caratterizza un sistema in cui l'informazione è dispersa.

Infine, vi è chi sostiene che il mercato potesse essere un adeguato strumento di coordinazione nei tempi passati e con riguardo a strutture sociali relativamente semplici, ma che nell'era moderna e contemporanea i sistemi economici siano divenuti così complessi da non rendere più possibile fare affidamento sulle forze di ordinamento spontanee per organizzare il sistema, e che sia piuttosto necessario orientarsi verso un sistema di pianificazione centrale. In vero, il mercato funziona poiché è in grado di tener conto di una moltitudine di diversi fatti ed esigenze, di acquisire tutte le informazioni

possibili e di reinviarle in forma codificata a tutto il sistema: è proprio la complessità della struttura moderna del sistema economico a rafforzare la contrarietà verso la pianificazione, e a sottolineare l'importanza fondamentale del concetto di mercato nella prospettiva dei problemi sociali ed economici che coinvolgono gli individui.

3.5 La prospettiva neoclassica

Il progetto neoclassico di analisi delle problematiche economiche prese piede nell'ultimo trentennio dell'800: l'intenzione era quella di derivare le leggi economiche dall'idea fondamentale secondo cui gli agenti basano le proprie decisioni su di una valutazione soggettiva della situazione. Le scelte effettuate sono sempre di natura marginale: gli individui sono orientati al raggiungimento di determinati obiettivi e fanno questo per mezzo delle diverse combinazioni di fattori produttivi a disposizione. Sulla base degli incentivi che incontrano nel prendere le loro decisioni, gli agenti apprendono quali sono le migliori combinazioni per ottenere i risultati desiderati. Questa struttura è traslata nel linguaggio matematico per mezzo di alcune assunzioni semplificatrici che permettano di descrivere tramite un sistema di equazioni le scelte degli individui e l'interazione sociale. L'economia neoclassica si fonda così su una strategia di ricerca i cui principi sono:

- un comportamento massimizzante;
- delle preferenze costanti;
- un equilibrio di mercato.

Obbiettivi e motivazioni sono dati a priori sotto forma di una funzione di utilità che consente all'individuo di compiere scelte coerenti tra tutte le combinazioni di beni e servizi: si ipotizza inoltre che gli agenti economici scelgano sempre, tra le alternative a loro disposizione, quella che comporta la massima utilità. Normalmente anche le alternative disponibili per le scelte degli individui sono date a priori e i risultati conseguenti a ciascuna sono alternativamente, o noti in modo completo e certo, o secondo una distribuzione di probabilità. In genere si considera che gli agenti economici, data la loro conoscenza delle utilità, delle alternative e dei risultati, siano in grado di calcolare l'alternativa che comporta la massima utilità attesa.

Le critiche che possono essere mosse ad un'impostazione del genere sono numerose, e tutte riconducibili alla mancanza di aderenza alla realtà manifestata dai modelli che ne derivano. In questa prospettiva rientrano le teorie della razionalità limitata di Simon (1984) cui abbiamo precedentemente fatto

cenno: queste posano sull'abbandono di una o più delle assunzioni della teoria dell'utilità soggettiva che abbiamo appena illustrato, in modo da considerare i limiti cognitivi del soggetto decisionale. Così, alla serie data di alternative tra cui il soggetto sceglie si potrà sostituire un processo che generi tali alternative, o si potrà per esempio postulare una strategia soddisfacente anziché di massimizzazione della funzione di utilità.

Alchian (1950) evidenzia sotto il profilo evoluzionista l'inadeguatezza di questo tipo di impostazione: nessuno è realmente in grado di ottimizzare la propria situazione sulla base dei concetti di utilità e delle funzioni di domanda e offerta a causa dell'incertezza circa la posizione nel piano, se non addirittura circa l'inclinazione, delle curve in questione. Per Alchian l'incertezza deriva da due sorgenti: l'imperfetta previsione, e l'incapacità umana di risolvere problemi complessi che contengono numerose variabili, anche nel caso in cui un ottimo sia effettivamente definibile. Ma la questione a cui attribuisce più valore è il fatto che in un sistema economico la realizzazione di profitti è sì il criterio per mezzo del quale sono selezionate le imprese che hanno successo e che devono sopravvivere: ma si tratta di profitti positivi, non di massimi profitti. In altre parole l'elemento cruciale è la posizione aggregata di ciascun individuo in relazione ai propri effettivi concorrenti, non ad un ipotetico concorrente perfetto. Ed è d'altra parte vero come, maggiori sono le incertezze all'interno del sistema, maggiori sono le possibilità che i profitti si distribuiscano casualmente piuttosto che secondo il grado di logica e calcolo che gli individui hanno adottato. Ne consegue che il successo è in genere dovuto ad una superiorità relativa e che, in secondo luogo, non richiede specifiche motivazioni bensì può anche essere il risultato di circostanze fortuite: coloro che, fra tutti gli agenti in competizione, presentano le migliori condizioni da offrire alla selezione del sistema economico, sopravvivono.

Alchian sottolinea come, anche se ciascun individuo agisce in modo azzardato e senza motivazione, è possibile che la varietà di azioni sia così grande da risultare in un insieme di dimensione tale da contenerne certamente alcune che saranno migliori di altre, ovvero che offriranno una previsione molto vicina alla realizzazione effettiva. Inoltre, un insieme di azioni individuali coerenti con delle previsioni o delle motivazioni, non necessariamente produrrà un comportamento generale differente da quello derivante da azioni casuali: in altre parole motivazioni e previsioni secondo Alchian sono sufficienti per sopravvivere, ma non necessarie. Le imprese sapranno orientarsi verso il successo o per mezzo di tentativi ripetuti, o tramite l'imitazione di coloro che si sono meglio avvicinate ad un ottimo astratto determinato a posteriori: coloro che sono differenti dagli altri e ottengono risultati positivi, sono innovatori all'interno del sistema.

Le critiche mosse all'impostazione neoclassica non si rivolgono però solo alla rappresentazione dei problemi di scelta che gli individui si trovano ad affrontare: un problema altrettanto rilevante infatti è la rilevanza che possono avere modelli di equilibrio generale di stampo walrasiano, ovvero modelli che tentano di spiegare i fenomeni di mercato come se fossero riducibili ad una semplice sequenza di equilibri istantanei. In contrapposizione a questa prospettiva si pone la teoria austriaca, che punta ad una teoria del mercato che non si fonda su un equilibrio già raggiunto e costante, bensì è volta a comprendere come, a partire da una qualsiasi condizione iniziale di squilibrio, si mettano in moto delle forze equilibratrici del sistema.

La *mainstream economics* si è per lo più concentrata su modelli di equilibrio competitivo, vale a dire su quei modelli cui abbiamo già fatto riferimento in cui tanto i prezzi quanto le risorse sono date all'individuo che deve compiere delle scelte, scelte peraltro che non influenzano significativamente, o meglio affatto, i livelli di tali variabili: la conoscenza è perfetta e completa per tutti gli agenti del sistema, e le variabili che guidano il mercato sono date come esogene. In effetti un modello del genere in alcun modo può permettere agli agenti di competere: gli individui non sono coinvolti in altro che un semplice esercizio di massimizzazione vincolata, conoscono anche ciò che in realtà ignorano, e non sono in alcun modo provvisti di capacità, informazioni e addirittura fortuna, distinte e soggettive.

Nella prospettiva austriaca è inaccettabile che i livelli di produzione e consumo in equilibrio non possano essere migliorati, così come non può essere che il mercato in ogni istante si trovi nella situazione di equilibrio. Infatti, quanto avviene è esattamente il contrario.

3.6 La scoperta imprenditoriale

E' Mises il primo, fra i moderni economisti austriaci, a vedere il mercato come un processo guidato dall'imprenditorialità: a suo dire la forza che guida il mercato non viene né dai consumatori, né tanto meno dai detentori dei mezzi di produzione, bensì deriva dagli imprenditori che promuovono la produzione e che su questa speculano. L'essenza della concorrenza è una rivalità dinamica che consegue dalle diverse composizioni di prezzi e qualità dei beni. Hayek invece definisce l'importanza, in funzione del processo equilibrativo, dell'informazione e la sua relazione diretta con l'interazione all'interno del mercato: equilibrio significa che le previsioni dei diversi agenti si rivelano corrette, ovvero che i progetti degli individui si basano sulle aspettative circa le azioni di altri individui e che tutti nel loro insieme hanno aspettative più o meno analoghe circa un determinato insieme di fattori esterni. Il processo

che conduce all'equilibrio dunque altro non è se non l'acquisizione da parte degli individui di una migliore informazione circa i piani degli altri agenti presenti all'interno del mercato. Ma è Kirzner (1997) a offrire una più ampia teoria dell'imprenditore e della sua funzione all'interno del mercato: egli fonda la teoria della scoperta imprenditoriale su tre concetti ovvero il ruolo imprenditoriale, il ruolo della scoperta e la concorrenza.

Per Kirzner nella teoria neoclassica non vi è luogo per l'imprenditore: questi, nella migliore delle ipotesi, è una sorta di arbitraggista che coglie le opportunità di profitto create dalla temporanea assenza di aggiustamento fra domanda e offerta di mercato, e che opera all'interno di un contesto dato a lui perfettamente noto. L'imprenditorialità invece è l'azione umana vista sotto una prospettiva di incertezza con rispetto a ogni azione: l'imprenditore austriaco non si trova immerso in un sistema in cui le variabili sono date, ma piuttosto opera al fine di modificare prezzi e produzione guidando in questo modo il processo dinamico caratteristico del mercato. La questione fondamentale è che, ad eccezione della situazione irraggiungibile di completo equilibrio, ogni mercato è caratterizzato da opportunità di quello che Kirzner definisce 'puro profitto imprenditoriale': tali opportunità sono create da errori imprenditoriali precedenti risultati in scarsità, eccesso o allocazione inefficiente di risorse. Gli imprenditori scoprono questi errori e operano in modo da acquistare le risorse a poco, ovvero dove ve ne è in eccesso, e rivenderle a molto, ovvero dove vi è scarsità. Resta da giustificare perché vi sia una sistematica tendenza a correggere gli errori imprenditoriali con azioni che generano profitto.

In vero in un contesto neoclassico le decisioni non possono mai essere corrette, specie in considerazione del fatto che nessuna decisione può mai essere realmente errata: un cambiamento nella propria posizione all'interno del mercato può essere dovuta solo a variazioni esogene, ossia derivanti dall'ambiente. Nel contesto austriaco al contrario una decisione può essere corretta in seguito alla scoperta effettuata dal decisore di un suo precedente errore di valutazione: nel mercato opera infatti un processo di acquisizione della conoscenza basato sul metodo di prova ed errore. Gli individui non hanno la certezza a priori che i loro progetti adottino le soluzioni più appropriate per l'allocazione dei fattori di produzione: solo l'esperienza può mostrare se quanto è stato fatto si è rivelato corretto o meno. I profitti indicano all'imprenditore che ha operato in maniera adeguata e che il consumatore approva le sue scelte: le perdite gli indicano che ha sbagliato. Ne consegue che il mercato, per mezzo del processo di selezione, individuerà coloro che meglio hanno soddisfatto i beni del sistema e li premierà, mentre coloro che non saranno in grado di incontrare le esigenze del mercato saranno eliminati, e le risorse liberate potranno essere più efficacemente sfruttate da altri. La capacità di

scoprire gli errori e di farne occasione di profitto da parte degli imprenditori è dovuta a quella che Kirzner definisce *alertness*, ovvero l'attitudine ad individuare le opportunità disponibili. Il continuo variare delle preferenze del mercato, delle risorse e delle tecnologie, fa sì che il processo equilibrativo non giunga mai a compimento: in tale contesto, le capacità degli imprenditori possono condurre tanto a profitti quanto a perdite e eventuali azioni errate sono la conseguenza di un'errata lettura del mercato.

Il processo di mercato è reso possibile dalla libertà che gli imprenditori hanno di entrare nei mercati in cui individuano opportunità di profitto: nell'essere pronti a individuare tali opportunità gli imprenditori sono in competizione fra di loro. Tale processo produce dell'informazione che nessuno credeva di non possedere: l'imprenditore coglie le opportunità che gli altri hanno trascurato, e rende possibile la definizione di nuove produzioni.

3.7 L'impresa

Fin qui abbiamo visto il sistema economico come coordinato esclusivamente dal sistema dei prezzi: abbiamo parlato di ordine spontaneo, di autoorganizzazione e di scoperta di opportunità di profitto da parte degli individui. Abbiamo considerato che la direzione presa all'interno del sistema dalle risorse, dipenda esclusivamente dalla funzione informativa dei prezzi. Eppure, non sempre è così: una prospettiva del genere non è infatti in grado di adattarsi al concetto di impresa e al suo funzionamento. I movimenti di risorse che avvengono all'interno di un'organizzazione infatti, non sono dovuti a variazioni nei prezzi relativi, bensì ad una pianificazione e ad un ordine determinato e deciso da qualcuno. All'esterno dell'impresa i prezzi muovono la produzione, e la coordinazione è dunque riservata ad una serie di transazioni e scambi interni al mercato. Nell'impresa invece le transazioni di mercato non hanno luogo, e la struttura di mercato è sostituita da una figura coordinatrice che dirige la produzione. I due metodi si configurano allora come alternativi: resta da capire per quale motivo, se la produzione può aver luogo senza alcuna forma di organizzazione, le imprese esistano e prosperino.

E' Coase (1937) a offrire delle motivazioni per cui le imprese emergono in un'economia di scambio: egli sostiene che la ragione principale per cui può essere profittevole creare un'impresa è il fatto che vi sia una qualche sorta di costo nell'utilizzo del sistema dei prezzi. In effetti, organizzare una produzione comporta anzi tutto la necessità di individuare i prezzi all'interno del mercato, operazione naturalmente costosa: in secondo luogo, anche negoziare e concludere contratti comporta dei costi, che si ripresentano per ogni singola transazione effettuata. E se è pur vero che la realizzazione di un'impresa non

elimina la contrattazione, quanto meno la riduce notevolmente: un detentore di fattori di produzione non deve contrattare con altri soggetti con cui coopera all'interno dell'impresa, cosa che dovrebbe invece fare con rispetto ad una situazione di mercato. Più semplicemente, a una lunga serie di contratti se ne sostituisce uno solo. Vi sono anche altri costi nell'utilizzo del sistema dei prezzi: ad esempio nel caso in cui, per ragioni di propensione al rischio o di riduzione dei costi di contrattazione, si rediga un contratto a lunga scadenza piuttosto che numerosi a breve. Nel momento in cui non si ha interesse ad indicare immediatamente le condizioni specifiche circa le prestazioni a cui tale contratto darà origine, bensì si intendono delineare i soli principi generali cui ci si dovrà attenere, si configura il quadro di una relazione interna all'impresa. E' questo per esempio il caso in cui la risorsa in gioco è il lavoro. In breve dunque le operazioni di mercato hanno un costo, che definiremo di transazione: la formazione di un'organizzazione, e la figura di un'autorità che controlla la produzione, permettono di evitare di dover sostenere tale costo. Coase individua in tale figura coordinatrice di una produzione organizzata il ruolo dell'imprenditore: la sua posizione è dunque differente da quella di Kirzner, dal momento che questi considera un'imprenditore privo di fattori produttivi o di ruoli organizzativi, il cui unico scopo è quello di individuare occasioni per realizzare profitti puri.

A questo punto, specie in relazione a quanto abbiamo fin qui discusso circa l'autorganizzazione di un sistema e l'inadeguatezza della pianificazione, è inevitabile domandarsi perché, se tramite l'organizzazione si ha la possibilità di ridurre i costi di produzione, non sia possibile, ne tanto meno auspicabile, che l'intero sistema sia guidato da un'unica grande impresa. In effetti, le ragioni sono più di una. In primo luogo, tanto più un'impresa è di ampie dimensioni, tanto minori sono i rendimenti della funzione coordinativa: vale a dire che i costi di organizzare internamente transazioni aggiuntive aumentano. Vi sarà infatti necessariamente un punto in cui il costo dell'internalizzazione di una transazione aggiuntiva sarà uguale a quello di effettuare esternamente tale transazione. In secondo luogo, all'aumentare delle transazioni organizzate diminuisce necessariamente l'efficienza dell'allocazione nello sfruttamento delle risorse: vi sarà nuovamente un punto in cui le predite di efficienza eguagliano il costo di effettuare tale operazione per mezzo del mercato. Ma più semplicemente, la problematica si riconduce a considerare la complessità che deriva da un crescente numero di variabili interne all'impresa: man mano che questa cresce di dimensioni, la complessità del sistema aumenta, e la capacità di coordinare e di controllare eventi e relazioni si assottiglia, generando inefficienze, errori e costi sempre crescenti. In altre parole vi è un livello di complessità a partire dal quale l'organizzazione non è in grado di operare efficacemente quanto il mercato: tale livello è quello che distingue una grande

impresa, da una società in senso lato.

In questa prospettiva si colloca Simon (1991) nello studiare le relazioni fra mercato e imprese, e come sia possibile che queste ultime operino in maniera efficiente. Simon ritiene che la caratteristica che rende così particolare il mercato, è la stessa che ne rende discutibile la struttura, ovvero lo scarso grado di organizzazione esplicita: vale a dire, l'indipendenza degli individui nell'orientarsi verso i propri obiettivi che nondimeno porta verso un disegno ordinato di transazioni per lo più equilibrate. Evidenzia inoltre come le organizzazioni siano in vero sempre più diffuse e come il sistema di mercato, che nei secoli ha prevalso come metodo di coordinazione, sia ora in concorrenza con le vaste imprese multinazionali. La scelta fra il mercato e l'organizzazione è secondo Simon funzione non dei costi di transazione, bensì del grado di coordinazione necessario all'ottenimento di un determinato obiettivo. Se per esempio, si deve produrre un pezzo meccanico composto di due componenti, possono darsi due situazioni: la progettazione più efficiente di ciascuno dei componenti è indipendente dall'altro componente, e dunque può avvenire ad opera di entità diverse e il pezzo completo verrà poi assemblato; nella seconda ipotesi, se l'efficienza di ciascun componente dipende dalla progettazione dell'altro, non è possibile affidarsi al mercato per ottenere la coordinazione desiderata, e sarà piuttosto necessaria un'organizzazione in grado di interrelare la progettazione delle due componenti.

Per minimizzare i costi della coordinazione le organizzazioni cercano di dividere le proprie attività in modo che ciascuna componente goda di un certo grado di libertà e indipendenza: in vero, ne abbiamo già discusso, molti sistemi complessi hanno una struttura gerarchica e le componenti a ciascun livello non sono indipendenti, ma vi è un'interazione molto più rapida e intensa tra le componenti di livelli diversi che tra quelle di un medesimo livello. E' il fenomeno che abbiamo definito come quasi-scomponibilità: secondo Simon tale fenomeno riduce i costi della coordinazione. E' altrettanto rilevante inoltre considerare come un sistema complesso, in qualche modo, debba essere strutturato in modo da incontrare le esigenze della coordinazione: le possibilità che un sistema complesso efficiente emerga sono maggiori, come abbiamo già visto, in presenza di una struttura quasi scomponibile dal momento che questa supera meglio il test della selezione. Ne consegue che la concorrenza del mercato non è un adeguato sostituto di una architettura efficiente, ovvero quasi scomponibile, dei sistemi complessi: se il grado di coordinazione necessario per ottenere determinati fini è elevato, il mercato non sarà in grado di offrire la coordinazione desiderata. Dunque, le economie moderne, andrebbero definite piuttosto che economie di mercato, economie di organizzazione.

3.8 La complessità del sistema economico

Abbiamo dunque analizzato il problema economico sotto una prospettiva particolare, che non è quella della *mainstream economics*: per fare questo abbiamo utilizzato molti concetti che fanno riferimento al problema della complessità. Ci siamo resi conto che il sistema economico non è altro che un sistema complesso, il cui comportamento è la risultante delle azioni della moltitudine di individui che compongono tale sistema. Molti fenomeni appartenenti al mondo economico si presentano senza essere prevedibili a priori: questo perché emergono dall'interagire di una moltitudine di elementi e di relazioni. Abbiamo avanzato l'ipotesi che il sistema sociale in cui viviamo non possa in alcun modo essere frutto di un disegno predefinito, quanto piuttosto il risultato di un lungo processo di selezione, che ha fatto sopravvivere quelle configurazioni che permettevano maggiormente al sistema di essere in qualche modo stabile.

Abbiamo quindi analizzato l'ordine in cui apparentemente la società umana si configura: abbiamo definito l'ordine non come qualcosa che risponde all'idea di una società perfetta e armoniosa, ma semplicemente come una configurazione del sistema che permetta agli individui di effettuare previsioni sul comportamento degli altri con un ragionevole grado di correttezza. I mezzi per raggiungere l'ordine sono potenzialmente due. Uno è il mercato, ovvero la risultante di tutte le transazioni fra gli individui che fanno parte dell'economia, e che conduce il sistema verso l'ordine in maniera endogena: il mercato guida la produzione per mezzo del sistema dei prezzi e incanala le risorse laddove possono essere sfruttate in maniera più efficiente. I prezzi indicano agli individui cosa fare per poter soddisfare i propri bisogni e quelli degli altri: il sistema è controllato in modo decentrato, poiché i prezzi veicolano in maniera codificata l'insieme delle informazioni in possesso dei vari individui. L'imprenditore è la figura che spinge l'economia, dal momento che individua le possibilità di profitto e le situazioni in cui i mezzi di produzione non sono sfruttati al meglio. Un altro modo di raggiungere l'ordine dovrebbe essere la pianificazione: ma questa in realtà non può riuscire nel proprio intento dal momento che nessuna entità centrale può essere in grado di gestire la complessità del sistema economico, ovvero di conoscere e controllare tutti gli eventi, le azioni e le relazioni che si configurano all'interno del sistema, comprese quelle che non sarebbero deducibili a priori sulla base della conoscenza dei singoli elementi componenti.

Il mercato però non è la sola via di coordinazione delle azioni volte a soddisfare i bisogni degli individui: le organizzazioni assumono un ruolo concorrenziale, e sono in grado di ovviare ai costi di transazione che l'accesso al mercato comporta, nonché di soddisfare le necessità di un alto grado di

concorrenza. Ci si interroga se in effetti il mercato stia tramontando, e la nostra società non sia piuttosto volta verso un'economia delle organizzazioni: al riguardo sono importanti alcune considerazioni. In primo luogo, è difficile immaginare l'esistenza di imprese al di fuori di un contesto di mercato: i mezzi di produzione, le risorse, si trovano nel mercato. Un'impresa non può essere in grado di provvedere a se stessa per tutte le proprie necessità: una risorsa quale il lavoro non può essere creata, a meno di immaginare una società di stampo orwelliano, in cui un'unica grande organizzazione controlla gli individui sotto ogni aspetto. In secondo luogo, un'impresa senza mercato non ha ragione di esistere: le organizzazioni necessitano di uno sbocco per la loro attività, e non possono che trovarlo nell'ambiente dal momento che in caso contrario, producendo esclusivamente per se stesse, genererebbero profitti e nuove risorse dal nulla; inoltre, sarebbero prive di incentivi a sfruttare in maniera efficiente le risorse: ne risulterebbe una situazione di crescente degrado, non fosse per il processo di selezione che eliminerebbe le imprese non in grado di generare profitti positivi.

Infine, vi è un altro aspetto estremamente importante, che è quello della diffusione dell'informazione: in una struttura estremamente ampia, quale dovrebbe essere quella di un'impresa che insieme a poche altre concorrenti si sostituisce al mercato per creare una sorta di oligopolio globale, il controllo si fa sempre più difficile in relazione, come abbiamo già detto, alla crescita della complessità. Uno dei problemi maggiori che le imprese di grandi dimensioni devono affrontare, è proprio quello dell'analisi della situazione interna, che è estremamente complicata poiché è difficile estrapolare informazioni circa le risorse, i processi, gli eventi e le relazioni presenti nel sistema: tale difficoltà, non è dettata solo dalle dimensioni dei problemi, bensì dalla moltitudine delle interazioni presenti e dal modo in cui queste operano, dando vita a fenomeni in principio imprevedibili o le cui cause non possono essere determinate con chiarezza.

Questa diffusione dell'informazione è invece effettuata in maniera esemplare, come abbiamo già più volte avuto modo di dire, dalla struttura dei prezzi del mercato. Pertanto, l'esigenza di una veicolazione efficiente dell'informazione comporterà necessariamente un limite al prosperare delle dimensioni delle organizzazioni: queste non potranno che continuare ad esistere all'interno di un mercato, che offre risorse e sbocchi alle loro attività, è che è in grado meglio di qualunque altro meccanismo di immagazzinare e veicolare efficientemente tutte le informazioni disponibili. Questa situazione ricorda il problema, affrontato nel primo capitolo, circa le nostre possibilità di analizzare e descrivere in modo compiuto un sistema complesso, per effettuare delle previsioni circa i possibili stati futuri: la mole di dati necessari riguardo alle condizioni iniziali e la dimensione dei processi di calcolo sono tali da

rendere il sistema complesso il miglior approssimatore di sé stesso. Questo è esattamente quanto effettuato dal mercato. Dunque l'economia sarà sempre costituita da due fonti di coordinazione, il mercato e l'impresa, miscelate in maniera adeguata e pressoché equilibrata: poiché se è vero che la seconda emerge dal primo, e altrettanto vero che non può prescindere né tanto meno sostituirlo.

Nelle pagine che seguiranno, cercheremo di individuare dei metodi e degli strumenti che ci permettano di affrontare la complessità del sistema economico e di analizzarne per quanto possibile il funzionamento, in modo da avere delle informazioni e da immaginare degli scenari possibili, che ci aiutino nel prendere le nostre decisioni. Ci concentreremo in particolare sull'impresa, e vedremo quale sia il grado di complessità che un sistema del genere, apparentemente semplice se paragonato all'intera economia, può presentare tanto internamente quanto nel suo relazionarsi con l'ambiente: noteremo così quanto sia difficile controllare e comprendere l'andamento di tutti le componenti, e soprattutto, come sia delicato prendere delle decisioni riguardo alle variabili che, almeno apparentemente, influenzano in modo determinante l'andamento del sistema nella sua totalità.

Capitolo 4

Scienza, simulazione ed economia

4.1 Il metodo scientifico

Agli inizi della scienza moderna vi è la sperimentazione progettata: il piano inclinato di Galileo è stato uno dei primi esperimenti progettati per verificare un'ipotesi. Compito essenziale della scienza fisica secondo Galileo è infatti la conoscenza della natura, che consiste però non nella conoscenza delle essenze dei fenomeni, come ritenuto dagli aristotelici, bensì nella determinazione delle leggi che ne regolano il corso. La prospettiva degli aristotelici riguardo alle essenze si spiega con la ricerca delle cause, in senso metafisico, dei fenomeni naturali: la scienza deve distinguersi dalle conoscenze volgari e non rivolgersi alla descrizione di ciò che nel mondo avviene, quanto piuttosto cogliere le profonde ragioni per cui le cose avvengono in un modo anziché in un altro.

Galileo si distacca profondamente da questa visione. Nei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, pubblicati nel 1638, per bocca di Salviati spiega il modo seguito per studiare il moto naturalmente accelerato dei gravi che cadono verso terra:

Non mi par tempo opportuno di entrare al presente nell'investigazione della causa dell'accelerazione del moto naturale, intorno alla quale da varii filosofi varie sentenzie sono state prodotte, riducendola alcuni all'avvicinamento al centro, altri a certa intrusione del mezzo ambiente, il quale, nel congiungersi a tergo del mobile, lo va premendo e continuamente scacciando; le quali fantasie con altre appresso, converrebbe andare esaminando e con poco guadagno risolvendo. Per ora basta al nostro Autore che noi intendiamo che egli ci vuole investigare e dimostrare alcune passioni di un moto (qualunque sia la causa che lo produce) talmente, che i momenti della sua velocità vadano

accrescendosi, dopo la sua dipartita dalla quiete, con quella semplicissima proporzione con la quale cresce la continuazione del tempo, che è quanto dire che in tempi eguali si facciano eguali additamenti di velocità.

Dunque, invece di perdersi nel discutere fantasie, lo scienziato si limiterà a studiare le passioni, ovvero il comportamento del moto in esame, qualunque ne sia la causa: nasce così una nuova concezione del rapporto causale, di natura scientifica e non più metafisica, che si configura nella necessaria successione dei fenomeni di causa e di effetto, tale per cui in mancanza del primo venga meno anche il secondo.

Per Galileo spiegare un gruppo di fenomeni significa costruire una teoria di tipo matematico, e quindi costituita da definizioni generali, assiomi e teoremi, dalla quale dedurre il comportamento dei fenomeni stessi. Galileo forse immagina che assiomi e definizioni generali non sempre, e anzi di rado, potranno essere ricavati dall'esperienza: ciò nonostante, una teoria fondata esclusivamente sugli assiomi potrà ugualmente risultare una teoria scientifica, purché soddisfi alla condizione che le conseguenze rigorosamente dedotte da tali principi trovino conferma nell'esperienza.

Il fondamento del metodo sperimentale galileiano è in verità controverso: egli non scrisse alcuna opera direttamente rivolta a tale studio, e la sua teoria metodologica deve dunque essere ricavata indirettamente dalle descrizioni che egli compie del proprio modo di procedere. La questione dibattuta riguarda il carattere del suo metodo, se sia ovvero prevalentemente empirico o prevalentemente matematico-razionalistico: in vero, Galileo combina queste due istanze. Egli non solo ascolta la natura, ma anche la interroga: mira infatti a scoprire le leggi dei fenomeni, ovvero le proporzioni matematiche tra fenomeni e fenomeni. Questo può avvenire per mezzo della misurazione dei fenomeni stessi, procedimento che permette l'indispensabile compenetrazione, ai fini del procedimento scientifico, fra esperienza e matematica. Il ruolo della matematica non si esaurisce nella sola misurazione, dal momento che svolge anche un ruolo fondamentale nella costruzione delle teorie, nell'esatta enunciazione dei principi e nella deduzione di asserzioni da verificare empiricamente. Si può credere che l'istanza empirica sia forse più debole, ma sarebbe un errore: Galileo condusse pochi esperimenti materiali, ma più per l'impossibilità fisica di realizzarli che non per una mancanza di interesse o di fiducia in questi; e anzi, condusse per mezzo dell'immaginazione numerosi esperimenti mentali, un metodo che ancora oggi, come vedremo, riveste notevole utilità.

4.2 Modelli

Il piano inclinato fu progettato per verificare un'ipotesi, ovvero un'affermazione teorica formulata in termini matematici sulla base di certi presupposti riguardanti la gravitazione: quello che Galileo fece fu ideare una situazione artificiale che in qualche modo potesse riprodurre, o quantomeno rappresentare, un processo naturale. Galileo creò un modello. La scienza moderna, in altre parole, è un'attività che ruota attorno ad una situazione artificiale prodotta con l'intenzione di analizzare e comprendere un determinato fenomeno: la pura e semplice osservazione passiva dei fenomeni che si manifestano spontaneamente non è sufficiente per una piena comprensione, ma è necessaria una sperimentazione attiva. In laboratorio una parte del mondo fisico viene isolata dal resto del sistema, e un processo naturale viene così riprodotto, quanto meno nelle sue caratteristiche essenziali, e reso accessibile alle manipolazioni necessarie.

Lo abbiamo già detto, la meccanica è stata la prima teoria scientifica proprio perché rendeva possibile, almeno in parte, ricreare e controllare i fenomeni naturali: tutta la realtà venne reinterpretata secondo questo modello. L'introduzione dell'elettromagnetismo e della termodinamica hanno condotto in seguito alla realizzazione di nuovi modelli: si passa dapprima a descrivere ogni processo naturale come una serie di trasformazioni di energia in un sistema chiuso, quindi come un insieme di onde elettromagnetiche che si propagano nello spazio. Queste onde, essendo modulabili, sono in grado di trasportare messaggi e di convogliare pertanto informazioni. Il controllo dei sistemi e la trasmissione delle informazioni permettono di descrivere qualunque modello, ma sono necessarie delle semplificazioni. E' necessario astrarre, ovvero escludere tutti gli elementi del mondo reale che al momento non interessano o che sono troppo complessi per essere rappresentati: qualsiasi modello è un'idealizzazione, ma è importante che sia nel contempo il più semplice possibile e sufficientemente complesso da rappresentare in maniera adeguata il processo fondamentale.

Le descrizioni del mondo esterno possono essere di tre tipi:

- la descrizione verbale;
- la descrizione logico-matematica;
- la costruzione di un modello funzionale.

La descrizione verbale possiede la massima flessibilità, ma è nel contempo la meno immediata, e quella che meno consente di dedurre se vi siano errori nei passaggi logici e nei concetti esposti. E' peraltro difficile individuare il

grado di generalizzazione, se ve ne è uno, che i modelli verbali consentono, e inoltre, quali fatti e considerazioni da tali modelli conseguano. I modelli verbali infine, non sono computabili, e rendono quindi maggiore la distanza fra la teorizzazione delle idee e la loro verifica empirica.

Un modello descritto in termini matematici è forse meno flessibile, ma possiede una stabilizzazione del proprio contenuto ed un grado di possibile generalizzazione ben superiori. Un modello di questo genere è computabile, e pertanto possiamo servircene per calcolare i valori dei parametri che caratterizzano il processo, non essendo che un insieme di relazioni tra variabili dove ogni relazione è descritta per mezzo di equazioni: in questo modo diviene possibile un'osservazione più oggettiva poiché ripetibile negli stessi termini da altri.

Entrambe questi tipi di descrizione soffrono però di un comune limite: il loro grado di astrazione è elevato, e specie nel secondo caso, in modo notevole. Con la costruzione di modelli funzionali invece ci si avvicina al mondo esterno, l'astrazione si riduce e il grado di generalizzazione e di possibilità di comprensione della realtà aumenta. A parole si può descrivere un modello che contrasta con le leggi fisiche, e lo si può anche formalizzare per via matematica, ma non è possibile riprodurlo realmente: i modelli utilizzati in laboratorio per effettuare esperimenti permettono di far incontrare le teorie formulate con la verifica empirica.

Fin qui, tanto il metodo sperimentale quanto le possibili modellizzazioni si adattano adeguatamente alle scienze naturali quali fisica, chimica, biologia: ma se entriamo nell'ambito delle scienze sociali, cominciamo ad avere qualche problema. Per quanto riguarda queste ultime infatti, la distanza che intercorre fra teorie e prove empiriche è ampia, è apparentemente incolmabile per mezzo degli strumenti che abbiamo visto.

4.3 Il problema delle scienze sociali

Le scienze sociali sono decisamente meno evolute di quelle naturali: se da un lato è vero che vedono la luce solo nel Settecento, e quindi circa un secolo dopo la rivoluzione nel metodo che tanto ha giovato allo studio dei fenomeni naturali, è anche vero che nel tempo il loro progredire non ha tenuto un passo tale da essere paragonabile agli sviluppi occorsi in scienze quali la fisica e la chimica, né tanto meno all'impressionante progresso tecnologico che ha avuto luogo nell'ultimo secolo. Questo relativo insuccesso è da ascrivere a numerosi fattori.

In primo luogo le scienze dell'uomo si trovano a dover affrontare problemi e fenomeni ben più difficili di quelli riscontrabili in natura, e questo perché

tali fenomeni sono il risultato di un gran numero di cause diverse che interagiscono in maniera complessa. Gli elementi costitutivi dei sistemi sociali sono gli individui, che interagiscono fra di loro, e che per mezzo di queste relazioni determinano il comportamento del sistema: sono esseri razionali, ma non in quanto padroni di tutta l'informazione esistente e infallibili decisori e previsori, bensì in quanto meno influenzati, rispetto agli altri esseri animali, dalla componente istintiva e quindi maggiormente coscienti di sé, delle proprie azioni, dei propri desideri e delle proprie intenzioni. Gli uomini sono individui, e il grado di soggettività riscontrabile in ognuna delle loro azioni è elevatissimo: questo fa sì che in molte situazioni apparentemente simili, assumano atteggiamenti del tutto differenti, rendendo difficile definire i rapporti causa effetto che governano un sistema.

In secondo luogo, come già detto, nelle scienze sociali il dialogo fra teoria ed empirismo è piuttosto ridotto: in verità in queste scienze, e in particolare modo in economia, un'adeguata attuazione del metodo sperimentale è pressoché impossibile, e gli isolati tentativi di dar vita ad un'economia sperimentale non possono dirsi significativi nella prospettiva di un sistematico raffronto empirico delle teorie economiche. I limiti sono da riscontrare nelle caratteristiche stesse del metodo, il quale richiede che il fenomeno:

- sia isolabile dal resto della realtà;
- sia ripetibile, in modo da poter essere replicato e valutato oggettivamente da altri;
- esista e si verifichi nel momento in cui si intende studiarlo;
- sia l'effetto di cause estrinseche, note e manipolabili dallo sperimentatore, anziché di cause intrinseche non osservabili e non manipolabili.

Isolare dei fenomeni sociali è operazione non semplice, e nel caso in cui riesca, la perdita di significatività del fenomeno isolato e di informazioni circa le relazioni che questo ha con il resto dell'ambiente, è notevole: inoltre tali fenomeni hanno spesso una portata tanto spaziale quanto temporale talmente ampia, da renderne estremamente difficile un'analisi separata dal resto dell'ambiente. Ancora, i fenomeni sociali tendono ad essere non ripetibili, o comunque non ripetibili in modo identico, e non necessariamente avvengono nel momento in cui si stanno studiando. Infine come già accennato, i fenomeni sociali derivano in gran parte dall'atteggiamento soggettivo di ciascuno degli individui che compongono il sistema in analisi, atteggiamento difficilmente penetrabile e analizzabile in tutte le sue componenti non solo dall'osservatore, ma anche dall'individuo stesso che spesso opera in modo

non perfettamente conscio, o in un modo che non è in grado di rappresentare a se stesso e agli altri in maniera compiuta. La mancanza di ripetibilità dei fenomeni e l'estrema soggettività degli elementi che li generano, rendono pertanto difficile definire in maniera univoca e inequivocabile i rapporti di causa ed effetto.

Il metodo sperimentale dunque è poco accessibile alle scienze dell'uomo. La realtà economica può essere osservata: può essere descritta per mezzo di modelli verbali della realtà. Si possono realizzare modelli formali, e questi possono essere supportati dall'analisi quantitativa e statistica. Ma il mondo economico non può essere ricostruito in laboratorio così come avviene per quello fisico, chimico o biologico: viene così meno quell'anello fondamentale della catena sperimentale che fa sì che le teorie possano essere provate da fatti reali, e che i fenomeni possano essere studiati e capiti a partire dai loro elementi costitutivi.

L'economia così come fino ad oggi si è configurata, confronta le proprie teorie, fondate su una raffinata e talvolta anche troppo approfondita struttura logico matematica, con un discreto campione di dati empirici. Ciò nonostante, il più delle volte i fenomeni vengono ridotti a effetto di poche cause, le cui interrelazioni peraltro sono tutt'altro che esplicite: e troppo spesso le teorie elaborate mancano di quel carattere fondamentale che una teoria scientifica deve avere, vale a dire la capacità di effettuare delle previsioni esplicite, ragionevolmente corrette, circa l'andamento empirico di un determinato fenomeno. In altre parole, mentre siamo perfettamente in grado di determinare la velocità con cui un grave viene attirato verso terra nota la sua massa, in economia troppo spesso non siamo in grado di indicare, pur facendo uso di un vasto e raffinato quadro teorico e formale, in quale direzione si muova una variabile: né abbiamo già discusso, gli economisti non compiono errori di un'ordine di grandezza irrilevante, il loro errore riguarda il segno della variabile in analisi.

Peraltro, considerare il comportamento degli individui come derivante da una perfetta informazione e dalla capacità di compiere azioni in grado di offrire i migliori risultati possibili, oltre a essere una grossolana e fuorviante semplificazione, limita il campo d'azione: vengono infatti meno i vantaggi che potrebbero derivare dall'analisi dei fenomeni economici aggregati attraverso lo studio del comportamento dei singoli individui, e di gruppi di individui in interazione, che sono in effetti la causa di tali fenomeni. Del resto la via della semplificazione è l'unica percorribile, se si intende descrivere per mezzo di formalismi matematici, una realtà troppo complessa che rende pressoché impossibile analizzare per mezzo di relazioni matematiche i modelli che ne derivano: semplificare però si traduce in una drastica perdita di significatività.

E' dunque necessario percorrere altre vie. Una di queste è quella dei modelli di simulazione con il calcolatore.

4.4 La simulazione

Come prima definizione dell'idea di simulazione possiamo assumere quella di Shannon (1975) che ne parla come di un processo di realizzazione di un modello di un sistema reale, modello sul quale poter poi condurre esperimenti con due diversi obiettivi: da un lato quello di comprendere il comportamento del sistema, dall'altro quello di effettuare delle manipolazioni per verificare le reazioni del sistema e quindi la possibilità di intervenire sul suo comportamento. Parisi (2001) offre una prospettiva che può considerarsi forse ancor più interessante: una simulazione è una teoria scientifica espressa con un programma di computer. Le teorie sono tradizionalmente espresse per mezzo di simboli, siano questi di natura verbale, formale o grafica: nelle simulazioni i simboli costituiscono il programma, ovvero un algoritmo che è un modello simbolico del processo reale. L'algoritmo è una sequenza definita di operazioni, costituita da singoli passi eseguibili e univoci, che prescrive come debba configurarsi il processo reale che intendiamo simulare: il programma funziona all'interno del calcolatore, una macchina dotata di un'unità di *input*, di un'unità di memoria, di un'unità di elaborazione e che genera degli *output*. Il programma indica come debbano essere trattati i dati, ovvero quali siano le operazioni che devono essere compiute per generare gli *output* che verranno poi analizzati. La differenza fra una teoria simulativa e una teoria tradizionale è semplice quanto fondamentale: mentre l'ultima, per mezzo del linguaggio verbale o della matematica, si limita a tentare di spiegare la realtà, la prima la riproduce. La simulazione ricrea la realtà nel computer andando a ricoprire il ruolo, mancante nell'uso del metodo sperimentale per le scienze sociali, costituito dall'attività di laboratorio: più specificamente, la simulazione è una teoria attiva che produce direttamente fenomeni e predizioni circa il comportamento di un sistema in determinate condizioni. Tali fenomeni andranno semplicemente confrontati con la realtà, per verificare se vi corrispondono o meno.

In laboratorio lo scienziato può osservare il fenomeno in condizioni controllate, manipolare tali condizioni per verificarne le conseguenze e soprattutto, può mettere alla prova le predizioni tratte dalla propria teoria. La simulazione permette tutto questo e consente di automatizzare tali procedure, dal momento che i risultati della simulazione derivano dalle ipotesi operate per mezzo della teoria che è incorporata nella simulazione: questa si configura così come un laboratorio virtuale. La simulazione ha in sé tut-

te le caratteristiche positive tipiche della prospettiva sperimentale, ma va anche oltre: la creazione stessa della simulazione procede di pari passo con l'elaborazione della teoria, e la realizzazione di quegli esperimenti mentali cui anche Galileo aveva fatto ricorso, diviene così possibile. La simulazione infatti consente di verificare i risultati espressi dalla teoria e tradotti in un programma.

Ma l'aspetto forse fondamentale è ancora un altro: la simulazione ha una natura artificiale, ma è reale. Quello che la simulazione fa non è descrivere il comportamento di determinate variabili, non è dipingere, magari anche in maniera particolareggiata, delle situazioni. La simulazione fa accadere i fenomeni: quanto deriva dalla simulazione non è semplicemente descritto, bensì avviene istante per istante. La simulazione dunque permette una fusione fra due aspetti fondamentali dell'analisi scientifica: la creazione di modelli fisici per la sperimentazione, e l'elaborazione di teorie matematiche per l'analisi quantitativa dei fenomeni che si intende studiare.

In effetti la simulazione presenta numerosi vantaggi rispetto alla sperimentazione tradizionale, e non solo quello di poterla sostituire. Anzitutto per mezzo delle simulazioni è possibile studiare fenomeni che altrimenti, per ragioni di tempo o di spazio fisico, non sarebbe possibile analizzare. Per mezzo delle simulazioni possono anche essere ricreate situazioni non più esistenti o immaginarie. Ma, quello che ancora più conta, è che per mezzo delle simulazioni è possibile studiare quei fenomeni complessi che perderebbero molta della propria significatività se isolati e separati dal proprio ambiente, ambiente che è inevitabilmente troppo ampio e complesso per essere analizzato globalmente, quanto meno dalla mente dell'individuo: il calcolatore invece può sopperire ai limiti delle capacità di calcolo e memoria della mente umana, e analizzare sistemi anche complessi in modo efficiente. In questa prospettiva, quello che è lecito attendersi dalle simulazioni è un maggior grado di penetrabilità e comprensione dei sistemi complessi.

Abbiamo discusso precedentemente di come gli esseri umani siano portati a pensare che la realtà sia fatta da sistemi semplici, ovvero sistemi in cui una singola causa produce in modo definito un singolo effetto: abbiamo anche detto di come questa prospettiva sia stata favorita dalla maggiore semplicità, e del maggior grado di successo, con cui questo tipo di sistemi possono essere affrontati. Ciò non toglie che le cose stiano diversamente. La realtà è pervasa da sistemi complessi, sistemi in cui più cause possono determinare un dato effetto, sistemi in cui le relazioni non sono necessariamente di carattere lineare e in cui gli elementi sono molto numerosi e caratterizzati ciascuno in maniera differente: tali elementi interagiscono fra di loro, magari a gruppi, e da tali interazioni emergono proprietà globali all'intero sistema non deducibili dall'analisi dei singoli elementi, o dei singoli gruppi, isolati dal resto

dell'ambiente, né tanto meno prevedibili sulla base delle informazioni possedute riguardo tali elementi. Per tutte queste ragioni il metodo sperimentale non è adatto per questo tipo di sistemi: o meglio, se applicato, impone delle restrizioni che limitano in maniera decisiva la nostra conoscenza effettiva dei fenomeni e delle problematiche analizzate.

Le simulazioni possono invece permetterci di affrontare lo studio dei sistemi complessi con qualche possibilità di successo in più, e molte semplificazioni in meno. Per mezzo dei programmi che noi stessi abbiamo creato, siamo in grado di comprendere cosa entra e cosa esce dal sistema, e quali sono le relazioni che si determinano all'interno del sistema stesso. In altre parole, per mezzo della simulazione siamo in grado di costruire un sistema complesso, di farlo funzionare, e di verificare come le varie parti interagiscono fra di loro per dare origine ad un comportamento che, se la teoria e le predizioni effettuate in partenza si riveleranno esatte, sarà quello atteso. Mentre i metodi tradizionali, quali quello verbale e quello matematico, analizzano la realtà e cercano di spiegarla scomponendola e ricomponendola, la simulazione ci consente di comprendere la realtà ricostruendola. I sistemi semplici possono essere padroneggiati per mezzo dell'analisi: quelli complessi, per essere compresi adeguatamente, debbono essere ricostruiti. La ricostruzione avviene per mezzo di un programma, che è la traduzione della nostra teoria in un linguaggio comprensibile al calcolatore: questo opererà sugli elementi del sistema, elementi che noi abbiamo creato e caratterizzato, in accordo con la nostra teoria, e creerà dei risultati che saranno aderenti alla realtà se la nostra teoria si rivelerà corretta, o inammissibili se la nostra teoria richiederà di essere rivista. Inoltre, qualora il nostro modello risponda a verità, potremo manipolarlo per comprendere meglio tutte le sfaccettature della situazione in esame e tutti i possibili comportamenti derivanti dalla modifica delle circostanze iniziali.

Le simulazioni infine rivestono quel carattere di generalità per le scienze che Bertalanffy attribuiva alla propria Teoria Generale dei Sistemi, e possono essere utilizzate indifferentemente in qualunque ambito di ricerca. Le simulazioni permettono di analizzare i sistemi complessi: questi possiedono caratteristiche comuni siano sistemi di natura biologica, sociale o economica, e tali caratteristiche derivano dalle modalità di interazione degli elementi costitutivi.

4.5 Metodi di simulazione

Siamo dunque giunti alla conclusione che il problema che le simulazioni devono affrontare è lo studio dei sistemi complessi, e che la possibilità di riuscire in tale compito sia legata alla riproduzione di questi sistemi: la questione ora da capire è in quale modo le simulazioni possano raggiungere questo obiettivo. In ogni metodo e campo di ricerca scientifica le scelte operate riguardo agli strumenti utilizzati influenzano tanto la comprensione dell'oggetto di studio, quanto i risultati dello studio stesso: nella simulazione quest'influenza avviene principalmente attraverso due vie. In primo luogo, attraverso il modo in cui il modello è stato pensato, ovvero attraverso le scelte operate circa le componenti del sistema da riprodurre e da far interagire. In secondo luogo, attraverso la scelta dello strumento informatico atto a realizzare il modello: ciascuno strumento infatti avrà proprie caratteristiche distintive e si presterà più o meno di altri a risolvere determinate problematiche o a modellare situazioni specifiche. L'unione di questi due aspetti determina il carattere, le possibilità e i limiti della nostra simulazione.

Generi di simulazione

Il primo passo dunque è pensare il sistema che vogliamo realizzare: è evidente che la nostra percezione della realtà e il nostro modo di affrontare il problema si rifletteranno sugli elementi e sulla struttura del nostro modello. La questione però concerne aspetti ben definiti: un sistema infatti è inevitabilmente costituito da elementi in relazione fra di loro, e il nostro problema sarà circa il modo in cui riprodurre e riunire i due lati del mondo. Le simulazioni possono essere suddivise in due grandi categorie, dalla differenza apparentemente labile, proprio in base al modo in cui gestiscono elementi e relazioni: possiamo così avere simulazioni di processo o simulazioni ad agenti.

Nelle simulazioni di processo descriviamo in modo definito ed univoco le varie relazioni che possono intercorrere tra gli elementi di un sistema: in sostanza quello che facciamo è considerare tutte quelle che riteniamo siano le possibili connessioni logiche presenti all'interno dell'ambiente che intendiamo simulare. Le regole che guidano il sistema sono centralizzate, e vi è un solo flusso logico. Il tempo della simulazione è continuo: all'interno del sistema entrano uno o più elementi, che in base alle proprie caratteristiche seguono il percorso tracciato attraverso i blocchi di sistemi (e di eventuali sottosistemi interni) modificano le variabili del sistema, e a loro volta subiscono modifiche da parte del sistema. Sono strumenti di simulazione di questo genere programmi quali *Extend* e *PowerSim*, il cui obiettivo è quello di analizzare la dinamica dei sistemi complessi: in genere questo tipo di pacchetti

è sviluppato specificamente per modellare problemi di natura industriale o economico-finanziaria secondo una prospettiva prevalentemente logistica.

E' facile immaginare un esempio di modello di questo genere: supponiamo di voler simulare il funzionamento di un'azienda di stoccaggio di granaglie. Il sistema che riproduce l'azienda è composto da una stazione addetta alla pesatura del carico, da uno smistatore delle granaglie, da un silo. All'interno del sistema entra un oggetto che rappresenta un camion e che possiede delle caratteristiche: immaginiamo per semplicità che queste siano il peso e il contenuto. Il camion viene pesato, ovvero viene catturata la variabile che ne indica il peso, quindi viene analizzata la variabile che ne indica il contenuto: sulla base di questa il camion viene spedito al silos della soia o a quello del grano. Abbiamo quindi una doppia interazione: il camion scarica il proprio contenuto nel silo svuotandosi e riempiendo invece quest'ultimo. Quindi il camion esce dal sistema. Il tempo scorre in modo continuo e ogni operazione ha una propria durata.

Le simulazioni ad agenti invece guardano al sistema secondo una prospettiva differente: qui infatti l'attenzione non è prevalentemente rivolta ai flussi logici. In vero non abbiamo flussi, ma interazioni. In questo ambito è particolarmente rappresentativo *Swarm* (Minar et al., 1996), una libreria di funzioni in Java per la realizzazione di modelli *Agent Based*. Nel costruire il nostro sistema, lo pensiamo composto da agenti: gli agenti sono elementi, che a loro volta possono essere costituiti da altri agenti dando così vita ad una struttura gerarchica, con delle caratteristiche e delle regole comportamentali cui attenersi. Caratteristiche e regole possono essere definite uniformemente per una classe di agenti, così come specificamente ed in modo distinto per ogni singola entità. La simulazione è guidata da uno *scheduler* che contiene, nell'ordine in cui dovranno susseguirsi, le azioni che guidano gli agenti. Lo scorrere del tempo è modellato proprio attraverso l'esecuzione degli eventi in una qualche sequenza, definita da noi. In questo caso abbiamo una sorta di decentralizzazione: gli agenti hanno infatti delle regole proprie, ed è sulla base di queste regole che si comportano nel momento in cui lo *scheduler* indica quali azioni debbano accadere in un determinato istante. L'obiettivo che si vorrebbe ottenere da questo tipo di struttura, è l'emergere di nuovi comportamenti e nuove gerarchie non deducibili a priori sulla base delle poche regole attribuite a ciascuno degli elementi costitutivi.

Anche a questo riguardo possiamo proporre un esempio: immaginiamo di voler riprodurre un semplice ecosistema, composto da carote, conigli e volpi. Avremo una classe di agenti per ciascuno di questi elementi: a loro volta detti agenti potranno essere composti da più elementi, per esempio il naso, la bocca, le orecchie e ogni particolare volto a caratterizzarli. Inoltre ogni classe, e eventualmente ogni singolo agente, avrà delle regole volte a guidarne

il comportamento: e così, per i conigli avremo che mangiano le carote e che si nascondono dalle volpi, mentre queste ultime seguiranno la regola di mangiare i conigli. Lo *scheduler* conterrà tre azioni: i conigli mangiano le carote, i conigli si nascondono dalle volpi, le volpi mangiano i conigli. All'avvio della simulazione lo *scheduler* indicherà le azioni che dovranno avere luogo nell'ordine stabilito: gli agenti le cui regole risponderanno alle azioni chiamate, si attiveranno ed interagiranno fra di loro e eventualmente con l'ambiente. Comportamenti emergenti dovrebbero derivare proprio da questo genere di interazioni tanto all'interno delle classi di agenti, se costituite in forme gerarchica, quanto fra le diverse classi.

Stili di programmazione

Questi due metodi di simulazione si fondano su due diversi stili di programmazione. La simulazione di processo in genere è attuata per mezzo di *software* che ricreano i sistemi tramite diagrammi a blocchi e connessioni: si tratta dunque di strumenti grafici che visualizzano gli elementi e il flusso logico fra questi. Tale soluzione permette indubbiamente una notevole facilità di realizzazione pratica e di comprensione del modello, ma a scapito della flessibilità nei riguardi dei problemi da affrontare e delle possibili soluzioni. La simulazione ad agenti di *Swarm* si fonda invece sulla programmazione ad oggetti: il modello è realizzato per mezzo di un codice in cui sono definite e descritte le classi di agenti, le regole e gli eventi che debbono occorrere. Non vi è dunque una rappresentazione grafica né dell'ambiente, né degli elementi, né tanto meno delle relazioni che intercorrono all'interno del sistema, dal momento che queste non sono definite a priori. Una simulazione basata su codice è indubbiamente di gran lunga più flessibile della precedente: gli oggetti non devono essere necessariamente composti solo di dati e in sostanza si possono adottare diverse tecniche, di natura prettamente informatica, per descrivere il sistema; ma se il codice guadagna potenzialità nella fase di prototipazione, perde in semplicità, accessibilità e capacità di analisi da parte di chi la osserva. Vi è peraltro chi sostiene che, se si sceglie la via di strumenti di simulazione grafici, presto o tardi si dovranno comunque realizzare delle parti scritte da integrare, in modo da sopperire alla mancanza di flessibilità e generalità: sarebbe così auspicabile realizzare direttamente la simulazione per mezzo del solo codice. Tale posizione però è discutibile: se è vero che i linguaggi informatici scritti possono sopperire mirabilmente alle mancanze degli strumenti grafici, e altrettanto vero che rinunciare del tutto all'uso di questi ultimi non appare necessariamente come la soluzione migliore, e sarebbe forse auspicabile proprio un'interazione fra i due stili in modo da godere delle peculiarità di entrambe.

Modelli e simulazioni

Abbiamo dunque visto due diversi metodi di simulazione, fondati su due diversi stili di programmazione: resta da capire se uno dei due è indiscutibilmente superiore all'altro, e sia quindi sempre da preferire, o se piuttosto la nostra scelta debba essere orientata dal tipo di modello che vogliamo realizzare ovvero dal sistema che è nostro oggetto di studio. La simulazione ad agenti si configura indubbiamente come un interessante strumento per lo studio del comportamento degli individui e di gruppi di individui, nonché del tipo di relazioni che si possono instaurare fra questi. L'aspetto probabilmente fondamentale è la scomparsa della necessità di avere un singolo agente rappresentativo: nella simulazione ad agenti possiamo avere più individui, anche appartenenti alla medesima classe, che operano secondo regole proprie e che interagiscono fra loro sulla base di questa individualità. Nell'aumentare la numerosità degli individui e le diversità fra questi, la possibilità di ottenere comportamenti impreveduti e non lineari è indubbiamente alta: ma se da un lato si ha una buona approssimazione nei confronti del grado di complessità che può essere riscontrato all'interno di un sistema, dall'altro possiamo ritrovarci ad avere, anche sul calcolatore, un sistema che, benché noto in tutte le sue sfaccettature, sia difficile da comprendere e analizzare. In altre parole i risultati e le relazioni che derivano dalla nostra simulazione possono essere a loro volta troppo complessi per permetterci di comprenderli appieno: il che ovviamente non toglie che questo strumento abbia grandi potenzialità, ma ci impone in ogni caso qualche riflessione e soprattutto, degli accorgimenti nel pensare e nel realizzare i modelli. Axtell e Epstein (1994) rilevano che se non siamo in grado di comprendere i sistemi complessi artificiali meglio di quanto comprendiamo quelli reali, allora non abbiamo compiuto alcun progresso.

La simulazione ad agenti è uno strumento di non semplice utilizzo e soprattutto, uno strumento che per costruzione rende difficile comprendere con chiarezza le relazioni che si configurano all'interno del sistema: se da un lato questa sorta di indefinitezza può essere un pregio, in altre situazioni può rilevarsi invece un difetto. Nel momento in cui intendiamo simulare il funzionamento di una macchina oppure di un processo produttivo, le relazioni che si instaurano fra le varie procedure debbono essere univoche al fine di ottenere un determinato prodotto: una situazione del genere abbiamo visto essere quella ideale per una simulazione di processo. In effetti può essere realizzata anche per mezzo di una simulazione ad agenti: apparentemente però non sembra essere questa la via più semplice ed immediata per rappresentare il problema. Ad esempio, possiamo indubbiamente realizzare il modello della trasmissione di un automezzo anche per mezzo di una struttura ad agenti: ogni singolo componente possiede caratteristiche specifiche, deve sottostare

a determinate regole, ed interagisce con gli altri sulla base della sequenza indicata dallo *scheduler*.

In questa prospettiva però, sembra venir meno l'utilità delle peculiarità offerte da questo tipo di simulazione: in primo luogo il numero di elementi all'interno di un sistema del genere è indubbiamente ben inferiore rispetto a quanto si avrebbe all'interno di un sistema sociale o biologico, dunque non abbiamo la necessità di gestire una elevata numerosità. In secondo luogo, interazioni diverse da quelle necessarie affinché il processo interessato abbia luogo non potranno che portare a malfunzionamenti o addirittura ad una totale mancanza di funzionamento del sistema: se all'interno di un cambio automatico si verificano eventi impreveduti, è più probabile che questo indichi che abbiamo sbagliato qualcosa nel progettarlo o che qualche cosa non funziona come dovrebbe, piuttosto che la scoperta di una nuova legge fisica che investe gli ingranaggi del nostro sistema. Abbiamo allora bisogno di relazioni fra gli elementi che siano indicate in modo esplicito, piuttosto che implicito come avviene nella simulazione ad agenti: nel simulare un processo possiamo comprendere meglio la sua natura e le cause di un comportamento diverso da quello atteso, se siamo in grado di individuare chiaramente ogni singola relazione fra ciascun elemento e inoltre, se queste relazioni possiamo visualizzarle per mezzo di uno schema.

In sostanza nessuno dei due strumenti è sistematicamente migliore dell'altro, bensì entrambe presentano caratteristiche peculiari che li differenziano e che fanno sì che la scelta da operare debba effettuarsi sulla base di due considerazioni: quale dei due metodi meglio si adatta a rappresentare il sistema in esame, e qual'è l'obiettivo che vogliamo raggiungere nello studiare il sistema per mezzo della nostra simulazione. Nella simulazione di processo le relazioni fra gli elementi e fra i sistemi sono esplicite: dunque questo metodo è adattato a modellare sistemi in cui le relazioni fra le componenti vengono definite in modo da ottenere un risultato ben determinato e che è il fine stesso della struttura realizzata. I modelli di un pilota automatico per aeromobile o del processo di costruzione di una barca a vela, possono essere meglio rappresentati per mezzo di questo genere di simulazione. Al contrario, nelle simulazioni ad agenti le relazioni sono implicite: per mezzo di questo strumento saranno meglio rappresentati quei sistemi di cui ci interessa studiare il comportamento in quanto derivante dalle caratteristiche delle singole componenti, e quindi dal tipo di interazione che consegue da tali caratteristiche, e non piuttosto in quanto derivante da un'esplicita indicazione al riguardo. Questo metodo quindi sarà adatto a studiare il comportamento di numerose imprese all'interno di un mercato, o anche di più individui all'interno dell'impresa stessa.

In questo lavoro utilizzeremo un ambiente di sviluppo che ha le proprie

basi in MATLAB, e che è costituito da due simulatori, Simulink e Stateflow: i tre strumenti sono profondamente interrelati e la loro flessibilità è tale da permettere di riunire le peculiarità di ciascuno dei metodi e degli stili di cui abbiamo fin qui parlato. Vedremo così che la nostra simulazione non potrà dirsi ad agenti, ma neanche potrà definirsi strettamente di processo, benché idealmente si collochi più vicina a quest'ultima.

4.6 Simulazione e decisioni

Abbiamo fin qui osservato la simulazione da una prospettiva particolare, ovvero come una sorta di metodologia scientifica attiva in grado di offrire, insieme alla realizzazione di un sistema, delle predizioni empiriche circa il suo funzionamento. Le simulazioni possono dunque essere un prezioso strumento per l'indagine scientifica, ma questo non è tutto: possono anche essere estremamente utili in ambiti specifici e meno teorici. Abbiamo visto come il problema economico sia fondamentalmente un problema di informazione e di scelta: informazione circa la situazione del mercato e i bisogni degli altri individui, e scelte circa i modi in cui soddisfare questi bisogni. Le simulazioni possono essere molto utili in questo senso. Creare un modello infatti vuol dire anzitutto analizzare l'informazione: se per esempio vogliamo creare il modello di un'impresa, dovremo analizzare prima di tutto l'informazione presente all'interno di questa, informazione che sarà dispersa, e cercare di ottenere un quadro esauriente circa la struttura e il funzionamento del sistema. Realizzare un modello di simulazione è anzitutto un modo per raccogliere e organizzare informazione, e il fine di tale operazione è quello di ottenerne altra.

L'altro problema è quello che riguarda le decisioni: un operatore economico è tale poiché si trova a dover compiere delle scelte. Il processo decisionale in ambito economico è di importanza fondamentale. Simon (1979) lo suddivide in tre fasi:

- anzitutto è necessario trovare occasioni per prendere una decisione;
- quindi si devono trovare possibili alternative di azione;
- infine si deve scegliere fra queste alternative.

I *manager* impiegano una buona parte del proprio tempo ad analizzare l'ambiente economico, tecnico, politico e sociale al fine di identificare nuove condizioni che richiedano nuove azioni: in altre parole raccolgono informazioni. In seguito la loro attenzione si sposta ad inventare, progettare e sviluppare possibili alternative di azione per risolvere quelle situazioni che richiedono

una scelta. Solo alla fine avviene l'attività di decisione vera e propria. Vi è infine ancora un passaggio facente parte di questo processo, ovvero il compito di dare attuazione alle scelte operate: queste infatti comportano nuove condizioni per la vita dell'impresa e per gli individui che operano al suo interno, condizioni che a loro volta richiedono la formulazione di un piano e la ricerca di una particolare alternativa per rendere effettiva la nuova prospettiva. Dunque il processo decisionale innesca una sorta di reazione a catena: ad ogni scelta effettuata, altre che dipendono da questa devono seguire.

La simulazione permette di automatizzare e di potenziare tutte queste operazioni: abbiamo già detto del processo di raccolta di informazioni che investe l'attività di simulazione. La realizzazione del modello della nostra impresa ci consente, oltre che di avere una visione a un tempo d'insieme e specifica della realtà in cui operiamo, di identificare aree e processi critici, di comprendere il perché di certe occorrenze e di prevedere il comportamento del sistema a seguito di determinate azioni che avvengono al suo interno. Ancora, per mezzo del modello di simulazione possiamo sperimentare: vale a dire, abbiamo la possibilità di ricercare all'interno del sistema, modificandolo o ampliandolo, possibili soluzioni volte a migliorarne l'efficienza. Ma la cosa più importante è che possiamo verificare empiricamente gli effetti di determinate azioni da noi operate: in altre parole, per mezzo dell'informazione creiamo altra informazione, e realizziamo una realtà possibile in grado di guidare le nostre decisioni mostrandoci il risultato delle nostre azioni e le scelte eventualmente migliori da compiere per raggiungere i nostri obiettivi. Il tutto ad un costo relativamente contenuto ed in un ambiente privo di rischio.

Dunque, la simulazione è utile per la ricerca scientifica, per capire e studiare i sistemi complessi: ma lo è altrettanto per prendere decisioni all'interno di questi sistemi. Ecco quindi perché realizziamo un modello d'impresa: per capire come l'impresa funziona, e per poter effettuare con cognizione di causa scelte che potrebbero migliorarne il funzionamento.

Capitolo 5

Strumenti e modelli

In questo lavoro realizzeremo un modello di simulazione di impresa per mezzo di un insieme di strumenti, che danno vita a quello che generalmente viene definito come un ambiente di sviluppo. All'interno di questo ambiente troviamo applicazioni e funzioni specifiche per il calcolo matematico, e altre applicazioni rivolte ad un ambito simulativo di stampo prettamente ingegneristico da un lato, e logico matematico dall'altro. I nostri strumenti sono MATLAB, Simulink e Stateflow.

E' da sottolineare come la scelta dei mezzi con cui costruire un modello sia estremamente importante, poiché inevitabilmente influenza il modo in cui il modello stesso viene concepito e realizzato. Il nostro modello di impresa si basa sulla formalizzazione del modello jES, realizzato in *JavaSwarm*: inevitabilmente, nel modificare la prospettiva da cui guardare al problema, cambierà anche il nostro modo di descrivere il problema stesso. Vedremo come.

5.1 MATLAB

MATLAB, il cui nome sta per *MATrix LABoratory*, è un ambiente di calcolo numerico all'interno del quale sono integrati strumenti per l'analisi e la visualizzazione dei dati nonché per lo sviluppo e la codifica di algoritmi. Come il nome stesso suggerisce, MATLAB è fondato sulle matrici ed è in grado di manipolarle come un'unica entità, senza dover quindi operare sulle singole componenti: l'elemento fondamentale è un'*array* che non deve necessariamente essere dimensionata.

MATLAB è costituito da cinque componenti principali:

- l'ambiente di sviluppo, formato da un insieme di strumenti e di utility con interfacce grafiche, che facilitano l'utilizzo delle *functions* e dei *file*;

- la libreria delle funzioni matematiche, una collezione di algoritmi di calcolo che spazia dalle funzioni elementari quali somma e logaritmo, all'aritmetica dei numeri complessi e a funzioni più sofisticate quali quelle per l'inversione di una matrice o la determinazione di autovalori e autovettori;
- il linguaggio MATLAB, un linguaggio ad alto livello fondato, come detto, sulle matrici e che possiede istruzioni per il controllo del flusso, delle strutture dati, delle routine di *input-output* e che può anche essere programmato ad oggetti;
- *Handle Graphics*, il sistema grafico che comprende le funzionalità per la visualizzazione bidimensionale e tridimensionale dei dati e la generazione di animazioni, e quelle per la costruzione di interfacce grafiche apposite per le applicazioni create;
- l'API (*Application Program Interface*), una libreria che consente di scrivere codice C e Fortran da far interagire con MATLAB: consente di semplificare le chiamate alle routine e di utilizzare MATLAB come motore di calcolo.

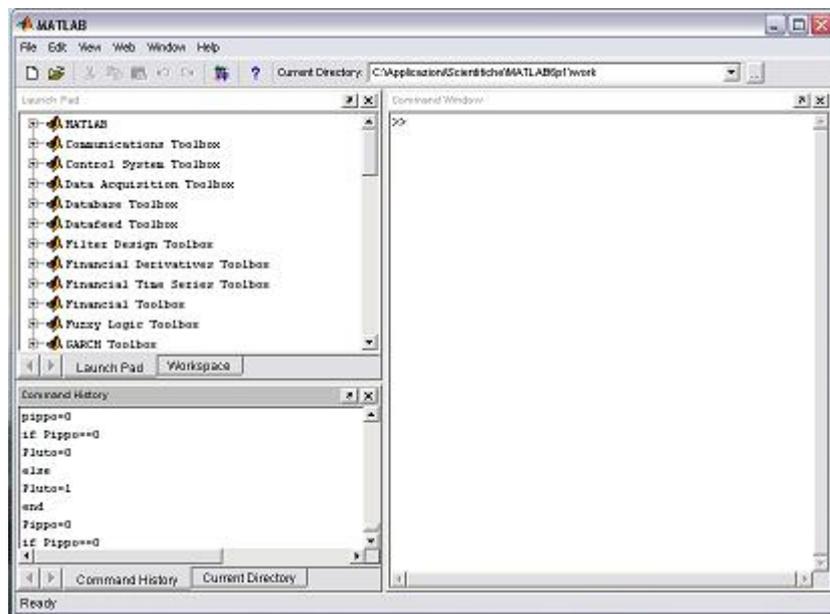


Figura 5.1: MATLAB

Il *Desktop* di MATLAB è l'ambiente all'interno del quale operiamo: è composto dalla *Command Window* che è il terminale attraverso il quale

dialoghiamo con l'applicazione, dall'*Editor* per la creazione di funzioni e algoritmi, dal *Workspace Browser* che consente di visualizzare numericamente e graficamente le variabili su cui stiamo operando, e da altri strumenti che consentono di facilitare l'accesso a dati e comandi.

MATLAB è costituito da una struttura gerarchica: alla distribuzione standard infatti possono essere aggiunti dei *Toolbox*, ovvero delle librerie di funzioni specifiche che consentono di aumentare le potenzialità di analisi ed elaborazione. Avremo così librerie statistiche, di acquisizione dei dati, di ottimizzazione, di analisi econometrica o di modellizzazione di funzioni a rete neurale: le funzioni sono scritte in linguaggio MATLAB e possono essere modificate.

Su questa struttura poggiano altre due applicazioni. La prima è un'ambiente di sviluppo denominato Simulink, uno strumento volto alla creazione, all'analisi e alla simulazione di sistemi dinamici complessi: la seconda applicazione è Stateflow, un'ambiente integrato in Simulink che consente di realizzare modelli con una forte strutturazione logica. Entrambe i linguaggi sono di natura grafica, ma fanno uso delle funzioni e delle potenzialità numeriche, matematiche e grafiche di MATLAB.

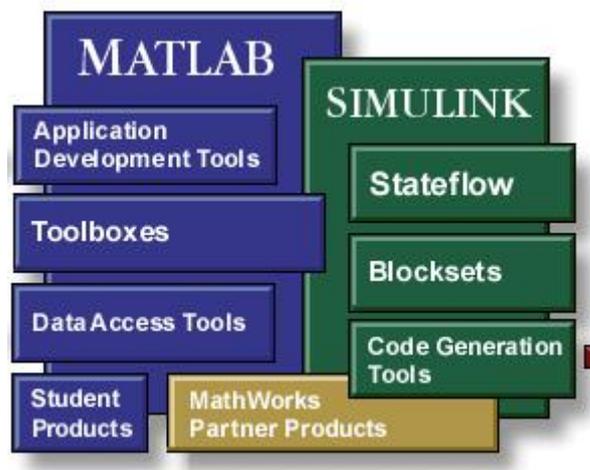


Figura 5.2: La struttura gerarchica di MATLAB e degli altri strumenti.

5.2 Simulink

Simulink consente di affrontare lo studio di sistemi dinamici complessi, ovvero sistemi il cui *output* si modifica nel tempo: i modelli possono essere lineari o non lineari, continui, discreti o ibridi e anche *multirate*, vale a dire aggiornati o scanditi da diverse unità temporali. La realizzazione dei modelli avviene per mezzo di un'interfaccia grafica: la rappresentazione avviene per mezzo di diagrammi a blocchi e diagrammi di flusso, ed è così possibile realizzare i sistemi come si farebbe con carta e penna, piuttosto che operare per mezzo di equazioni differenziali o alle differenze da descrivere per mezzo del codice. Il modello traccia le relazioni matematiche temporalmente dipendenti che si instaurano tra gli *input*, gli stati e gli *output* del sistema.

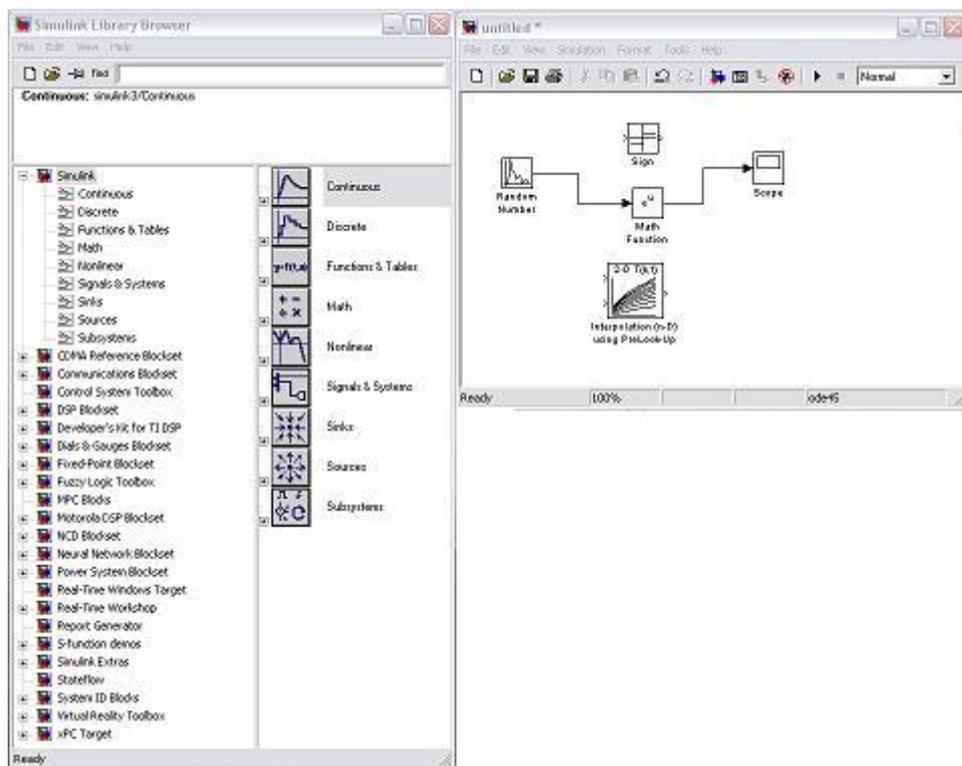


Figura 5.3: Il *Simulink Library Browser* e l'editor.

I modelli hanno una struttura gerarchica e possiamo così adottare tanto una prospettiva *top-down* che *bottom-up*: possiamo vedere il modello ad alto livello, e poi aprirlo per accedere ai livelli sottostanti e analizzarne la struttura ai diversi livelli di dettaglio. Nel costruire il modello, possiamo partire da elementi costitutivi, che rappresenteranno il nostro massimo grado

di dettaglio, e raggiungere elevati gradi di complessità: possiamo così ragionevolmente pensare di essere in grado di conoscere tutte le parti del modello, e come queste interagiscano.

Simulink offre una serie di librerie di blocchi e un editore grafico che consente di posizionare i blocchi e collegarli fra loro: ciascun blocco rappresenta un sistema dinamico elementare che produce un *output*, funzione dell'*input* e del tempo, continuo o discreto. Simulink si rifà esplicitamente alla teoria dei sistemi e al tipo di rappresentazione che abbiamo visto nel secondo capitolo: un blocco ha entrate e uscite, è caratterizzato da diversi stati, e opera sull'ambiente per mezzo della propria funzione caratteristica.

Come esempio di struttura di un modello Simulink possiamo riprendere il modello Lotka-Volterra realizzato nel secondo capitolo, e che così presentava in codice MATLAB:

```
function lv=LV(t,x);
lv=zeros(2,1);
lv(1)=2*x(1)-0.001*x(1)*x(2);
lv(2)=-10*x(2)+0.002*x(1)*x(2);
In evaluation:
simtime=5; initx=[5000 100];
[t,x]=ode23('LV',[0,simtime],initx);
plot(t,x)
```

In Simulink il modello, esattamente identico a quello visto, si presenta come in figura 5.4.

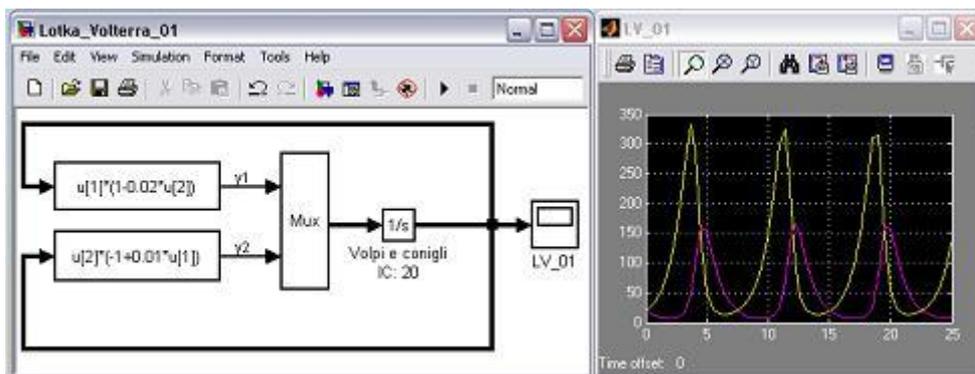


Figura 5.4: Il modello Lotka-Volterra realizzato con Simulink.

Abbiamo così due blocchi funzione, all'interno dei quali sono espresse le due equazioni differenziali che descrivono il modello, l'integratore che risolve le due equazioni, i flussi che riportano alle funzioni gli *output* ottenuti, ed

infine un blocco generante il grafico che visualizza il risultato della nostra simulazione.

Naturalmente si possono realizzare modelli di complessità ben più elevata: si pensi per esempio alla termodinamica di una casa. Il sistema è composto dall'abitazione, da un termostato, da dei convertitori e da variabili esterne che rappresentano la temperatura alla quale dobbiamo adattare l'emissione di calore. Più precisamente, la temperatura esterna varia applicando una funzione seno di ampiezza 15 ad una temperatura base di 50°: in questo modo vengono simulate le fluttuazioni giornaliere della temperatura con cui il termostato deve confrontarsi. Il modello contiene 5 sottosistemi: Thermostat, House e tre Temp Convert (due F2C, un C2F).

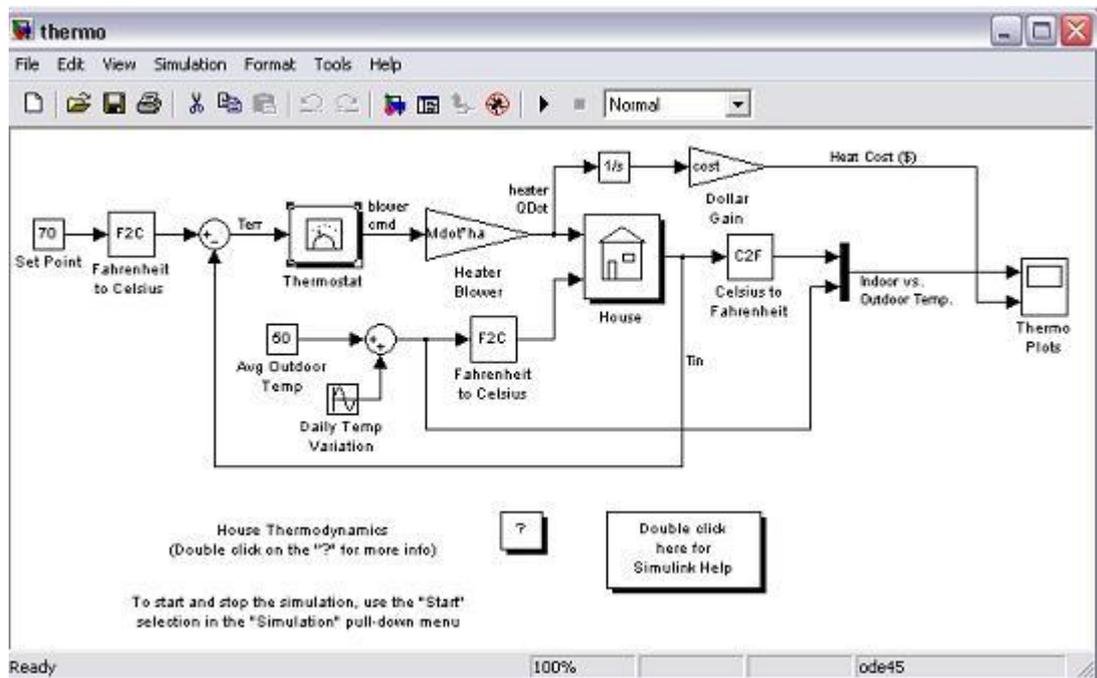


Figura 5.5: Il modello termodinamico di una casa.

Le temperature interna ed esterna sono in input al sottosistema *House*, che aggiorna la temperatura interna. Il sottosistema *Thermostat*, per mezzo di un semplice *relay*, determina quando il riscaldamento debba essere acceso o spento: infine per mezzo di due grafici visualizziamo la temperatura interna alla casa e i costi sostenuti per mantenere acceso il riscaldamento.

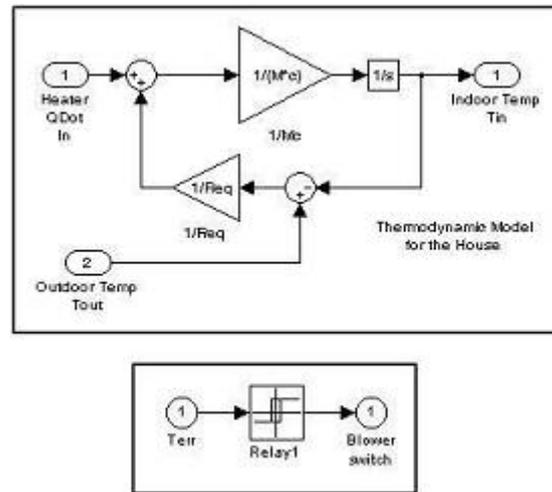


Figura 5.6: Sottosistemi: *House* e *Thermostat*.

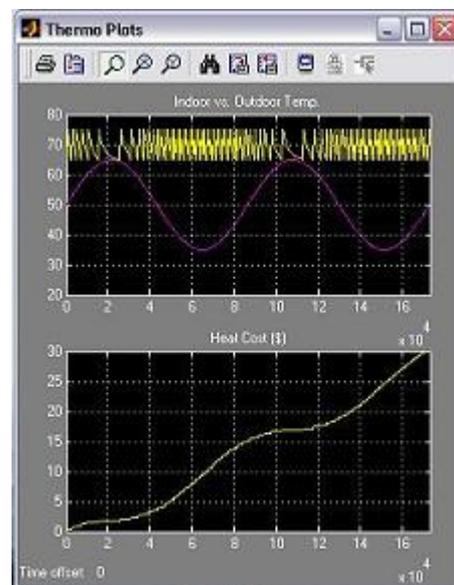


Figura 5.7: I grafici della temperatura interna ed esterna in alto, dei costi di riscaldamento in basso.

5.3 Stateflow

Stateflow, dei tre strumenti a nostra disposizione, è quello di cui faremo maggior uso: quello che questa applicazione ci offre è la possibilità di modellare e controllare la logica sottostante ai sistemi complessi. Stateflow è fondato sulla teoria delle macchine a stati finiti (*Finite State Machine*, da qui FSM): una FSM è la rappresentazione di un sistema guidato dagli eventi, ovvero un sistema che effettua una transizione da uno stato ad un altro stato predefinito, se è realizzata la condizione che definisce tale transizione. Un diagramma (*Chart*) di Stateflow è la rappresentazione grafica di una FSM, in cui stati e transizioni formano i blocchi fondamentali di costruzione del sistema, e si configura come un blocco da inserire in un modello Simulink.

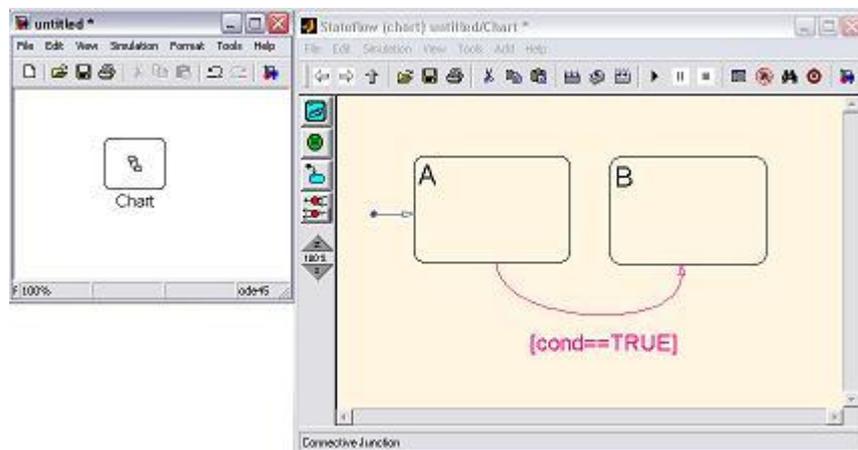


Figura 5.8: Stateflow

Una FSM è un sistema che può assumere solo un numero finito di configurazioni: tale macchina, oltre a presentare tutti i possibili stati del sistema, definisce la logica che guida e determina i cambiamenti in un sistema da una configurazione all'altra. In una FSM uno stato rappresenta una delle possibili configurazioni del sistema e può essere attivo o inattivo: in un sistema lo stato è trattato come un elemento memoria, dal momento che registra la configurazione presente del sistema. Una volta attivato lo stato rimane attivo, e può essere disattivato solo se il sistema modifica la propria configurazione.

Una transizione definisce invece un flusso logico all'interno di un sistema a stati finiti, e governa così le configurazioni che il sistema può assumere cambiando da uno stato all'altro: quando una transizione ha luogo lo stato di origine diviene inattivo mentre viene attivato lo stato di destinazione. L'esecuzione di un sistema a stati finiti è controllata dagli eventi: un sistema

può cambiare da uno stato ad un altro solo in seguito al verificarsi di un evento. Gli eventi sono non grafici e univocamente definiti: quando una transizione è associata ad un evento, questa può avvenire solo in occorrenza dell'evento, mentre una transizione non associata ad alcun evento è valida qualunque evento occorra.

Un valido esempio di macchina a stati finiti può essere il distributore di bevande che incontriamo nelle università e nei luoghi di lavoro: questa macchina vende ad un determinato prezzo, supponiamo 50 centesimi, una determinata serie di prodotti quali per esempio caffè e cioccolata. Se accetta solo pezzi da venticinque centesimi, le possibili configurazioni del circuito di calcolo del credito sono: non vi sono monete, vi è una moneta, vi sono due monete. A seconda delle azioni operate all'esterno, la macchina può poi assumere diverse configurazioni: restituire l'unica moneta inserita, o offrire la scelta fra le due bevande disponibili ed erogare quella selezionata dall'utente. Un sistema del genere in Stateflow è estremamente semplice da realizzare: naturalmente possono essere controllate e realizzate tutte le possibili transizioni e configurazioni anche di sistemi ben più complessi.

Eventi e dati

La realizzazione di un modello Stateflow è suddivisa in due parti: da un lato, per mezzo dell'Editor che abbiamo visto in figura 5.8, creiamo la struttura del nostro sistema, costituita dai diversi stati e dalle transizioni fra questi. Dall'altro lato per mezzo dell'*Explorer* (figura 5.9) accediamo al *Data Dictionary*, all'interno del quale creiamo gli eventi, che guidano le transizioni fra gli stati, e le variabili, sui quali il sistema agisce e che a loro volta influenzano il comportamento del sistema.



Figura 5.9: L'Explorer di Stateflow

Il sistema è guidato dagli eventi, che possono essere generati implicitamente o esplicitamente per mezzo di una funzione: sono gli eventi che attivano i diagrammi e che guidano le transizioni fra i diversi stati. Gli oggetti *data* sono invece utilizzati principalmente per definire delle condizioni di transizione, o per compiere delle azioni associate a transizioni o ad attivazioni di stati. Nel definire un evento possiamo stabilirne la visibilità all'interno del modello, che può essere di tre tipi:

- l'evento può essere locale, e quindi visibile solo all'interno del diagramma, di uno stato o di un sottostato;
- l'evento può essere un *input* da Simulink;
- l'evento può essere generato dal diagramma come *output* verso Simulink.

Allo stesso modo un oggetto *data* può essere:

- un *input* o un *output*, da o verso Simulink;
- una variabile locale;
- una costante, ovvero un valore che non può modificarsi nel tempo;
- una variabile temporanea, caso quest'ultimo che si applica esclusivamente ai diagrammi privi di stati e costituiti da soli flussi.

Transizioni

Le transizioni in Stateflow possono essere controllate da eventi, da condizioni o anche da entrambe gli oggetti. Una transizione controllata da un evento si attiva all'occorrenza di quest'ultimo: una transizione controllata da una condizione invece si attiva se la condizione è verificata. Se evento e transizione operano congiuntamente, dovranno avere luogo entrambi per permettere alla transizione di attivarsi.

Le transizioni inoltre possono portare delle azioni da compiere qualora siano attivate e possiamo dunque avere *condition actions* e *transition actions*: le prime sono eseguite anche nel caso in cui le transizioni non conducano da uno stato all'altro bensì puntino ad altre transizioni, le seconde solo se le transizioni terminano ad uno stato. Le azioni consentono ad un diagramma di dialogare internamente così come di interfacciarsi con l'ambiente esterno, e possono essere utilizzate per compiere diverse operazioni quali assegnare dei valori a delle variabili, modificare tali valori, richiamare funzioni MATLAB, C o definite dall'utente, far scattare degli eventi.

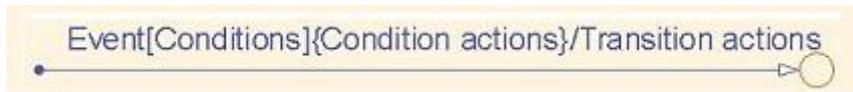


Figura 5.10: La gerarchia delle transizioni.

Gerarchia

In Stateflow è possibile creare diagrammi all'interno di altri diagrammi: ovvero, è possibile che un sistema sia composto da più sottosistemi, i quali potranno essere a loro volta scomposti. Possiamo quindi creare una gerarchia a più strati, e non vi è limite alcuno al numero di livelli che possiamo realizzare: i livelli superiori sono definiti 'superstati', quelli inferiori 'sottostati'. Gli stati inferiori possono attivarsi solo se quelli superiori sono attivi: viceversa, se il 'superstato' si disattiva, usciamo anche dal sottostato e le operazioni che questo stava compiendo vengono interrotte. Quale che sia il sottoinsieme attivo, l'insieme superiore può dialogare con altri insiemi, a prescindere dall'attività di tale sottoinsieme (a meno che, ovviamente, tale attività sia proprio condizionata a limitare l'azione del superstato).

Oltre agli evidenti vantaggi di natura tecnica, quali la semplificazione del grafico e la maggiore efficienza del programma, la creazione di una gerarchia ha delle importanti implicazioni teoriche: in questo modo infatti, raggruppiamo fra di loro più operazioni e creiamo dei confini per degli insiemi di oggetti relazionati fra di loro. Ecco quindi che ci troviamo di fronte a quel sistema caratterizzato da una gerarchia di cui abbiamo a lungo parlato, e che ci permette di individuare singole componenti ed il comportamento che deriva, per l'insieme nel suo complesso, dall'interazione di queste componenti.

Stati esclusivi e stati paralleli

Il comportamento di uno stato dipende dal tipo di decomposizione cui è soggetto, e questa può essere di due tipi:

- esclusiva (OR);
- parallela (AND).

Nel primo caso, in una gerarchia, fra sottosistemi ad un medesimo livello potrà essercene uno solo attivo per volta: al contrario, in caso di decomposizione parallela, tutti i sottostati di un medesimo livello saranno attivi contemporaneamente. Gli stati paralleli servono a rappresentare dei sottoinsiemi che operano contemporaneamente all'interno del sistema: ovviamente

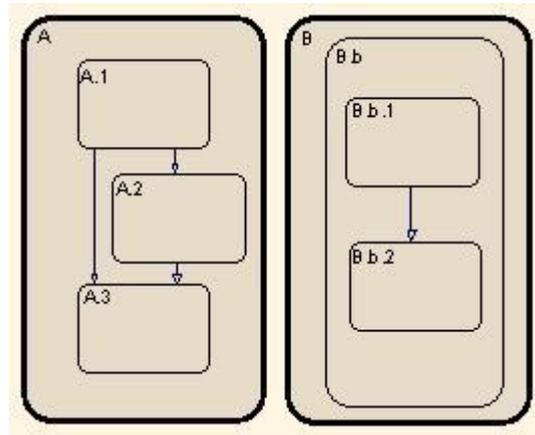


Figura 5.11: Insiemi e sottoinsiemi.

anche all'interno di questi potremo avere una gerarchia, che a sua volta potrà essere di natura esclusiva oppure parallela.

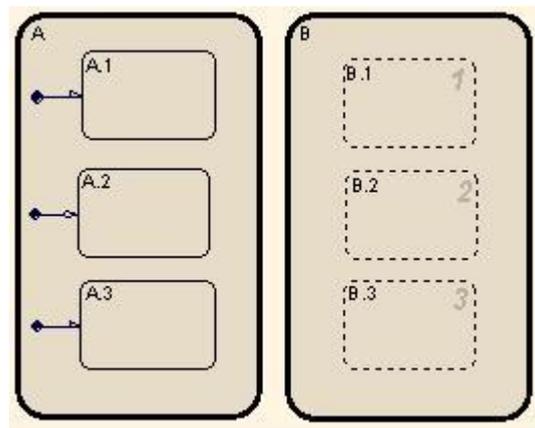


Figura 5.12: Sottosistemi esclusivi e sottosistemi paralleli.

Eventi impliciti e operatori temporali

Un altro strumento estremamente utile sono gli eventi impliciti: questi consentono, all'entrata o all'uscita da uno stato, o alla generica variazione di una variabile, di generare degli eventi o chiamare delle transizioni direttamente, ovvero senza dover ricorrere a variabili o transizioni specificamente dedite all'operazione. Possono essere combinati in modo molto potente con le azioni

di stato, ovvero azioni eguali a quelle operate dalle transizioni, ma che hanno luogo nel momento in cui lo stato che le contiene si attiva.

Infine restano gli operatori temporali: questi permettono di creare una logica di controllo basata sul tempo, ovvero sul numero di occorrenze di un determinato evento. Tali operatori possono essere utilizzati tanto per controllare una transizione, quanto per determinare l'esecuzione di un'azione di stato. Sono quattro: *at*, *every*, *after* e *before*.

Un piccolo esempio

Infine, vediamo un piccolo esempio di modello Stateflow. La macchina a stati finiti più semplice che possiamo immaginare è un interruttore: le possibilità sono due, acceso o spento. Il nostro interruttore sarà modellato da un diagramma Stateflow costituito da due stati e tre transizioni: avremo lo stato On, lo stato Off, le transizioni che comportano l'alternanza fra i due stati, e la transizione di *default*, che ci indica qual'è lo stato iniziale del nostro sistema interruttore. L'*input* che farà scattare l'interruttore è generato in Simulink tramite una funzione seno. L'evento che genera il cambiamento di stato dell'interruttore è infatti l'intersezione della funzione sinusoidale con l'asse delle ascisse: ogni volta che $\sin(x) = 0$ l'interruttore scatta. Definendo l'ampiezza della funzione possiamo determinare l'intervallo di tempo intercorrente fra uno scatto e l'altro.

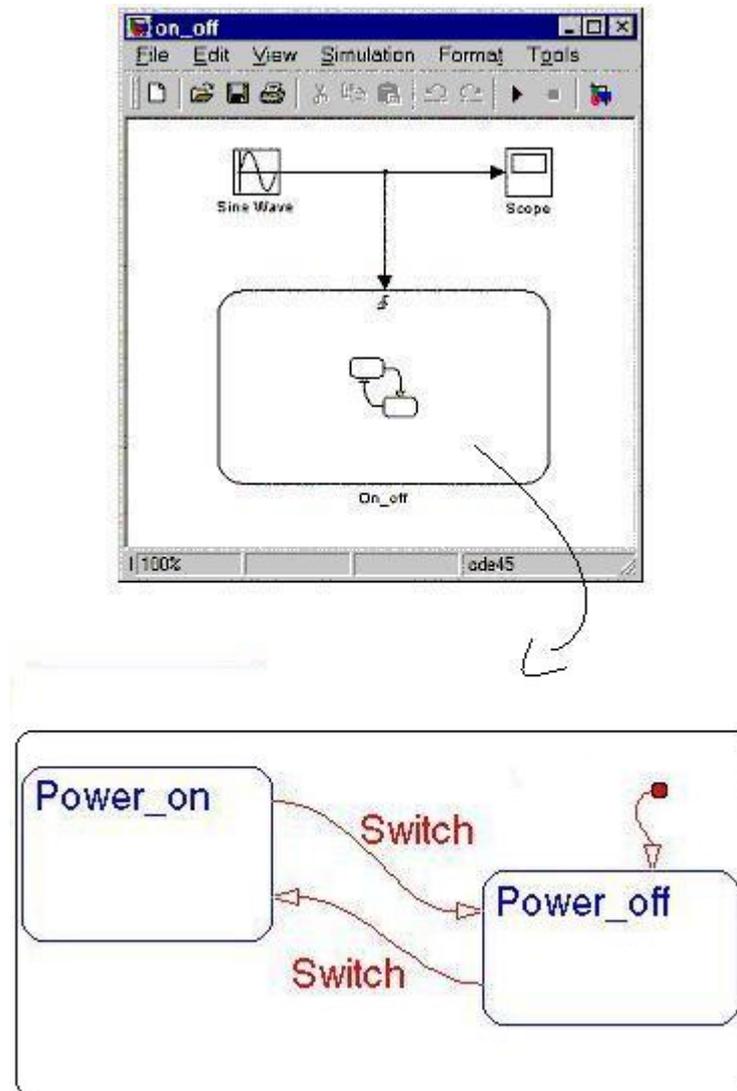


Figura 5.13: Il modello dell'interruttore: in alto l'ambiente Simulink, in basso il diagramma Stateflow.

5.4 Il modello jES in Simulink e Stateflow

La simulazione che creeremo con MATLAB, Simulink e Stateflow si fonda sul modello jES realizzato in *JavaSwarm*: il *java Enterprise Simulator* è un pacchetto volto alla creazione di modelli di simulazione di imprese realmente esistenti, o altrimenti virtuali. Il principio sottostante è che tramite questo modello l'azienda simulata 'funzioni', e non sia piuttosto rappresentata in modo animato sulla base di sequenze predeterminate di eventi: gli eventi accadono in modo indipendente generando interazioni anche imprevedibili fra atti produttivi e unità produttive, proprie della complessità (Terna, 2002).

jES è fondato sulla simulazione ad agenti: nel modello gli agenti sono oggetti, ovvero gli ordini di produzione che devono essere eseguiti e le unità produttive in grado di evadere tali ordini. Ed è questo il sistema adottato per rappresentare l'impresa, fondato su di un dualismo fra quello che deve essere prodotto e chi lo produce: l'interazione fra queste due classi di oggetti genera il comportamento della nostra impresa virtuale. Il formalismo atto a descrivere i beni da produrre è estremamente semplice: si tratta di una sequenza di codici numerici ciascuno dei quali rappresenta un passo nella realizzazione di un bene, merce o servizio. Le sequenze complete formano una 'ricetta' per la produzione di un bene. Le unità produttive sono capaci di svolgere uno o più dei passi di produzione all'interno della ricetta, possono operare come interlocutori del mercato, o svolgere altre azioni o ruoli inerenti l'attività produttiva: ancora, possono essere realtà esterne all'impresa o facenti parte dell'impresa stessa.

L'aspetto fondamentale all'interno di questa prospettiva è come l'informazione relativa ai passi da compiere sia gestita in modo totalmente decentrato: ogni ordine è un modulo che riporta l'intera storia dei passi già effettuati e di quelli ancora da venire per terminare la produzione. Ogni unità produttiva prende in carico un'ordine e lo accoda secondo il metodo FIFO (*First In First Out*) tra i lavori da eseguire: compiute le azioni necessarie, aggiorna lo storico dell'ordine e lo interroga per conoscere la destinazione successiva a cui inviarlo. Si registreranno poi problemi di assegnazione, di lunghezza delle code e ogni altra questione attinente all'ambito logistico della realtà dell'impresa.

E' importante sottolineare la dinamica alla base di questo modello: all'inizio della simulazione la nuova ricetta interroga il mondo, rappresentato dall'inseme delle unità, alla ricerca di qualcuno in grado di lavorarla. Nel momento in cui una unità offre la propria disponibilità, la ricetta si inserisce nella coda di produzione di quest'ultima: nel caso in cui più unità siano disponibili per effettuare il medesimo step, si attivano criteri di scelta. La simulazione è scandita da un'unità temporale che definiremo tic: ad ogni tic le

unità producono un passo all'interno della ricetta, le code vengono aggiornate e le ricette si propagano.

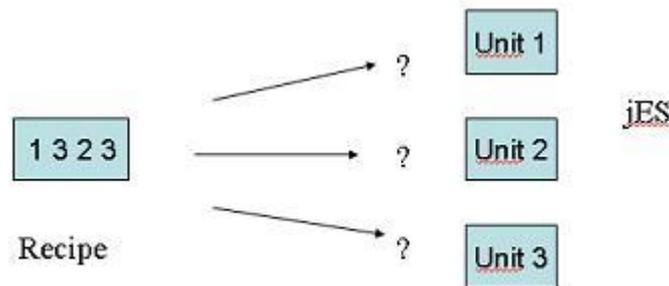


Figura 5.14: La dinamica di jES: la ricetta interroga l'ambiente alla ricerca di un'unità in grado di effettuarne la lavorazione.

jES può funzionare in base a questa struttura poiché è fondato sulla programmazione ad oggetti: la ricetta è un oggetto dotato di determinate caratteristiche e che può compiere delle azioni, qual'è quella di interrogare l'ambiente. Anche MATLAB è in grado di avvalersi di una tecnologia *object-oriented*: Simulink e Stateflow hanno invece una natura ben diversa e sono stati pensati e concepiti secondo un differente schema logico. Ne consegue che il nostro modo di guardare al problema dovrà necessariamente modificarsi per venire incontro all'architettura degli strumenti di cui faremo uso: il che naturalmente, non significa stravolgere l'idea e la forma del modello che abbiamo in mente.

La nostra impresa è indiscutibilmente un modello dinamico, infatti genera un *output* che si modifica nel tempo. Nel contempo è anche riconducibile, senza il bisogno di porre forti restrizioni, ad una macchina a stati finiti: le nostre unità produttive possono essere attive o meno, e produrre oppure no, e anche all'interno di queste e nelle interazioni fra queste, le possibili combinazioni per quanto ampie, sono finite. Sappiamo oramai bene d'altronde, che finito non significa necessariamente determinato. In breve non è fuorviante fare uso di Simulink e Stateflow per realizzare un modello di impresa.

Come detto, in jES la ricetta è contenuta in un'ordine che è un oggetto: questo oggetto si muove nell'ambiente e modifica le proprie caratteristiche in relazione alle operazioni che le unità hanno compiuto su di lui. In Simulink trasferiamo in un vettore questo concetto di oggetto: la ricetta è un vettore. Naturalmente però, un vettore non è in grado di compiere delle azioni, non può interrogare un ambiente o effettuare una ricerca: ecco dunque che sentiamo la necessità di modificare la nostra prospettiva. Nel nostro modello

sarà l'ambiente, costituito dall'insieme delle unità, a guardare nella ricetta e a decidere in base a questa, chi debba farsi carico della lavorazione.

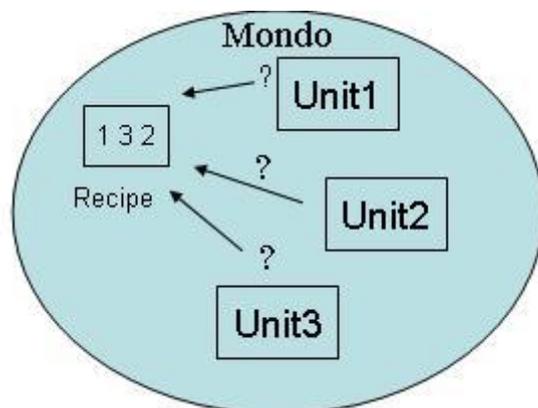


Figura 5.15: La dinamica del modello in Simulink e Stateflow: le unità interrogano la ricetta per verificare se debbano o meno farsene carico.

In verità, questa è l'unica modifica sostanziale alla struttura del modello jES necessaria per reinterpretarlo all'interno del nostro nuovo ambiente di sviluppo. Le unità sono realizzate per mezzo di diagrammi Stateflow: l'ambiente è l'intero modello Simulink, all'interno del quale sono inserite le diverse unità produttive, il generatore degli ordini di produzione, le variabili esogene che influiscono sul modello e i contatori che scandiscono il tempo. Il comportamento del modello può essere analizzato, tanto per mezzo di sonde e strumenti propri di Simulink durante la simulazione, quanto per mezzo delle funzioni di MATLAB in un momento successivo.

Abbiamo precedentemente discusso delle differenze fra la simulazione ad agenti con Swarm e la simulazione detta di processo, adottata da strumenti più intuitivi e tradizionali ma decisamente meno potenti e flessibili: resta da vedere come si collocano in questa prospettiva le applicazioni da noi utilizzate. Simulink e Stateflow sono indubbiamente prossimi, per lo meno da un punto di vista concettuale, alla simulazione di processo: questo fatto influisce tanto sulla natura dei problemi che potremo studiare per mezzo di strumenti del genere, quanto sul modo di raffigurare il problema stesso. Ma i simulatori presenti in MATLAB hanno una caratteristica particolare: godono di una notevolissima flessibilità, che permette di ampliare l'orizzonte delle possibili soluzioni. Il difetto che può essere riscontrato negli strumenti simulativi di tipo tradizionale è infatti quello di essere limitati nella capacità di rappresentare in modo dettagliato i problemi da affrontare, e di offrire in questo

contesto ben pochi gradi di libertà per la progettazione e la specificazione delle caratteristiche del modello.

I nostri strumenti invece si fondano su una solida base logico matematica: questo implica che dovremo essere noi a costruire per intero ciascuno degli elementi che compongono il sistema, e non che potremo trovarli già fatti come nei *software* generalmente utilizzati in ambito aziendale. Ma proprio questa necessità si trasforma, in realtà, in un punto di forza: qualunque oggetto sia necessario, e qualunque operazione debba essere compiuta, possiamo realizzarla secondo le nostre esigenze. E, quel che conta ancor di più, possiamo raggiungere il grado di dettaglio che più ci aggrada non avendo limiti di alcun tipo circa la natura, la forma e le capacità degli elementi che compongono il nostro sistema. Da questa prospettiva pertanto Simulink e Stateflow sono più prossimi a Swarm, che possiamo considerare come lo strumento dotato del massimo grado di flessibilità.

Per mezzo di MATLAB e dei suoi simulatori siamo in grado di creare un sistema e di definirlo con il grado di precisione che desideriamo: possiamo così superare, come auspicato da Gibbons (2000), il tradizionale modello economico dell'impresa rappresentata come una *black box* con in *input* lavoro e beni materiali e in *output* i beni, realizzati per mezzo di una non ben specificata funzione di produzione seguendo il paradigma della minimizzazione dei costi e della massimizzazione del profitto. Con il nostro modello siamo invece in grado di aprire questa *black box* e di trovare all'interno un sistema gerarchico a stati: siamo in grado di individuare i processi che ne determinano il comportamento, e di osservare con diversi gradi di profondità come le varie componenti interagiscano fra di loro dando vita all'andamento globale del sistema. Potremo così cercare di affrontare e comprendere, per quanto possibile, la crescente complessità del sistema e delle interazioni al suo interno. Una volta fatto questo, potremo cercare di modificare il sistema, e analizzarne il comportamento in situazioni non vere ma possibili ottenendo così delle indicazioni e delle informazioni utili a chi deve prendere decisioni.

Capitolo 6

Il modello LABSSES

E' giunto il momento di presentare e analizzare il modello di impresa che abbiamo creato con MATLAB, Simulink e Stateflow. Dapprima assumeremo una prospettiva globale circa la struttura di LABSSES (*matLAB Simulink & Stateflow Enterprise Simulator*), quindi analizzeremo le singole componenti e il loro interagire. Infine ci interesseremo agli aspetti economici e finanziari della vita d'impresa che il modello è in grado di simulare.

6.1 Uno schema generale

Il modello si fonda su di una struttura modulare tale da permettergli di assumere diverse configurazioni: a seconda delle nostre esigenze, possiamo modificare il numero degli elementi che compongono il modello, la sua dimensione, i tempi e alcune delle relazioni fondamentali, specie quelle che coinvolgono le variabili esogene. La struttura è composta da tre elementi fondamentali: i beni da produrre, le unità in grado di produrli e il tempo. A questi si aggiungono altre entità, per così dire astratte, che sono le variabili per mezzo delle quali il modello è in grado di funzionare, e quelle sulle quali il modello influisce con il proprio funzionamento. Al riguardo individuiamo anzitutto tre matrici, la cui natura è quella di variabili globali (sono cioè visibili all'intero modello):

- M_0 , al cui interno sono contenuti gli ordini di nuova generazione e che ancora debbono essere introdotti all'interno dell'ambiente;
- M_s , che contiene i beni semilavorati, ovvero quelli che sono stati già lavorati in parte da alcune unità, ma che devono essere ancora processati da altre unità;
- M_f , la matrice dei prodotti finiti.

Gli ordini di produzione sono costituiti da vettori, al cui interno sono contenuti i passi necessari alla produzione dei beni: i passi sono generati casualmente, naturalmente all'interno di un campione che è quello delle attività produttive che la nostra impresa è in grado di svolgere. Nell'ipotesi più semplice possiamo avere due unità, ciascuna in grado di compiere una sola attività produttiva: avremo così quattro tipi possibili di ordini, ovvero $[1, 1], [1, 2], [2, 1], [2, 2]$. Il modello naturalmente è strutturato per gestire n unità, e gli ordini derivanti da tutte le possibili combinazioni degli n elementi-processi produttivi. All'inizio della simulazione gli ordini vengono generati ed immessi all'interno della matrice M0: da qui verranno inviati all'ambiente costituito dall'insieme delle unità produttive, per essere lavorati.

Le unità produttive sono rappresentate per mezzo di diagrammi Stateflow: il loro compito è quello di ricevere da Simulink l'input costituito dall'ordine di produzione, e di verificare anzitutto se sia di propria competenza o meno. Se l'ordine deve essere prodotto dall'unità in questione, questa se ne fa carico inserendolo in una propria matrice locale secondo il metodo FIFO (*First In First Out*). Se al contrario, l'ordine non deve essere evaso né in tutto né in parte dall'unità che lo sta analizzando, questa lo ignora: il vettore viene così letto dalle unità successive fino a quando non viene caricato dall'unità competente.

Una volta inserito l'ordine nella propria coda di produzione l'unità deve lavorarlo: nel nostro modello la lavorazione è semplicemente un'operazione che comporta l'impiego di unità temporali. Per esempio, l'ordine $[1, 2]$ comporta l'impiego di una unità temporale da parte dell'unità 1 e di un'altra unità temporale da parte dell'unità 2: invece, l'ordine $[1, 1]$ comporta l'impiego di due unità temporali da parte dell'unità 1 per completare il processo. I passi di lavorazione effettuati sono contrassegnati da un segno negativo.

Una volta lavorato l'ordine, l'unità deve rinviarlo all'ambiente e ha due possibilità al riguardo: il bene infatti può essere solo in parte completo, e quindi aver bisogno di essere lavorato da altre unità; altrimenti, il bene può essere finito, e quindi non dover più essere soggetto a lavorazione. Nel primo caso l'unità invierà l'ordine alla matrice Ms, ovvero la matrice dei semilavorati, in modo che possa essere individuato dalle altre unità per i successivi processi. Nel caso invece in cui il bene sia completo viene inviato a MF, la matrice dei prodotti finiti. Da questa strutturazione consegue che le unità non analizzeranno solo l'input derivante da M0, ovvero dalla matrice degli ordini generati, bensì guarderanno anche a Ms per verificare o meno la presenza di beni semilavorati di cui farsi carico. Nella figura 6.1 vediamo lo schema logico su cui si fonda il modello LABSSES.

Le operazioni che le unità devono compiere sono distinte in due momenti che congiuntamente impiegano una unità temporale o 'tic': in un primo

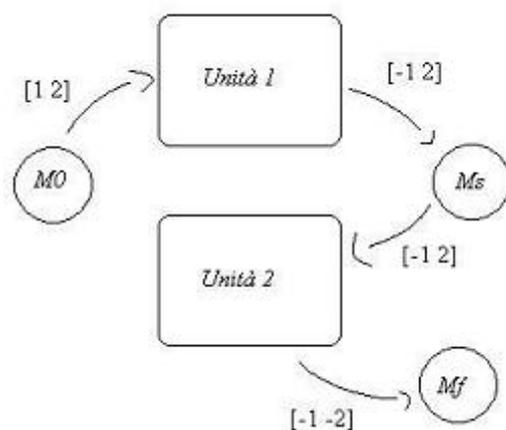


Figura 6.1: La logica di LABSSES

momento tutte le unità producono i passi contenuti nelle ricette, nel momento successivo tutte propagano gli ordini. Il processo di produzione consiste nell'individuazione delle ricette in M_0 e in M_s , e nella lavorazione vera e propria. La propagazione invece consiste semplicemente nell'invio dei beni lavorati a M_s o M_f , nel riordino della matrice locale all'unità e nella copiatura in una matrice globale delle lavorazioni effettuate in modo da avere memoria per il processo contabile.

Il tempo della nostra simulazione può essere raggruppato in giornate: uno o più turni compongono una giornata. Per turno si intende il numero di tic che intercorrono fra il momento in cui si inizia a svuotare M_0 e quello in cui si inizia a riempirla nuovamente: si può per esempio decidere di rigenerare gli ordini appena M_0 è vuota, oppure lasciare che il sistema produca per un certo numero di tic senza ricevere input da M_0 , per poi dotare nuovamente M_0 di ordini di lavorazione. Possiamo per esempio avere un turno composto da 50 tic, con 50 ordini in *input*: in questo caso rigeneriamo gli ordini non appena M_0 è vuota. Ancora, possiamo per semplicità avere una giornata composta da un solo turno: dunque una giornata dura 50 tic.

Quello che è fondamentale è l'ordine con cui avvengono le operazioni che permettono di gestire la simulazione: all'inizio di ogni turno viene riempita M_0 , al termine della giornata viene effettuata la contabilità. Le variabili del modello possono essere gestite e analizzate in due modi: possiamo semplicemente mandarle in output a Simulink, e visualizzarle quindi nella loro dinamica durante la simulazione. Oppure, possiamo salvarle nel *Workspace* di MATLAB e, finita la simulazione, rappresentarle graficamente o manipo-

larle come meglio crediamo. Dopo questo sguardo d'insieme, passiamo ad analizzare con precisione ogni singolo elemento di cui il modello è composto.

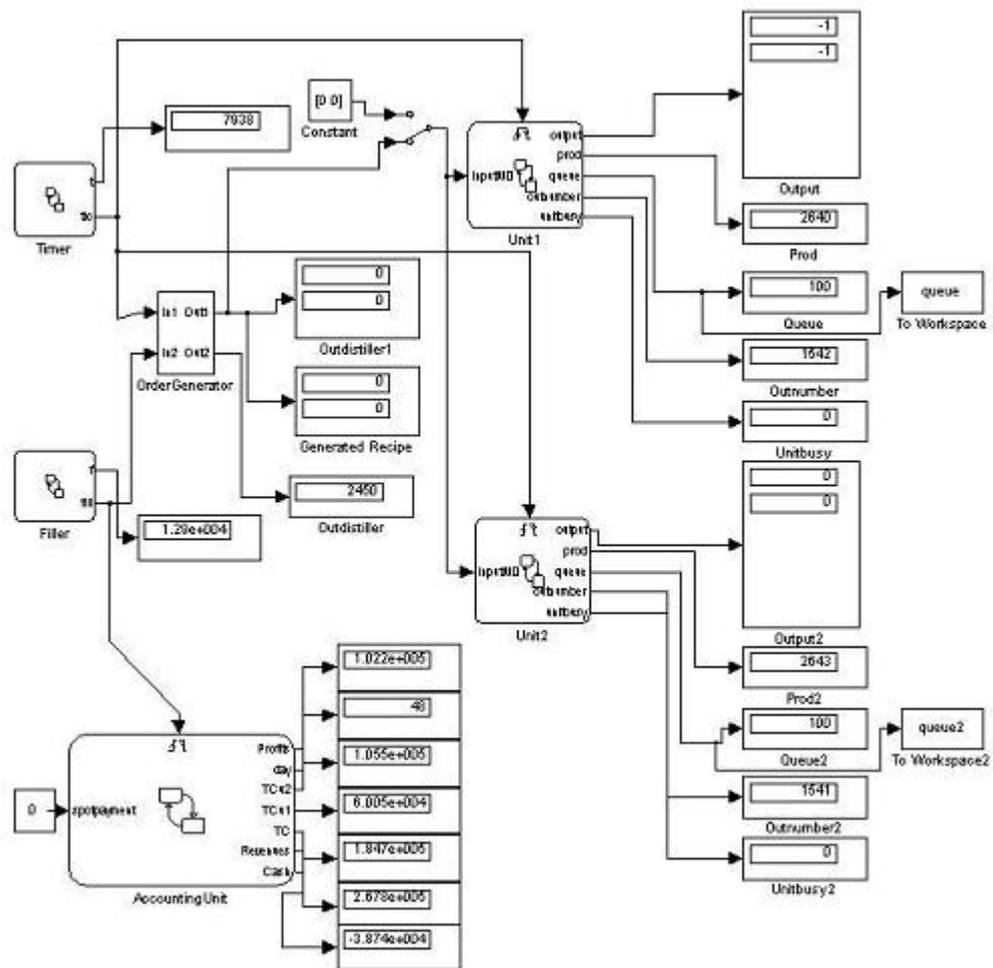


Figura 6.2: Il modello LABSSES

6.2 Il tempo

In LABSSES il tempo è gestito da due diverse entità: il Filler, che produce l'evento 'fill' e il Timer, che produce l'evento 'tic' ma non solo.

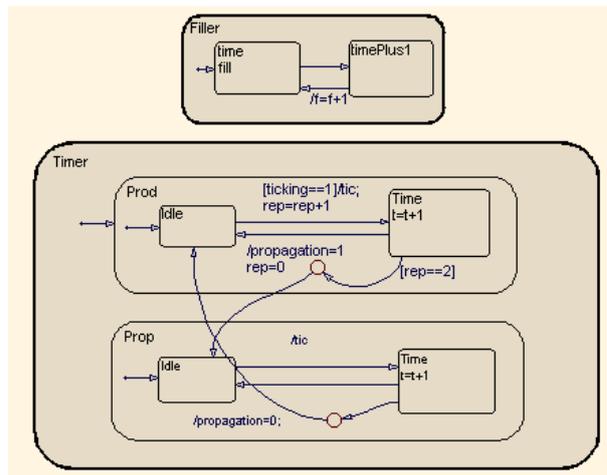


Figura 6.3: Gli stati che controllano la dimensione temporale del modello LABSSES: Filler e Timer

Il Filler è un diagramma estremamente semplice: consta di due stati, uniti da altrettante transizioni, che si attivano e disattivano alternativamente. Ogni volta che si riattiva il primo dei due stati, `Time`, si genera l'evento 'fill': questo evento è quello che guida l'aggiornamento del numero casuale, che rappresenta il passo da produrre, e che conseguentemente scandisce il riempimento di `M0`.

Il Timer si fonda sul medesimo principio ma è leggermente più complesso. Abbiamo detto dell'esistenza di due momenti all'interno dell'unità temporale che scandisce l'attività produttiva: la produzione, e la propagazione. Questa dicotomia è creata e gestita proprio dal Timer. Come detto, il diagramma produce l'evento 'tic': è suddiviso in due sottostati, `Prod` e `Prop`. All'interno di `Prod` viene generato il numero di `tic` necessario all'unità per attivarsi e operare (le unità si attivano in due `tic`, e operano in uno): in questa circostanza la variabile 'propagation' è pari a zero. In questo modo le unità operano verso il sottosistema che contiene i processi di produzione. Raggiunti i tre 'tic', la variabile 'propagation' viene posta uguale a 1, e passiamo al sottostato `Prop`: all'interno di `Prop` sono contenuti i 'tic', per la verità uno solo, necessari alle unità per effettuare i processi di *output*. In questo modo le unità operano verso il sottosistema che contiene i processi di propagazione.

Terminate le operazioni in Prop, la variabile propagation viene nuovamente posta uguale a zero e si riinizia da capo.

Purtroppo abbiamo creato un po' di confusione con la denominazione: abbiamo prima parlato di giornate composte da 50 tic, e ora facciamo riferimento addirittura ad un impiego di tre tic solo per produrre un singolo passo. La questione è presto risolta: il fatto è che i tic che rappresentano le unità temporali per la produzione, ovvero che rappresentano il tempo simulato, sono a loro volta composti da altri tic che costituiscono il tempo della simulazione, ovvero il tempo necessario al modello per compiere tutte le operazioni che intercorrono fra un momento e l'altro. In futuro, ove non sia espressamente specificato, quando parleremo dell'evento 'tic' faremo sempre riferimento al tempo simulato, ovvero ai 50 o più tic che compongono una giornata.

6.3 L'Order Generator

Il generatore di ordini è quello che in Simulink viene definito un *subsystem*: è cioè un blocco composto da altri blocchi. L'Order Generator è costituito al suo interno da un generatore di numeri casuali uniformi, da un blocco *gain*, ovvero un blocco che moltiplica per una costante l'*input*, da una funzione di arrotondamento e da un diagramma Stateflow. Questo blocco riceve in *input* l'evento tic dal Timer, e l'evento fill dal Filler: in *output* produce gli ordini e una variabile che tiene conto del numero di ordini inviati alle unità.

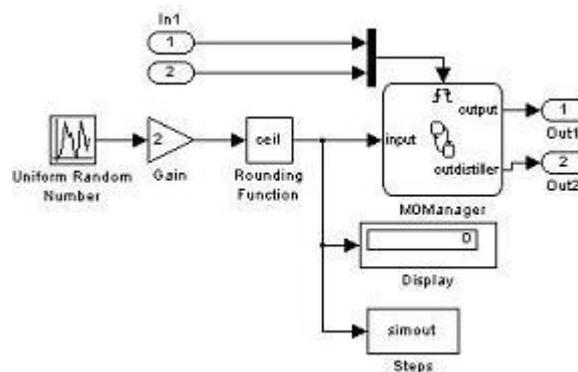


Figura 6.4: L'Order Generator

I numeri casuali sono generati fra 0 e 1: moltiplicandoli per una costante, il cui valore è pari al numero di elementi diversi che desideriamo compongono la nostra ricetta, e arrotondando al primo intero verso più infinito che

incontriamo (funzione *ceil*), otteniamo lo scalare che rappresenta il passo da produrre. Il nostro scalare va in *input* al diagramma Stateflow denominato M0Manager: viene prodotto uno scalare ad ogni evento 'fill'.

Il diagramma che abbiamo all'interno dell'Order Generator ha una funzione estremamente importante: coordina infatti i tempi della generazione degli elementi delle ricette con quelli della simulazione, ma soprattutto crea propriamente gli ordini, inserendo gli scalari in una matrice (M0 appunto) le cui righe rappresentano ciascuna un ordine. L'M0Manager è composto da due sottoinsiemi e gestisce due diverse unità temporali: i sottoinsiemi sono Load e Output. Il problema che questo diagramma permette di risolvere è fondamentale: la questione è che l'aggiornamento che avviene per il numero casuale ha una cadenza differente da quella necessaria per inserire l'ordine completo nell'ambiente delle unità. In pratica, il diagramma deve ricevere gli scalari e inserirli in M0 secondo una determinata cadenza temporale, e inviarli alle unità secondo un'altra: quindi, M0 guarderà al numero casuale in *input* secondo lo scandire del tempo indicato dall'evento 'fill', mentre invierà il proprio *output* secondo lo scandire dell'evento 'tic', che è pure l'unità temporale cui fanno riferimento le unità produttive.

Lo stato Load inserisce gli scalari ad uno ad uno nella matrice M0, le cui dimensioni sono estremamente significative: il numero di colonne definisce infatti la dimensione massima che la nostra ricetta può assumere, mentre il numero di righe è pari al numero di ricette che in ogni turno immettiamo nel sistema.

Lo stato Output invece invia al sistema la prima riga di M0 in ogni unità di tempo: una volta fatto questo, trasla verso l'alto l'intera M0, in modo da riempire nuovamente la prima riga con una nuova ricetta generata da inviare in *output* al tic successivo. Quando questo processo iterativo fa sì che M0 sia vuota, usciamo da Output e rientriamo in Load, per riempire nuovamente M0.

L'M0Manager ha anche un altro compito: dal momento che è il tramite fra le due diverse unità di tempo, si occupa di attivare e disattivare il Timer in base alle indicazioni circa il numero di turni che compongono una giornata, e in relazione all'evento 'fill'. Completati i turni infatti, il nostro diagramma ferma il Timer e attiva la AccountingUnit, che opera la contabilità sulla produzione giornaliera: quando questa ha terminato, l'M0Manager riempie M0 guidato da 'fill', quindi riattiva il Timer e fa riprendere la produzione per la giornata successiva, esattamente da dove era stata interrotta.

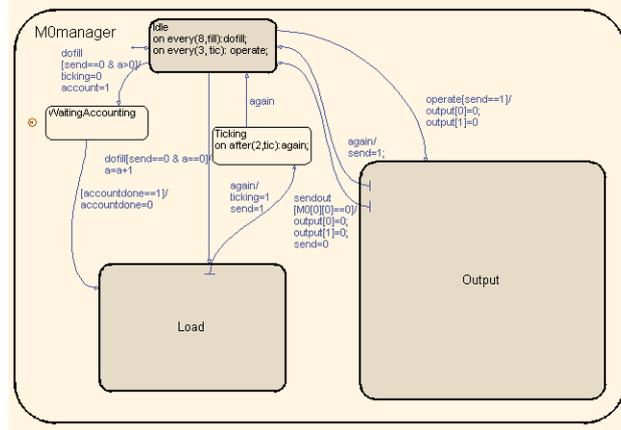


Figura 6.5: Lo stato M0Manager

6.4 Le unità produttive

Le unità di produzione costituiscono il cuore del nostro modello e il terzo elemento del formalismo: abbiamo visto il tempo ovvero la dimensione in cui la produzione avviene, quindi l'espressione dei beni da produrre, e ora si tratta di considerare chi la produzione la effettua.

L'unità produttiva è costituita da due sottostati, Produce e Propagate, a loro volta scomposti: all'interno del primo incontriamo i tre sistemi paralleli FromM0, FromMs e Process mentre il secondo contiene il solo Output. Lo stato Idle è il punto di attivazione dell'unità: da qui, a seconda di quanto indicato dal Timer, l'unità si dirigerà verso lo stato Produce (propagation=0) se saremo nella prima metà della nostra unità temporale, o verso Propagate (propagation=1) se ci troveremo nella seconda metà del 'tic'.

I sistemi contenuti in Produce sono paralleli, poiché debbono operare tutti e tre nell'ambito di una sola attivazione del loro superstato, benché naturalmente in sequenza: la prima operazione compiuta è la lettura di Ms, quindi viene effettuata quella di M0 e infine avviene il processo di lavorazione.

FromMs è a sua volta scomposto in Load e CleanMs: lo stato per prima cosa analizza l'intero contenuto di Ms, al fine di individuare una ricetta di propria competenza. L'individuazione avviene per mezzo di una semplice condizione: avendo assunto per semplicità (ma si può anche decidere di operare diversamente) che le unità siano in grado di processare il passo che le identificano, l'unità 1 cercherà nella ricetta un passo 1, l'unità 2 un passo 2 e così via. Individuata una ricetta contenente passi di lavorazione da effettuare, il sottostato Load carica il vettore nella prima riga vuota della matrice

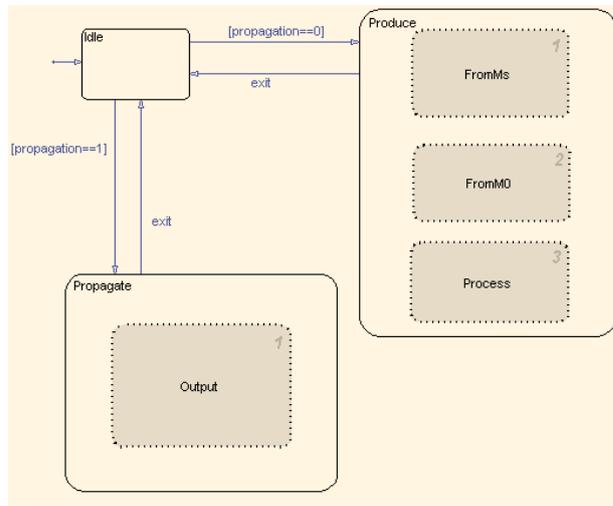


Figura 6.6: L'unità produttiva

locale all'unità, denominata 'recipesUn' dove n è il numero che identifica l'unità. Fatto questo si passa a CleanMs: è infatti necessario eliminare da Ms la ricetta che si è caricata in M0 e riordinare le righe all'interno di Ms. Effettuate queste operazioni, si effettua di nuovo la lettura di Ms per verificare se vi siano altri semilavorati da accodare: se così è, il processo viene ripetuto, altrimenti si passa a FromM0.

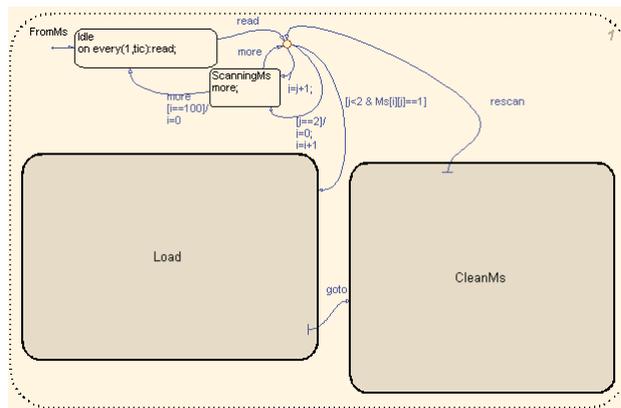


Figura 6.7: Il sottosistema FromMs

FromM0 compie un'operazione analoga, ma differente: anzitutto non deve guardare ad una matrice, ma solo ad un vettore. E' l'Order Generator infatti a gestire M0, e ad inviare alle unità un vettore già pronto per essere accodato:

tion: questo ci permette, una volta rientrati in uno stato, di riattivare come stato iniziale l'ultimo stato in cui siamo stati prima della precedente disattivazione. Ovvero, ci permette di riprendere un processo esattamente dal punto in cui l'avevamo lasciato.¹ Nell'uscire da Process infine, diamo notizia all'Output che dovrà operare successivamente, della presenza (se completati) o meno (se da completare in più 'tic') nella prima riga di RecipesUn di ordini lavorati da inviare all'ambiente esterno.

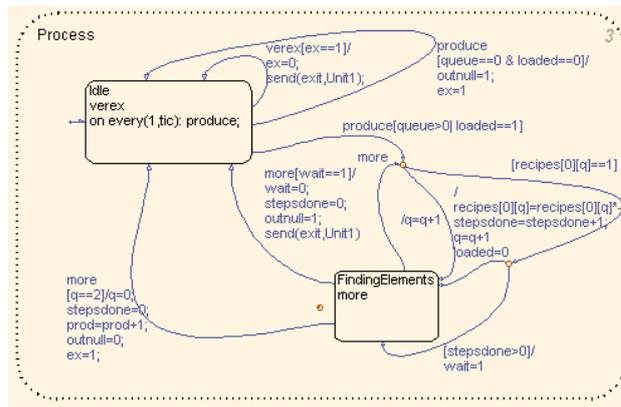


Figura 6.9: Il sottosistema Process

Compite tutte le operazioni inerenti alla produzione, per tutte le unità, il Timer chiama la propagazione: si entra così nello stato Propagate, composto del solo sottostato Output, la cui struttura è piuttosto complessa dovendo farsi carico di diversi compiti. Per prima cosa il Process verifica se vi siano o meno ordini la cui lavorazione è terminata e che siano quindi da propagare: in caso affermativo, tale ordine viene anzitutto copiato in una matrice, detta JobDoneUn, perché se ne tenga memoria a fini contabili. Da qui, si può procedere verso due diverse direzioni: il nostro ordine infatti può essere giunto alla fine del processo produttivo, ovvero può rappresentare un bene finito. In tal caso, riversiamo il vettore in Mf. Altrimenti, l'ordine non è stato ancora interamente completato e rappresenta pertanto un semilavorato: dovremo allora copiare il contenuto della prima riga di RecipesUn in Ms. In entrambi i casi, a tali procedure segue la pulitura della matrice locale (conseguente all'eliminazione della riga contenente il vettore-ordine propagato) e il riordino delle righe.

¹Facciamo uso dell'*History Junction* anche nell'Order Generator, quando sospendiamo il Timer e fermiamo il riempimento di M0 per effettuare la contabilità: finita la contabilità infatti, la simulazione può riprendere da dove l'avevamo interrotta proprio per mezzo di questo oggetto.

All'Output compete un'ultima operazione di estrema importanza, da effettuarsi vi siano o meno ordini lavorati da propagare: tale operazione è l'aggiornamento della variabile coda, che esprime il numero di ordini caricati dall'unità e in attesa di essere evasi. Tale operazione avviene per mezzo della lettura della matrice $RecipesUn$, e del conteggio del numero di righe diverse da zero. La coda viene aggiornata ad ogni 'tic', garantendo così l'informazione necessaria.

Terminata quest'ultima operazione, l'Output chiama la transizione che guida nuovamente verso Idle: da qui, al 'tic' successivo, l'intero processo riprenderà da capo.

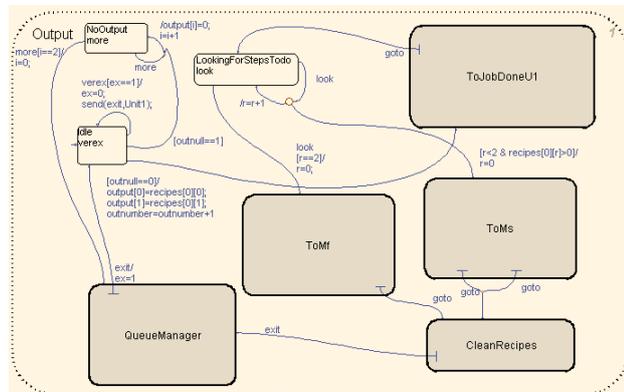


Figura 6.10: Il sottosistema Output

6.5 La Accounting Unit

A questo punto è necessario dotare il nostro modello di una contabilità: al riguardo, ci preoccuperemo tanto degli aspetti economici, quanto di quelli finanziari. Come già accennato, la contabilità avviene alla fine di ogni giornata, ovvero fra la sospensione della produzione per permettere il riempimento di M0, e tale riempimento. E' l'Order Generator ha chiamare la sospensione e a guidare il sistema verso la Accounting Unit: l'intero ciclo di calcolo contabile impiega un evento 'fill'. Terminata questa operazione, riattiviamo l'M0Manager, rigeneriamo nuovamente gli ordini di produzione e infine riattiviamo il Timer e avviamo una nuova giornata produttiva.

Quello che è importante sottolineare è il ruolo che la contabilità ricopre all'interno della nostra simulazione: non si tratta infatti di un'analisi a posteriori sui risultati del modello. Piuttosto, costituisce una prospettiva che

si integra con il modello, generando valori e variabili quantitative che riflettono l'attività di produzione operata dalle unità. Anche la Accounting Unit ha una struttura modulare: può essere modificata semplicemente in modo da adattarsi al resto della struttura. E' composta di nove sottosistemi che intrecciano procedure volte a definire tanto la posizione finanziaria quanto quella reddituale dell'impresa: inevitabilmente infatti, i due aspetti sono fortemente interrelati.

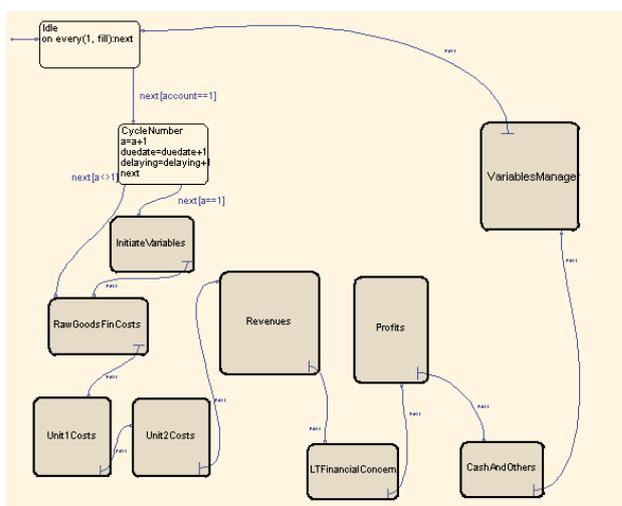


Figura 6.11: La Accounting Unit, cui compete fornire a LABSSES la determinazione delle posizioni economica e finanziaria.

Il primo passo che si compie all'interno di questa unità, e che è operato solo al primo ciclo di calcolo, è la definizione di taluni valori volti a determinare la situazione iniziale dell'impresa, effettuata all'interno dello stato *Initiate Variables*: è così possibile definire

- il costo di produzione delle materie prime per la produzione di ogni singolo ordine (*ProductionGoodCost*). Per semplicità infatti, assumiamo che la necessità di materie prime sia eguale per ogni tipo di lavorazione: il costo per le materie prime relativo ad ogni singolo passo produttivo è pari al costo totale di materie prime per ciascun ordine, diviso per il numero di passi produttivi che compongono la ricetta (*SingleProductionGoodCost*);
- il costo di produzione di ogni singolo passo, diverso per ciascuna unità produttiva (*ProductionCostun*);
- il valore dello sconto per l'acquisto a pronti di materie prime (*Discount*);

- la dimensione dell'anno nell'unità di misura della simulazione. Se per esempio una giornata di simulazione (ovvero il tempo che intercorre fra una generazione degli ordini e l'altra, nel caso via sia un solo turno per giornata) rappresenta un giorno, allora potremo esprimere un anno come composto di 300 giorni. Altrimenti, se la giornata della simulazione rappresenta una settimana, l'anno potrà essere espresso come composto da 50 settimane (*simyear*);
- la durata, nell'unità di misura della simulazione, della dilazione concessa dal fornitore in alternativa al pagamento a pronti (*delay*). Se la giornata rappresenta una settimana, e la dilazione concessa dal fornitore è di un mese, avremo $delay = 4$;
- la dimensione del debito a lungo termine che grava sull'impresa. In prima istanza, possiamo così definire il debito assunto per l'acquisto dei macchinari che operano all'interno di ciascuna unità produttiva (*LTDebts*);
- la durata del periodo di restituzione del debito, in anni e mesi effettivi, variabili necessarie per definire la dimensione totale della rata e i valori della restituzione in c/c capitale e del costo del debito (*years, months*);
- il valore del tasso di interesse(*i*);
- il valore iniziale della cassa (*cash*);
- il valore iniziale del capitale di rischio (*KFullRisk*).

Tutte queste variabili sono, come detto, definite a piacere inizialmente e all'interno dello stato *Initiate*: alternativamente, possono essere definite esternamente come *input* alla *Accounting Unit*, e essere modificate dall'utente anche durante la simulazione.

Aspetti economici

Il versante economico della *Accounting Unit* è volto alla determinazione dell'equilibrio fra i flussi di costi, derivanti dall'acquisizione dei fattori di produzione, e i flussi di ricavi, originati dalla vendita dei beni ottenuti attraverso il processo produttivo di trasformazione.

I costi vengono determinati in due diverse prospettive e derivano dalla contabilizzazione di ogni singolo passo produttivo effettuato dall'impresa, arrivando così a determinare per mezzo di aggregazioni successive la situazione globale. Il primo passo in questa direzione è compiuto dagli stati *UnitnCosts*,

che determinano i costi sostenuti dalle singole unità produttive in relazione al loro operato. Tali costi sono composti da due elementi: un costo fisso (FC_{um}), determinato all'interno di ciascuna unità, che rappresenta i costi di produzione giornalieri delle singole unità; un costo variabile (VC_{um}), dato dalla somma del costo delle materie prime necessarie per la produzione di un bene finito e il costo da sostenere per effettuare un singolo passo produttivo.

I costi variabili vengono conteggiati sulla matrice $JobDoneUn$: tale matrice contiene tutti i passi di lavorazione effettuati dall'unità n nella giornata. Conclusa la lettura della matrice, determiniamo il totale dei costi variabili sostenuti per la sola produzione, i costi totali sostenuti dall'unità nella giornata (flussi), e andiamo a determinare la situazione dei costi dall'inizio della simulazione (stock). Avremo allora, per esempio per l'unità 1:

```

FCu1=1000
SingleStepCostu1=SingleProductionGoodCost+ProductionCostu1

[j<2 & JobDoneU1[i][j]==-1]/
VCu1=VCu1+SingleStepCostu1

TotProductionCostu1=TotProductionCostu1+ProductionCostu1

DailyTCu1=FCu1+VCu1
TCu1=TCu1+DailyTCu1

```

Tali operazioni vengono effettuate da ciascuna delle unità in base alle rispettive matrici $JobDone$. L'insieme dei risultati forniti da ciascuna unità andrà a determinare i costi totali.

Il passo successivo è la determinazione dei ricavi, che avviene però in un'altra prospettiva. Anzitutto, non si guarda più al risultato prodotto dalle singole unità, quanto piuttosto ai beni finiti: la matrice che esamineremo per ottenere informazioni circa la produzione terminata nella giornata è pertanto Mf . Quello che faremo sarà determinare il prezzo di ciascun bene finito: tale prezzo risulterà da un *mark-up* sul totale dei costi variabili sostenuti per la produzione di ognuno dei beni. Modificando il *mark-up* saremo in grado di definire un prezzo in grado di coprire anche i costi fissi, e di offrire un utile. Questa scelta è dettata dall'esigenza di conservare e ottenere il maggior grado possibile di informazione: in questo modo infatti le relazioni di equilibrio fra la composizione di costi, e pareggio (e naturalmente anche profitto) per mezzo dei ricavi, rimane evidente.

I ricavi sono determinati dalla somma dei prezzi di ciascun bene venduto: in genere supponiamo che sia stato venduto il 100% dei prodotti contenuti

in M_f (ma si può anche supporre che ne sia stata venduta solo una parte, e che per esempio la domanda di beni da parte del mercato sia ciclica). Nuovamente determiniamo tanto i ricavi giornalieri, quanto l'andamento dei ricavi lungo tutto l'arco della simulazione. Avremo dunque:

```
[j<2 & Mf[i][j]==-1]/
GoodCost=GoodCost+SingleStepCostu1;
```

```
[j<2 & Mf[i][j]==-2]/
GoodCost=GoodCost+SingleStepCostu2;
```

```
Price=GoodCost*MarkUp
DailyRevenues=DailyRevenues+Price;
Revenues=Revenues+DailyRevenues
```

Abbiamo calcolato dunque i costi sostenuti da ciascuna unità, e i ricavi: prima di passare a determinare i profitti o le perdite realizzate, abbiamo però alcuni problemi di natura finanziaria da considerare.

Aspetti finanziari

L'aspetto finanziario della vita d'impresa ha per oggetto principale la gestione del fattore capitale, tanto nel momento della sua acquisizione, quanto in quello dell'impiego: l'obiettivo fondamentale è quello di conferire liquidità all'impresa in una forma coerente con l'economicità della gestione, vale a dire pronta disposizione di mezzi liquidi per qualunque evenienza, al minor costo possibile.

In relazione a tale obiettivo, i problemi da affrontare hanno una duplice natura. Da un lato, si deve ottenere un'equilibrata struttura tra le fonti di acquisizione di capitale e l'impiego di risorse finanziarie, problematica che coinvolge un'ampia serie di variabili:

- dal lato degli impieghi:
 1. investimenti: crediti, magazzini, macchinari, impianti;
 2. rimborso debiti;
 3. copertura eventuale deficit;
- dal lato delle fonti:
 1. capitale a pieno rischio (conferimenti dei soci e sottoscrizione azioni);

2. capitale di debito;
3. copertura eventuale autofinanziamento.

Dall'altro lato è necessario mantenere un equilibrio fra le entrate e le uscite monetarie:

- dal lato delle entrate:
 1. incassi ricavi di vendita;
 2. apporti di soci;
 3. assunzione di prestiti;
- dal lato delle uscite:
 1. pagamento dei costi della gestione d'impresa;
 2. investimenti effettuati;
 3. rimborso debiti;
 4. rimborso capitale a pieno rischio (pagamento dividendi).

Nel nostro modello possiamo ritrovare numerose di queste problematiche: possiamo definire tanto una dimensione di debito a lunga scadenza, quanto a breve scadenza. Abbiamo entrate e uscite monetarie relative a costi e ricavi. Infine possiamo gestire la situazione patrimoniale relativa al capitale a pieno rischio, come meglio crediamo.

Lo stato `RawGoodFinCosts` compie le prime operazioni all'interno della `AccountingUnit`: in particolare determina la dimensione del pagamento e dei costi finanziari relativi all'acquisto delle materie prime per la produzione. In questa prospettiva, possono darsi due situazioni: possiamo infatti effettuare il pagamento a pronti, e ottenere così uno sconto sul costo delle materie prime acquistate, oppure ottenere una dilazione sul pagamento e conseguentemente perdere lo sconto. La dimensione del pagamento è determinata da due elementi: il costo delle materie prime e il costo del debito di fornitura. Nel caso l'impresa acquisti la merce a pronti, il prezzo iniziale verrà scontato, e avremo allora:

```
[spotpayment==1]/
PGSupplyingDebt=-Discount
```

Nel caso invece in cui si chiedi una dilazione, il costo del debito di fornitura è calcolato per mezzo della seguente formula:

$$costo = \frac{\text{sconto pagamento pronta cassa}}{\text{importo merce a pronti}} \times \frac{\text{anno}}{\text{dilazione}} \times 100$$

dove l'anno e la dilazione sono nell'unità di misura della simulazione (come definito in *Initiate Variables*). Nel nostro codice avremo:

```
[spotpayment==0]/
PGSupplyingDebt=
(Discount/ProductionGoodCost)*(simyear/delay)*100
```

Vediamo un semplice esempio. Immaginiamo che il costo delle materie prime per la produzione di una giornata sia di 750: supponiamo che lo sconto per il pagamento a pronti sia pari a 20. In questo caso la dimensione del pagamento sarà data da:

$$750 - 20 = 730$$

Supponiamo ora l'impresa intenda chiedere una dilazione sull'acquisto della merce: immaginando che la nostra giornata rappresenti una settimana, che vi siano cinquanta settimane in un anno, e che la dilazione concessa sia di un mese, avremo un costo del debito di fornitura pari a

$$\frac{20}{750} \times \frac{50}{4} \times 100 = 33.333$$

La dimensione del nostro pagamento viene inserita nella variabile dei pagamenti dei debiti a breve termine, e sarà nel caso di pagamento a pronti:

```
STIpay=ProductionGoodCost+PGSupplyingDebt
```

$$730 = 750 + (-20)$$

Nel caso di pagamento a termine:

```
STIpay=ProductionGoodCost+PGSupplyingDebt
```

$$783.333 = 750 + \frac{20}{750} \times \frac{50}{4} \times 100$$

La scelta se pagare a pronti o a termine può essere effettuata all'esterno della Accounting Unit, modificando la variabile 'spotpayment' in *input*, anche durante la simulazione. La scelta può però anche essere effettuata endogenamente dal modello, in base alla situazione di cassa, e quindi per esempio decidiamo di pagare a pronti se la nostra cassa è pari al doppio del pagamento da effettuare.

Nel nostro modello è però presente anche una dimensione di debito a lungo termine: è quella che riguarda il costo sostenuto per l'acquisto dei macchinari che operano all'interno delle nostre unità produttive. L'impresa inizia la propria attività produttiva, come accade nella maggior parte dei casi, con il

gravare di un debito a lunga scadenza. Nello stato LTFinancialConcern, la cui attivazione è successiva a quella dello stato Revenues, affrontiamo questo problema, e lo facciamo in due fasi. Dapprima determiniamo, sulla base dell'ammontare del debito, l'importo delle rate mensili da pagare: le rate sono composte da quota capitale e quota per interessi, ovvero il costo del nostro debito. Il montante del debito è calcolato in regime di capitalizzazione composta come:

$$\text{montante} = (1 + \text{tasso } i)^{\text{periodo annuo}}$$

Supponendo un tasso di interesse costante, e il pagamento di rate costanti, avremo per la determinazione di quota capitale e quota interessi:

$$\text{LTDebtsCC} = \text{LTDebts} / \text{months}$$

$$\text{LTDebtCost} = ((\text{LTDebts} * (1+i)^{\text{years}}) - \text{LTDebts}) / \text{months}$$

Una volta determinate le quote, si definisce la rata da pagare e la si inserisce nella variabile dei pagamenti a lungo termine. Avremo:

$$\text{LTDebtsPay} = \text{LTDebtsCC} + \text{LTDebtCost}$$

Supponiamo di avere debiti a lungo termine per 200.000, un tasso di interesse del 9% e un periodo di restituzione del debito di due anni. Avremo allora:

$$\text{LTDebtsCC} = \text{LTDebts} / \text{months}$$

$$\text{Quota capitale} = \frac{200000}{24} = 8333$$

$$\text{LTDebtCost} = ((\text{LTDebts} * (1+i)^{\text{years}}) - \text{LTDebts}) / \text{months}$$

$$\text{Quota interesse} = \frac{((200.000 \times (1+i)^2) - 200.000)}{24} = 1568$$

E la nostra rata sarà:

$$\text{LTDebtsPay} = \text{LTDebtsCC} + \text{LTDebtCost}$$

$$9901 = 8333 + 1568$$

Le rate vengono pagate ogni mese, vale a dire se per esempio la nostra giornata rappresenta una settimana, ogni 4 giornate. Il pagamento avviene fino all'azzeramento della variabile LTDebts: poi naturalmente potranno esserci altri investimenti, che faranno nuovamente salire il debito. Naturalmente il modello è in grado di gestire contemporaneamente più di un piano di rientro in debiti a lungo termine.

Infine, riuniamo i costi di natura finanziaria tanto a breve quanto a lungo termine, e andiamo a determinare i costi finanziari giornalieri e il totale dei costi finanziari:

$$\text{DailyFinCosts}=\text{LTDebtCost}+\text{STDebtCost}$$

$$\text{FinCosts}=\text{FinCosts} + \text{DailyFinCosts}$$

Determinazione delle posizioni economica e finanziaria

Possiamo a questo punto definire dapprima la posizione economica, e in seguito la posizione finanziaria, dell'impresa. Operiamo per mezzo di due stati, iniziando da quello denominato Profits. Il primo passo è la determinazione dei costi globali dell'impresa, ovvero la somma dei costi sostenuti dalle singole unità produttive. Avremo:

$$\text{VC}=\text{VCu1}+\text{VCu2}$$

$$\text{VCpay}=\text{TotProductionCostu1}+\text{TotProductionCostu2}$$

$$\text{DailyTC}=\text{DailyTCu1}+\text{DailyTCu2}+\text{DailyFinCosts}$$

$$\text{TC}=\text{TC}+\text{DailyTC}+\text{DailyFinCosts}$$

Una volta ottenuto il totale dei costi giornalieri, possiamo ricavare tanto i profitti (o le eventuali perdite) maturati nella giornata produttiva, quanto la posizione economica dell'impresa dall'inizio della simulazione:

$$\text{DailyProfit}=\text{DailyRevenues}-\text{DailyTC}$$

$$\text{Profits}=\text{Profits}+\text{DailyProfit}$$

E' molto interessante verificare anche la liquidità della nostra impresa, nonché la situazione patrimoniale e quella finanziaria: queste operazioni sono effettuate dallo stato CashAndOthers. La liquidità, lo abbiamo detto in precedenza, risulta dalle opposte posizioni di entrate e uscite monetarie. Nelle entrate monetarie inseriamo i soli ricavi: non consideriamo, anche se potremmo farlo senza alcuna difficoltà, l'ipotesi di apporti di soci a fondo perduto o di finanziamenti. Le uscite monetarie invece, risultano dalla somma di più elementi che abbiamo già definito in precedenza: i pagamenti dei debiti a lungo termine, i pagamenti dei debiti a breve termine, i pagamenti dei costi fissi giornalieri sostenuti per la produzione, nonché il pagamento dei relativi costi variabili. La situazione di cassa giornaliera risulterà dalla differenza fra entrate e uscite: naturalmente determiniamo anche la posizione a partire dall'inizio della simulazione. Pertanto:

$$\text{DailyPayments}=\text{LTIpay}+\text{STIpay}+\text{FC}+\text{VCpay}$$

$$\text{DailyCash}=\text{DailyRevenues} - \text{DailyPayments}$$

$$\text{Cash}=\text{Cash}+ \text{DailyCash}$$

Infine possiamo definire, con cadenza almeno trimestrale, la situazione del capitale di rischio dell'impresa, come risultante del valore iniziale del capitale di rischio e dell'eventuale copertura di perdite, o dell'aumento a seguito di

patrimonializzazione dei profitti. L'ipotesi fatta è che il 50% dei profitti venga patrimonializzato, o viceversa che la metà delle perdite vengano ridotte, e il restante 50% venga pagato come dividendo ovvero esca definitivamente dall'impresa, o altrimenti sia lasciato a perdita d'esercizio:

```
Autofin=Profits*0.5
KFullRisk=KFullRisk+Autofin
Dividends=Profits-Autofin
```

Con questo si concludono le operazioni economico-finanziarie, ma la AccountingUnit deve svolgere ancora un compito: ad operare in questo caso è l'ultimo stato, il VariablesManager. Questi anzitutto azzerava le matrici *JobDoneum*, contenenti i passi di produzione effettuati dalle rispettive unità nella giornata: in questo modo le matrici sono pronte per essere riutilizzate successivamente, e non si incorre nell'errore di contabilizzare più volte il medesimo passo. L'ultima operazione è quella di copiare tutte le variabili economiche e finanziarie che abbiamo fin qui creato, in vettori relativi denominati con il nome della variabile preceduto dal suffisso *Trend* (es. *TrendProfits*, *TrendDailyProfits*): tale operazione si rende necessaria per tenere memoria di quanto contabilizzato e calcolato (che nella giornata successiva verrà inevitabilmente sovrascritto), in modo da poter ricostruire alla fine della simulazione l'andamento nel tempo di ogni singola variabile, tanto per mezzo dell'analisi dei dati quanto per mezzo della loro rappresentazione grafica.

Fatto questo, viene posta a zero la variabile 'account', che ha guidato il sistema alla AccountingUnit, posta pari a 1 la variabile 'accountdone', e il sistema torna verso l'Order Generator: gli ordini vengono nuovamente generati, la matriceM0 nuovamente riempita, il Timer riattivato e la produzione riavviata per la giornata successiva.

6.6 I risultati della simulazione

Dopo aver descritto il modello, passiamo all'ultima fase che è quella della simulazione vera e propria e dell'analisi dei risultati offerti. Anzitutto occorre fornire un valore iniziale ad alcune delle variabili, in modo da definire il quadro di partenza entro il quale il nostro modello deve operare. Un esempio può essere il seguente:

```

SingleProductionGoodCost= 15/2;
ProductionGoodCost= 15*50;
Discount=20;
simyear=48;
delay=4;
ProductionCostu1=10;
ProductionCostu2=20;
LTDebts=200000;
years=2;
months=years*12;
i=0.09;
Cash=50000;
LTInvestments= 300000
KFullRisk=300000-100000
FCu1=500
FCu2=1000
Markup=3

```

Consideriamo dunque che ognuna delle giornate della simulazione sia composta da un solo turno, che la durata del turno corrisponda al periodo che intercorre fra un riempimento e l'altro della matrice M_0 , e che la 'giornata' rappresenti una settimana di tempo simulato: un anno è composto di 48 settimane. Abbiamo due unità produttive, la 1 in grado di svolgere il passo 1, la 2 in grado di svolgere il passo 2: siamo dunque in grado di produrre quattro diversi tipi di beni.

A partire da questa situazione iniziale, vediamo come si comporta il modello. I primi grafici che analizziamo sono quelli relativi all'andamento economico: rappresentiamo l'evoluzione della situazione dal momento iniziale e l'evoluzione giornaliera di tre variabili: ricavi, costi totali e profitti.

I due grafici mostrano la relazione che intercorre fra le tre variabili: in alto abbiamo i ricavi, nel mezzo i costi, in basso i profitti. La nostra impresa genera profitti ogni settimana ed è sempre in crescita: questo perché supponiamo che tutti i nostri beni vengano acquistati dal mercato. Possiamo però introdurre con estrema facilità una domanda non in grado di assorbire per intero la nostra produttività: sarà sufficiente moltiplicare per un fattore

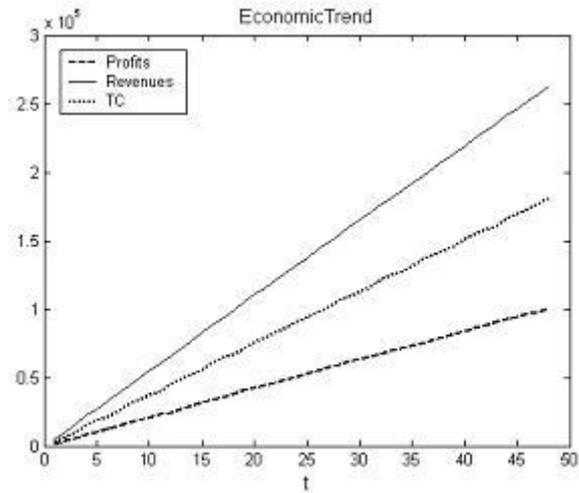


Figura 6.12: L'evoluzione economica dell'impresa dal momento iniziale.

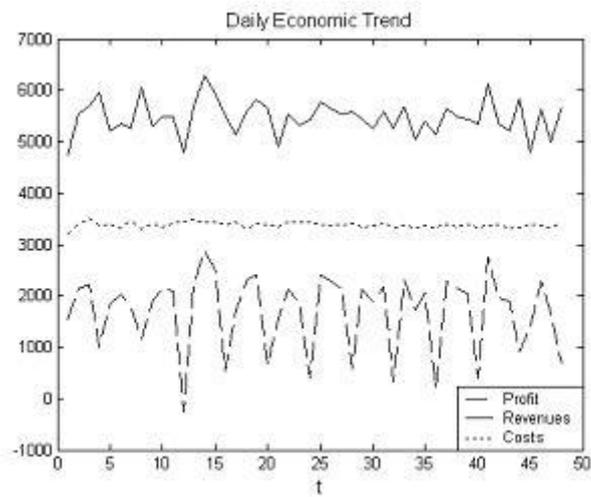


Figura 6.13: L'evoluzione economica giornaliera dell'impresa.

minore di uno il valore del prezzo di vendita totale calcolato su M_f . Ancora più interessante sarà far oscillare tale valore, per esempio moltiplicandolo con una funzione seno dal periodo molto ampio, in grado di simulare l'andamento ciclico del mercato.

Con riguardo alla nostra simulazione è interessante notare la relazione che intercorre fra profitti e costi finanziari: questi ultimi vengono sostenuti una volta al mese, cadenza con la quale viene ripagato il debito a lungo termine sull'acquisto dei macchinari, e con la quale vengono saldati i debiti di breve periodo con i fornitori di materie prime. A fine mese, i costi finanziari che sono pari a zero nei periodi restanti, mostrano un picco: a tale picco corrisponde una caduta dei profitti, come mostrato in figura 6.14.

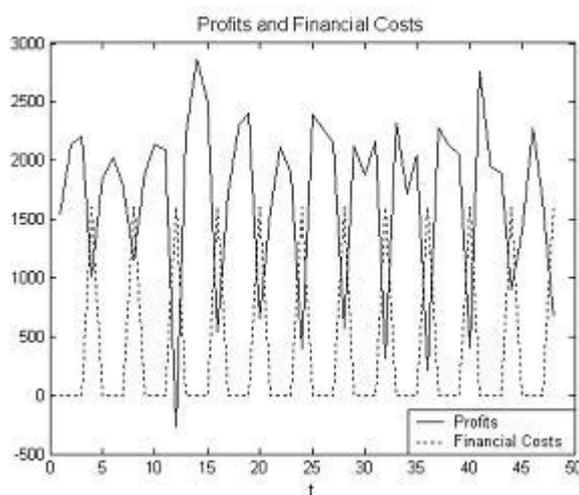


Figura 6.14: La relazione fra profitti e costi finanziari.

Possiamo poi evidenziare, nelle figure 6.15 e 6.16, la composizione e l'evoluzione dei costi totali di produzione sostenuti dall'impresa: scomponiamo il valore totale nei valori totali per ciascuna unità, e ne evidenziamo l'andamento dall'inizio della simulazione e quello giornaliero. E' altrettanto interessante il grafico in figura 6.17 che mostra l'andamento, sempre per ciascuna unità, dei costi processi di produzione dei singoli beni (ovvero senza tener conto del costo delle materie prime). Le distanze fra le variabili sono coerenti con quanto abbiamo stabilito all'inizio: l'unità 2 sostiene sempre costi superiori poiché superiori sono tanto i propri costi fissi, quanto i costi variabili per i processi produttivi. Sono invece eguali per entrambe le unità i costi per le materie prime, i quali non dipendono dal passo produttivo effettuato.

La somma di questi costi rientra nei pagamenti che l'impresa deve effettuare alla fine di ogni settimana, ed è rappresentata in figura 6.18. In figura 6.19 sono rappresentati tutti i pagamenti: quelli per i debiti a lungo e breve termine, quelli per i costi fissi e quelli già citati relativi ai costi variabili di produzione. Il picco rappresenta i pagamenti di natura finanziaria con scadenza mensile.

I pagamenti naturalmente influiscono sulla cassa e l'andamento nel nostro modello mostra come le entrate monetarie, costituite dai soli ricavi, non siano in grado di coprire le uscite (figura 6.20): a gravare in particolar modo è il peso del pagamento dei debiti a lungo termine, che determinano ad ogni scadenza una repentina contrazione della liquidità che presenterebbe altrimenti un *trend* positivo, come si vede chiaramente in figura 6.21. Una soluzione potrebbe essere quella di rinegoziare il debito, che, coerentemente con le nostre aspettative, si riduce ad ogni scadenza (figura 6.22).

Infine possiamo delinearne l'andamento delle code nelle unità produttive (figura 6.23): il trend, pur se oscillante, è chiaramente crescente. Le indicazioni che il grafico mostra orienterebbero verso la scelta di aumentare il numero di unità in grado di effettuare ciascun passo produttivo. Ma vi è anche un altro fattore da considerare. Nella nostra simulazione abbiamo deciso di far coincidere l'inizio e la fine di un turno di produzione, con il riempimento e lo svuotamento di M0: se invece la produzione continuasse anche dopo che M0 è stata svuotata, senza nuovi beni in *input* al sistema le code verrebbero smaltite se non in tutto, almeno in parte. Dunque è anche importante valutare la durata della produzione per così dire libera, ovvero senza l'ingresso di nuovi ordini da evadere.

Tutti questi risultati derivano in parte dalla struttura di LABSSES, e in parte dalle condizioni iniziali poste: ma modificando le variabili esogene (sia prima che durante la simulazione) possiamo modificare tanto il comportamento del modello quanto i risultati che questo è in grado di offrirci, e avere così la possibilità di studiare le reazioni del sistema.

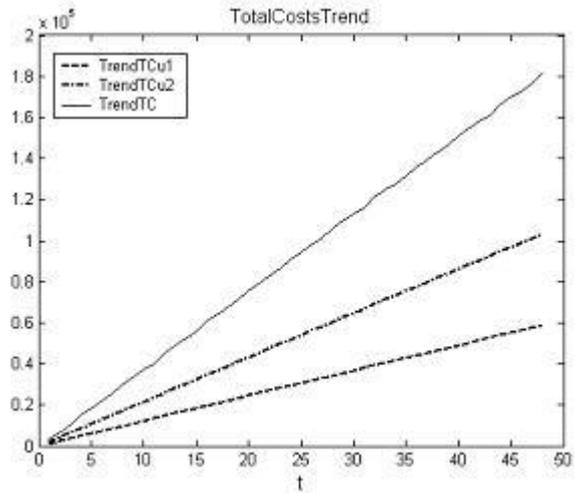


Figura 6.15: La composizione dei costi dell'impresa.

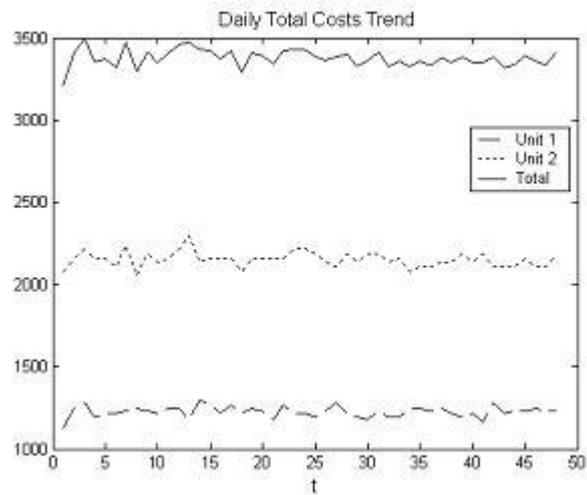


Figura 6.16: L'andamento giornaliero dei costi dell'impresa.

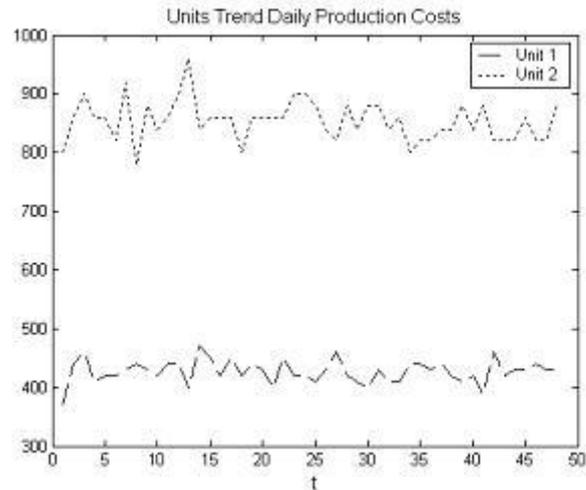


Figura 6.17: L'andamento giornaliero dei costi per il processo produttivo sostenuti da ciascuna unità.

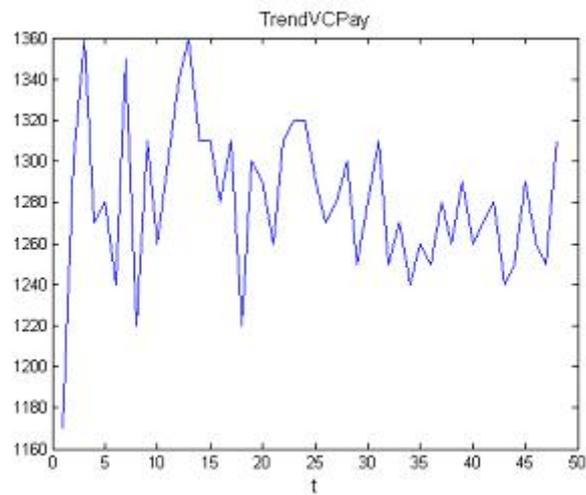


Figura 6.18: L'andamento dei pagamenti dei costi per il processo produttivo.

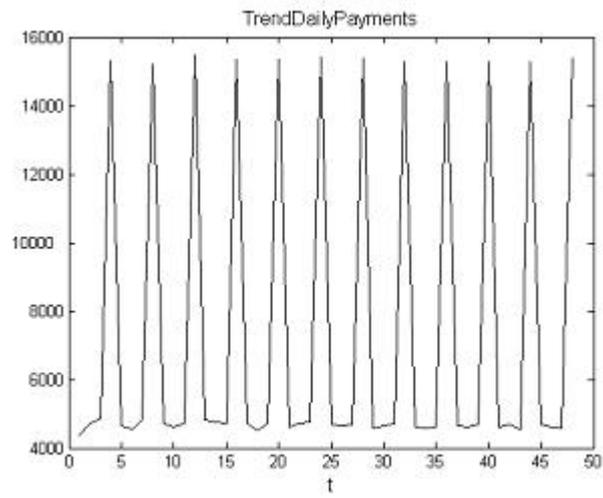
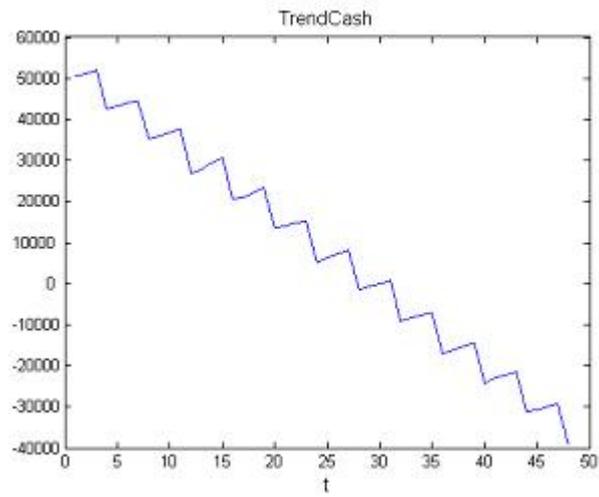


Figura 6.19: L'andamento giornaliero dei pagamenti.

Figura 6.20: Il *trend* decrescente della liquidità.

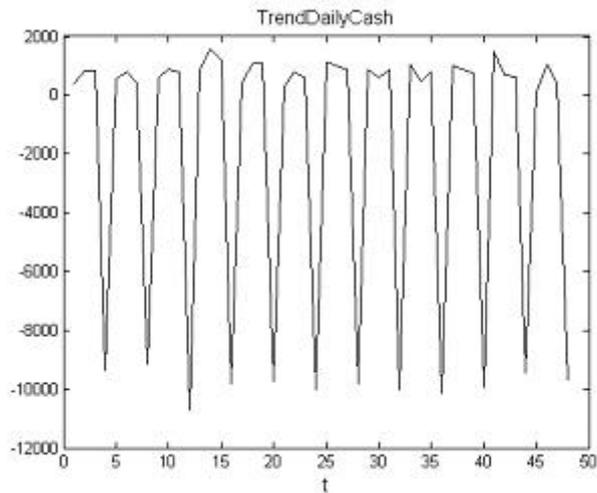


Figura 6.21: L'andamento giornaliero della cassa: i picchi negativi corrispondono al pagamento dei debiti a lungo e breve termine.

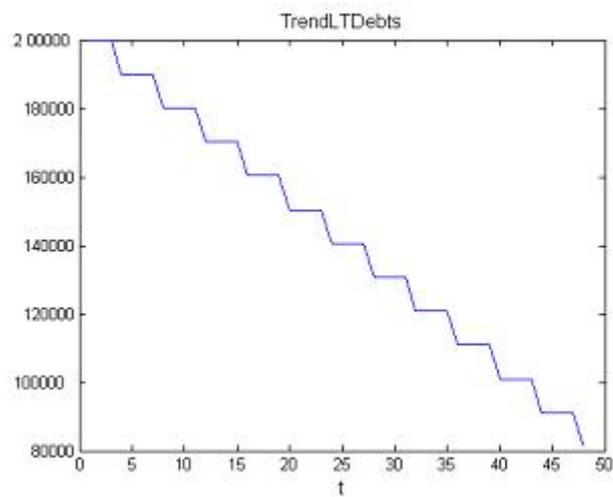


Figura 6.22: La graduale contrazione del debito a lungo termine.

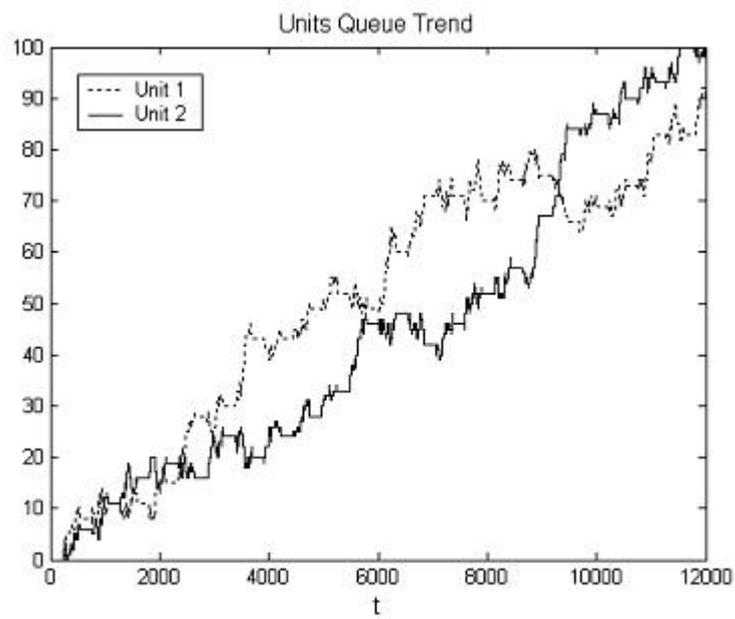


Figura 6.23: L'evoluzione delle code di produzione di ciascuna delle unità. Il tempo è espresso in 'tic' (tempo della simulazione), poiché sono questi che scandiscono l'aggiornamento delle code.

Riflessioni e considerazioni conclusive

Oggetto del nostro studio è stata l'economia come fenomeno complesso. Anzitutto abbiamo definito il concetto di complessità: abbiamo visto come a seguito di questa il comportamento di un sistema possa divenire imprevedibile, e come lo studio delle singole variabili che lo compongono non sia in alcun modo in grado di fornire una spiegazione esauriente circa il comportamento del sistema nel suo complesso.

Attraverso questa via siamo giunti alla conclusione che essendo molti sistemi, e in particolar modo quelli sociali, estremamente ricchi di connessioni dinamiche, il variare di un singolo fattore provoca la variazione immediata di altri fattori percepibili, e di molti altri magari non individuabili immediatamente e con precisione: ne consegue che non è accettabile una semplificazione secondo cui nell'analisi i fattori debbano essere variati uno alla volta.

L'economia appartiene a quella categoria di sistemi in cui tale metodo è inapplicabile: è infatti il risultato delle scelte e delle decisioni dei singoli individui, che interagendo danno vita ad una serie infinita di diverse configurazioni. Tale prospettiva ci suggerisce così di accantonare l'idea secondo cui il sistema economico sia il risultato di un disegno predefinito, pensato e pianificato dalla mente umana. Le istituzioni sociali infatti, piuttosto che esistere ed essere state create solo per il perseguimento di determinati fini, risultano da un processo di selezione che ha operato in modo da preservare quelle che garantiscono soluzioni migliori e più efficienti.

Ne consegue che l'ordine del sistema (ove per ordine si intende una configurazione fra elementi e relazioni, tale da consentire un ragionevole grado di prevedibilità dei comportamenti) risulta endogenamente tramite il processo evolutivo, piuttosto che per mezzo di forze esterne in grado di plasmare e controllare il sistema esogenamente.

Tuttavia è evidente che nella società umana coesistano tanto l'ordine spontaneo, che si manifesta nella struttura della stessa società, del sistema economico e del mercato, quanto le organizzazioni, quali le imprese. Il fatto

è che per molti obiettivi di portata relativamente limitata l'organizzazione è il metodo più potente di coordinazione: al contrario invece, più espandiamo i nostri orizzonti più l'organizzazione perde efficacia, e il sistema di veicolazione delle informazioni diviene inadeguato. A questo punto, solo il mercato e la struttura dei prezzi possono fornire al sistema il necessario grado di coordinazione.

L'imprenditore è colui che all'interno del mercato ricerca, analizzando le informazioni offerte dalla struttura dei prezzi, le possibilità di profitto esistenti: l'idea è che, se è in grado di ottenere tutta l'informazione di cui necessita, allora egli sarà certamente in grado di realizzare un profitto.

Ma in realtà l'informazione che l'imprenditore può raccogliere non è mai sufficiente a permettergli di muoversi con certezza all'interno del sistema: anzi, le informazioni di cui può disporre lasciano ampio spazio all'imprevedibilità del comportamento del sistema. Inoltre, le stesse azioni compiute dall'imprenditore modificano il quadro delineato precedentemente, e implicano la necessità di nuove informazioni per poter comprendere le modificazioni intervenute: in altre parole, il manifestarsi della complessità limita la capacità previsionale degli individui, aumentando smisuratamente il grado di informazione necessaria per operare con certezza e rendendo tale evenienza alquanto improbabile.

In questa prospettiva la simulazione può essere un valido strumento per raccogliere e fornire informazione. Anzitutto per costruire il modello di una realtà, occorre conoscere tale realtà: questo il più delle volte implica la necessità di portare a galla quello strato di conoscenza tacita che caratterizza inevitabilmente ogni processo dell'agire umano (coscìo o inconscìo che sia). Pensare un sistema per ricrearlo è già un buon metodo per raccogliere informazione. In secondo luogo, una volta che il modello è stato realizzato sarà questo a fornirci, nei limiti delle sue potenzialità, ulteriori informazioni circa il modo in cui il sistema si comporta e gli elementi interagiscono fra di loro. Avremo inoltre la possibilità di verificare le reazioni del nostro sistema, a modificazioni tanto nella struttura interna quanto nell'ambiente circostante.

MATLAB, Simulink e Stateflow costituiscono in questa prospettiva un valido strumento: la flessibilità che sono in grado di offrire, le capacità logiche e matematiche, unite alla rappresentazione grafica dei sistemi, consentono di comprendere e gestire in maniera chiara i processi che intercorrono fra i diversi elementi in gioco.

LABSSES, fondato sulla formalizzazione del modello jES è, pur nella sua semplicità, un modello estremamente versatile e nel contempo aderente alla realtà: costituisce una valida rappresentazione dei processi che possono formarsi all'interno dell'impresa e inoltre, consente di aprire quella scatola nera che in genere descrive l'impresa, permettendo di comprendere come

possano generarsi quei risultati che in genere siamo solo in grado di vedere come effetti dalla dubbia causa.

Possiamo dunque pensare di avere uno strumento in più, quello della simulazione e dei modelli al calcolatore, per cercare di comprendere quali siano effettivamente le dinamiche dettate dalla complessità all'interno del sistema economico, o all'interno di un qualunque altro sistema complesso.

Bibliografia

Enciclopedia Garzanti di Filosofia. Garzanti, 1993.

Nicola Abbagnano. *Dizionario di Filosofia*. UTET, 1960.

Armen Alchian. Uncertainty, evolution and economic theory. *The Journal of Political Economy*, 58(3):211–221, June 1950.

W. Ross Ashby. *Introduzione alla Cibernetica*. Einaudi, 1971.

Robert Axtell and Joshua Epstein. Agent-based modeling: Understanding our creations. *The Bulletin of the Santa Fe Institute*, Winter 1994.

Ronald Coase. The nature of the firm. *Economica*, 1937.

Paul Davies. *Il cosmo intelligente*. Mondadori, 1989.

Ludovico Geymonat. *Storia del pensiero filosofico e scientifico*. Garzanti, 1970.

Robert Gibbons. Why organizations are such a mess (and what an economist might do about it), 2000. Bozza reperibile presso <http://web.mit.edu/rgibbons/www/>.

Friedrich Hayek. *Individualism and Economic Order*. Chicago University Press, 1948.

Friedrich Hayek. *Law, Legislation and Liberty Vol I: Rules and Order*. Chicago University Press, 1973.

Friedrich Hayek. *Law, Legislation and Liberty Vol II: The Mirage of Social Justice*. Chicago University Press, 1976.

Friedrich Hayek. *Law, Legislation and Liberty Vol III: The Political Order of a Free People*. Chicago University Press, 1979.

- Israel Kirzner. Entrepreneurial discovery and the competitive market process: an austrian approach. *Journal of Economic Literature*, XXXV:60–85, March 1997.
- E.N. Lorenz. Deterministic nonperiodic flow. *Journal of Atmospheric Science*, 20:130–141, 1963.
- Nelson Minar, Roger Burkhart, Chris Langton, and Manor Askenazi. The Swarm simulation system: a toolkit for building multi-agent simulations. *Sante Fe Institute*, June 21, 1996.
- Domenico Parisi. *Simulazioni*. Il Mulino, 2001.
- David Ruelle. *Caso e Caos*. Bollati Boringhieri, 1992.
- Robert Shannon. *Systems Simulation - The Art and Science*. Prentice-Hall, 1975.
- Herbert Simon. *Informatica, direzione d'azienda e organizzazione del lavoro: la nuova scienza delle decisioni manageriali*. Franco Angeli, 1979.
- Herbert Simon. *Le scienze dell'artificiale*. Il Mulino, 1984.
- Herbert Simon. Organizations and markets. *Journal of Economic Perspectives*, 5(2):25–44, Spring 1991.
- Pietro Terna. Simulazione ad agenti in contesti di impresa. *Sistemi Intelligenti*, XIV(1):33–51, 2002.
- Ludwig von Bertalanffy. *La Teoria Generale dei Sistemi*. ISEDI, 1971.
- Ludwig von Mises. *Human Action*. Yale University Press, 1949.
- Conrad H. Waddington. *Strumenti per pensare*. Mondadori, 1977.
- Bernard Walliser. *Systèmes et Modèles*. Editonsu du Seuil, 1977.
- Norbert Wiener. *Introduzione alla Cibernetica*. Boringhieri, 1966.
- Norbert Wiener. *La Cibernetica*. Il Saggiatore, 1968.