



Economia Aziendale Online

Economia Aziendale Online

Business and Management Sciences
International Quarterly Review

*SISTEMI COMBINATORI
L'ORDINE NEL COMPORTAMENTO COLLETTIVO*

Piero Mella

Pavia, Dicembre 2017
Vol. 8 - N. 4/2017

www.ea2000.it
www.economiaaziendale.it



PaviaUniversityPress

DOI: 10.13132/2038-5498/8.4.205-225

Sistemi Combinatori L'Ordine nel Comportamento Collettivo

Piero Mella

Abstract

Questo studio si propone di presentare la Combinatory Systems Theory, una semplice teoria che è in grado di descrivere, interpretare e spiegare molti fenomeni collettivi e loro effetti osservabili. La Teoria dei Sistemi Combinatori è stata recentemente formalizzata dal mio volume *Combinatory Systems Theory*, edito da Springer nel 2017. Ad esso mi sono in parte ispirato nello svolgimento di questo paper. Un "Sistema Combinatorio" è una "collettività" (pluralità, popolazione, specie, gruppo ecc) di agenti relativamente simili (uomini, animali, batteri e così via) che producono micro comportamenti e micro effetti relativamente analoghi (dinamiche dei loro micro-stati) osservabili (o definibili). Considerati insieme, i micro comportamenti /effetti producono un macro comportamento emergente (dinamica del macro-stato collettivo), che non è incluso in anticipo nel programma operativo del comportamento degli agenti, ma è invece attribuibile alla "collettività" nel suo complesso, considerata come un sistema unitario. Il macro comportamento collettivo, a sua volta, condiziona o dirige i successivi micro comportamenti degli agenti. Questo rapporto reciproco agenti-collettività è definito "micro-macro feedback" e rappresenta una condizione necessaria e sufficiente per l'esistenza di un sistema combinatorio in quanto garantisce il mantenimento nel tempo del macro comportamento del sistema e aggiorna costantemente i micro comportamenti; quando il sistema si avvia "per caso", "di necessità esso sviluppa e mantiene nel tempo le sue dinamiche, come se una "mano invisibile", una "Autorità Suprema" regolasse tali dinamiche e producesse gli effetti osservabili e i modelli di comportamento. Di fatto, i Sistemi Combinatori sono in grado di produrre molti fenomeni osservabili quattro dei quali sono: l'accumulo di oggetti, la diffusione oggetti, caratteri e funzionalità, il perseguimento o superamento di un limite e il raggiungimento ed il mantenimento di un ordine tra i micro comportamenti degli agenti. Un quinto rilevante effetto, che comprende gli altri, è la dinamica inter-dipendente tra il miglioramento individuale perseguito dagli agenti e il progresso collettivo nello stato generale di una collettività (definito in modi opportuni).

This study aims to present the Combinatory Systems Theory, a simple theory which is able to describe, interpret and explain many collective phenomena and their observable effects. The Combinatory Systems Theory was recently formalized by my book *Combinatory Systems Theory*, published by Springer in 2017. I was partly inspired by it to prepare this paper. A Combinatory System is a "collectivity" (plurality, population, species, group, etc.) of non-organized relatively similar agents (men, animals, bacteria and so on) which produce relatively analogous micro behaviors (changes in micro-states), that lead to observable (or definable) micro effects. Combined together, the micro behaviors/effects produce an emergent macro behavior (changes in the macro-state), which is not included in advance in the operating program of the agents' behavior, but is instead attributed to the "collectivity" as a whole, regarded as a Unitary System (hence the name of Combinatory Systems). This collectivity's macro behavior in turn conditions the subsequent micro behaviors/effects of the agents. This reciprocal agents-collectivity relationship is defined as *micro-macro feedback* and represents a necessary and sufficient condition for a combinatorial system to exist as it guarantees the maintenance over time of the system's macro behavior and continuously updates the micro behavior. When the system starts up "by chance", it then maintains its behavior "by necessity", as if an "invisible hand", a Supreme Authority regulated its time path and produced the observable effects and patterns. Combinatory Systems can produce many relevant phenomena four of which are: the accumulation of objects, the spread of features or information, the pursuit or exceeding of a limit, and the attainment and maintenance of an order among the agents' micro behaviors. A very

Author: Piero Mella

Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali – Università di Pavia – Italy

www.pieromella.it

E-mail: piero.mella@unipv.it

relevant fifth effect, which includes the others, is the interdependent dynamics of individual improvement and collective progress in the overall state of a collectivity (defined in opportune ways).

Keywords: italiano: dinamiche delle collettività, sistemi combinatori, micro-macro feedback, caso e necessità, sistemi di accumulazione, sistemi di diffusione, sistemi di inseguimento, sistemi d'ordine, sistemi di miglioramento individuale e progresso collettivo, automa combinatorio

Keywords: English: behavior of collectivities, combinatory system, micro-macro feedback, chance and necessity, accumulation systems, diffusion systems, systems of order, systems of pursuit, systems of improvement and progress, combinatory automaton

1 – PARTE PRIMA. TEORIA DEI SISTEMI COMBINATORI

1.1 *Fenomeni diversi*

Da quando Schelling (1978), nel suo famoso *Micromotives and macrobehaviour*, tentò di offrire una spiegazione logica per il macro comportamento collettivo mostrato da agenti intelligenti e da quando Conway scoprì il fantastico mondo di *Life*, descritto e divulgato da Gardner (1970), lo studio e la simulazione del comportamento delle collettività è diventato un fruttuoso campo di ricerca.

In effetti, osserviamo numerosi fenomeni, connessi all'agire di collettività, o popolazioni, di agenti di qualche specie – molte delle quali possono essere osservate in ambito sociale, biologico, politico, economico, aziendale ed organizzativo – che sembrano provocati da una “mano invisibile” che guida i comportamenti *analoghi* di individui *simili* per produrre un *fenomeno emergente* che non può ridursi alla semplice somma di effetti derivanti dai comportamenti individuali ma che deve essere attribuito alle collettività come un tutto e non solo ai singoli agenti che le compongono. Ecco un breve campionario, tratto dal mio libro *Razionalità e libertà nel comportamento collettivo*, edito da FranoAngeli (1999).

Perché si formano i sentieri? Per quale ragione una moda sorge rapidamente e poi, altrettanto repentinamente, scompare? Quante volte ci è capitato di assistere allo scoppiare dell'applauso dopo l'incertezza iniziale, mentre altre volte, nelle stesse condizioni, l'applauso non è sorto? Come giustificare l'insediamento dei nuclei urbani e industriali in aree circoscritte, come per esempio accade nei distretti industriali di Silicon Valley per i chip e di Como per la seta? Perché nella Pavia medievale, in circa 200 anni, sono sorte oltre 150 torri, tutte simili, senza funzione apparente se non quella simbolica? (Mella, 2013), Perché si forma una nuvola di pesci e come si dissolve? Perché in alcuni tratti di autostrada si formano le pericolosissime carreggiate mentre in altri l'asfalto, che pure ha la stessa consistenza, sembra resistere ad ogni sollecitazione? Come nasce una faida? Perché si inseguono i record (il grattacielo più alto, l'aereo più veloce, l'orologio più com-

plicato saranno presto superati). Perché i limiti di velocità ed i divieti di sosta vengono invariabilmente ignorati nonostante una rigida repressione?

Perché in alcuni siti si formano spontaneamente cumuli di immondizia o nuvole di graffiti? Quali meccanismi giustificano il mantenimento degli idiomi e delle inflessioni dialettali anche in aree ristrette? Perché nelle sale in cui sono presenti numerose persone si forma un brusio di fondo che spinge tutti a parlare con voce sempre più alta? Come nasce l'ordine spontaneo nelle sale da ballo quando viene suonato un valzer? E che dire del movimento di un branco di elefanti in fuga, una terribile massa distruttrice? Ma ecco, ancora, il quasi miracoloso comportamento delle formiche che formano lunghe file ordinate o quello delle termiti che, portando ciascuna un granello di sabbia, arrivano a costruire archi perfetti. O, ancora, quali meccanismi sono seguiti dalle ballerine del Can-Can al Moulin Rouge per mantenere l'allineamento?

Si tratta di fenomeni diversi, che sembrano avviarsi in modo casuale per sviluppare un'ineluttabile dinamica, spesso irreversibile, secondo la congiunta azione di caso-necessità, nel senso specificato da Jacques Monod nel suo celeberrimo *Il caso e la necessità* (1976). Ritengo che tali fenomeni, per quando diversissimi tra loro, siano tutti riconducibili ad un unico schema interpretativo, che ho denominato Teoria dei Sistemi Combinatori, che mi sembra in grado di descriverli, interpretarli e spiegarli, insieme con i loro effetti osservabili, come derivanti dalla combinazione di comportamenti individuali (da qui il termine Sistemi Combinatori):

In un modo o nell'altro, siamo obbligati a trattare, in tutti i settori della conoscenza, con delle complessità, con degli “interi”, con dei “sistemi”. E questo implica un riorientamento di base del pensiero scientifico.” (von Bertalanffy, 1971, p. 27).

1.2 – *Guidati da una mano invisibile*

Poiché desidero orientare il lettore alla comprensione della Teoria dei *Sistemi Combinatori*, mi sembra utile iniziare con il riconoscere i caratteri comuni di tutti i fenomeni ascrivibili alle collettività malgrado le differenze specifiche.

Innanzitutto, è immediato osservare che essi derivano, o sono provocati, dall'azione di una pluralità di elementi tra loro *analoghi* che pongono in atto comportamenti *simili*.

I graffiti sono apposti da una molteplicità di persone che, giorno dopo giorno, incidono o scrivono nomi, detti, sigle e messaggi; così pure un mucchio di immondizia è il risultato di numerosi atti di abbandono di rifiuti; la falange macedone è composta da un numero elevato di opliti; le carreggiate in autostrada sono il risultato del passaggio di chissà quanti autotreni;

i record sono raggiunti e superati dall'azione, a volte, di migliaia di atleti che, pur in tempi e in luoghi diversi, competono nella stessa disciplina; un branco di elefanti che fugge, una nuvola di pesci, uno stormo di uccelli sono formati da numerosi esemplari

Un applauso non scoppia, e il brusio in una sala non si forma, se non vi è una concentrazione sufficiente di presenti. Anche le mode e le epidemie si possono diffondere solo nell'ambito di una collettività.

Comprendiamo, dunque, che si tratta di fenomeni derivanti dall'azione di una *collettività* (popolazione, pluralità, matrice, insieme, tessuto, ecc.) di *agenti analoghi* che, comunque sia formata, denomineremo *base* del sistema, sia essa *osservabile* (nuvola di pesci) o anche solo *supposta* (autotreni che percorrono in un giorno un tratto autostradale).

L'*azione collettiva* che attribuiamo alla *base* (percorso di uno stesso sentiero o di uno stesso tratto autostradale, ola allo stadio, danza circolare dei ballerini in una sala da ballo, sosta sulla stessa panchina e incisione della nuvola di graffiti, e così via) sarà denominata *macro comportamento* del sistema. Gli *effetti osservabili* dell'azione collettiva (sentiero, carreggiate in autostrada, onda che percorre lo stadio, moto rotatorio, nuvola di graffiti, diffusione di un genere di moda, ecc.) si definiscono i *macro effetti* del comportamento del sistema.

Ma come si può formare il brusio in una sala se i singoli presenti non parlano tra loro? Come può nascere un applauso se i singoli spettatori non applaudono? E come si trasmette una moda se i singoli appartenenti alla collettività non sviluppano atti di imitazione? Anche una nuvola di graffiti è pur sempre formata da singoli graffiti.

Ecco una *seconda osservazione*: i *macro* comportamenti, e i correlati *macro* effetti, derivano dall'*azione individuale* di ciascun agente, che pone in atto un *micro comportamento*, che può produrre un effetto particolare, un *micro effetto*.

Nel seguito, per semplicità, ove non diversamente specificato, supporremo che il micro comportamento di ogni agente si possa identificare con una successione di *cambiamenti di stato* di una sola *micro variabile*, la stessa che caratterizza tutti gli ele-

menti della base. Altrettanto, il macro comportamento del sistema corrisponde al cambiamento di stato di una *macro variabile* che associamo all'azione della collettività.

Una nuvola di graffiti (macro variabile) si forma perché singole persone incidono il loro nome su una panchina o scrivono una frase su un muro (micro variabile). Il micro *comportamento* si identifica con uno dei due stati: incido/non incido, oppure scrivo/non scrivo. Il nome inciso o scritto è il micro *effetto* del comportamento individuale di coloro che scrivono o incidono. Appare intuitivo derivare che la dinamica dei cambiamenti di stato della *macro variabile* sia provocata dai *micro* comportamenti che, "combinati insieme", determinano il *macro comportamento* riferibile all'unità. Rileggiamo alcuni fenomeni impiegando la terminologia appena introdotta.

Una coppia di individui (elemento) parla (micro comportamento) con un dato livello di voce (micro effetto) in un locale chiuso. La sala affollata (base) di persone che parlano allegramente (macro comportamento) sviluppa un brusio di fondo (macro effetto).

Un portatore d'influenza (agente) entra in contatto con altre persone (micro comportamento) e diffonde il virus (micro effetto) e, in una popolazione (base) di persone che interagiscono (macro comportamento), normalmente si sviluppa un'epidemia (macro effetto).

Molti individui (base) attraversano un campo (macro comportamento); ciascun individuo (agente) attraversando (micro comportamento) calca l'erba (micro effetto) così che di forma il sentiero (macro effetto).

È un utile esercizio considerare anche gli altri fenomeni in termini di micro e macro comportamenti. È possibile, in genere, circoscrivere anche un *ambiente* (e, spesso, anche la sua *forma*) nel quale opera la *base* cioè un luogo, reale o immaginario, nel quale si sviluppano i micro comportamenti e nel quale si forma il macro comportamento.

Una "base", ad esempio, può essere rappresentata da 50 coppie di ballerini o da un branco di 500 elefanti o dai 100 componenti di un coro o dai 1.000 autotreni che percorrono un tratto autostradale in una settimana. Appare evidente che l'azione di tali elementi sia diversa a seconda della specie e delle dimensioni dell'ambiente.

I ballerini si comporteranno in modo differente a seconda che si trovino in una sala da ballo ristretta o ampia, ovale o rettangolare; gli elefanti terranno comportamenti diversi a seconda che si trovino in un'ampia savana o in una ristretta vallata; gli autotreni produrranno effetti diversi a seconda che il tratto autostradale sia rettilineo o a curve, a due o a più corsie.

1.3 – Il Primo Pilastro: il *micro-macro feedback*

Per interpretare compiutamente i fenomeni collettivi dobbiamo, però, compiere un *terzo passo*: individuare il processo che lega tra loro i *micro* e i *macro* comportamenti oppure i *micro* e i *macro* effetti.

Consideriamo ancora il fenomeno del formarsi del brusio in una sala affollata. Da cosa è formato il brusio? Dal livello di voce tenuto dai presenti nel parlare tra loro. Ma perché i presenti parlano a voce alta? Perché c'è il brusio. Se il brusio cresce, i presenti, per farsi udire dai loro interlocutori, *devono* alzare la voce. Ma ciò, *inevitabilmente*, fa crescere il brusio che impone ai presenti di alzare ancor più la voce, che aumenta il brusio e costringe i presenti, ecc. in un ciclo che si ripete. Il brusio è formato dal livello di voce dei parlanti ma il livello di voce dipende, a sua volta, dal brusio. In effetti, il macro effetto (brusio) derivante dal macro comportamento (chiacchierio collettivo) deriva dalla *combinazione* (media) dei livelli di voce (micro effetti) prodotti dai micro comportamenti (parlare tra coppie). Reciprocamente, il macro comportamento (scambio di informazioni tra i presenti) e il macro effetto (brusio) influenzano i micro comportamenti (tentativi di comunicazione) e i micro effetti (livello di voce).

Questa mutua dipendenza tra micro e macro comportamenti (o loro effetti) può essere definita *micro-macro feedback* e costituisce il Primo Pilastro su cui è fondata la Teoria dei Sistemi Combinatori rappresentato nel modello di [figura 1](#).

Nel processo di trasmissione di una lingua nell'ambito di una popolazione, ogni genitore trasmette ai figli la lingua madre (micro comportamento) e i figli l'imparano (micro effetto). La popolazione parla (macro comportamento) la lingua madre (macro effetto) e costringe le famiglie a insegnare quella lingua ai figli. Il *feedback* è evidente.

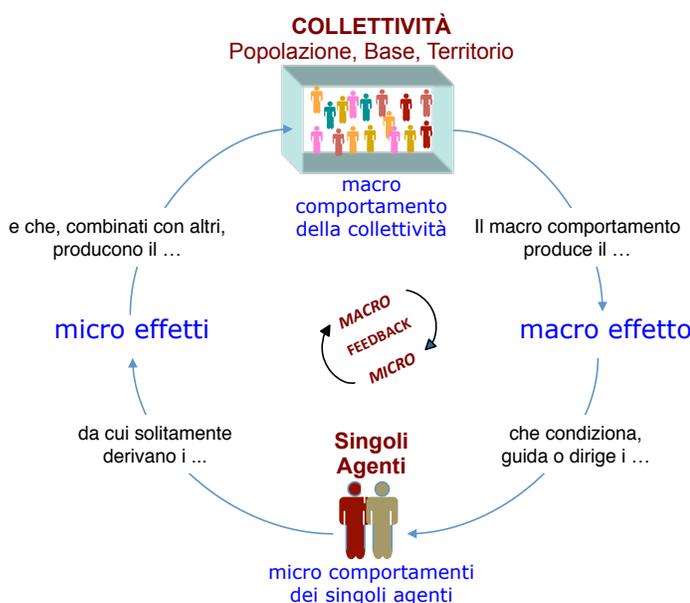
Riconoscere l'esistenza di un micro-macro feedback è indispensabile per interpretare i fenomeni collettivi come derivanti da un sistema combinatorio. Dalla sussistenza del *micro-macro feedback* derivano due conseguenze essenziali:

1) il macro comportamento del sistema non può essere considerato una semplice somma di micro comportamenti dei suoi elementi (o di loro effetti); il *micro-macro feedback* genera macro comportamenti (o effetti) "emergenti" attribuibili alla collettività e non derivabili dai "programmi operativi" seguiti dai singoli agenti;

2) il macro comportamento – ed il derivante macro effetto – dirige i micro comportamenti, come se

una "mano invisibile", una Superiore Autorità, costringesse gli agenti della base ad uniformarsi ai macro comportamenti emergenti della collettività. Non c'è nulla di strano o di misterioso: la mano invisibile non è altro che l'azione del *micro-macro feedback*.

Figura 1 – Il Primo Pilastro: il *micro-macro feedback* ovvero "la mano invisibile"



Come non andare con la mente alla mano invisibile di Adam Smith:

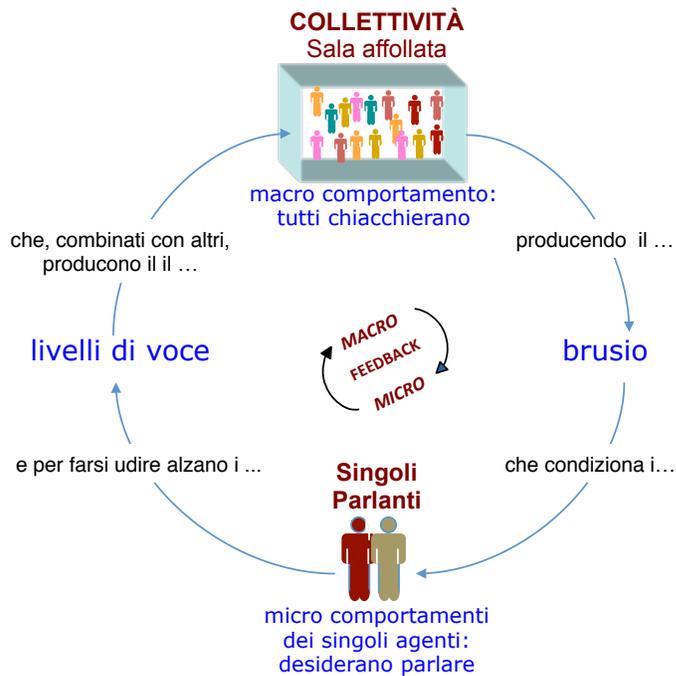
It is not from the benevolence of the butcher, the brewer, or the baker, that we can expect our dinner, but from their regard to their own interest. By directing that industry in such a manner as its produce may be of the greatest value, he intends only his own gain, and he is in this, as in many other cases, led by an invisible hand to promote an end which was no part of his intention. Nor is it always the worse for the society that it was not part of it. (Smith, 1776, p. 456).

che "misteriosamente" sembrava dare un ordine, un fine, ad attività (micro comportamenti) di tanti produttori (agenti) facendo nascere un vantaggio collettivo (macro comportamento ed effetto). E di mano invisibile parla anche Hermann Haken, il fondatore della Sinergetica, la scienza che studia i sistemi complessi, formati da una molteplicità di elementi i cui micro comportamenti non possono essere osservati individualmente ma che possono dar luogo a fenomeni "macro" osservabili e descrivibili:

Riscontreremo che le varie parti si ordinano come guidate da una mano invisibile e d'altra parte sono proprio i singoli sistemi che a loro volta creano questa mano invisibile, tramite il loro effetto coordinato. Questa mano invisibile che dà ordine a tutto la chiameremo "ordinatore" (Haken, 1983, p. 17).

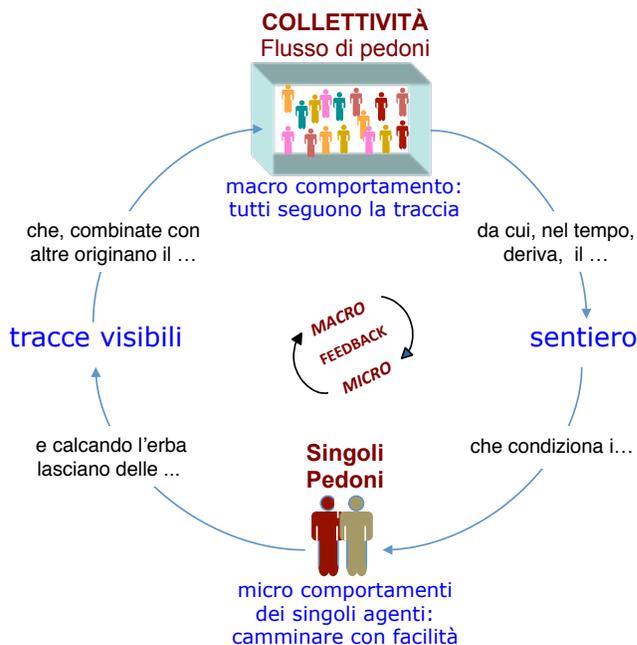
È un utile esercizio verificare come tutti i fenomeni indicati in precedenza possano essere rappresentati con lo stesso schema indicato in figura 1. In figura 2 è presentato il modello del fenomeno del *brusio* che si origina (sempre) in un locale affollato.

Figura 2 – Feedback voce-rumore



La figura 3 evidenzia, invece il feedback da cui trae origine il fenomeno del *formarsi di un sentiero*.

Figura 3 – Feedback da cui si origina un sentiero



Quando molti individui (collettività immaginata come successione di passanti in un periodo di tempo) attraversano un campo (macro comportamento) formano una traccia permanente di erba calpestata; ogni successivo passante (agente) attraversa (micro comportamento) seguendo la traccia visibile sull'erba, calpestandola nuovamente (micro effetto) e rendendo ancora più evidente e permanente il sentiero (macro effetto)-

La figura 4 illustra il micro-macro feedback che genera il fenomeno della formazione di un cumulo di immondizia, come schema generale del formarsi di accumuli di qualche specie, dagli insediamenti urbani a quelli industriali, dai graffiti alle colonie di molluschi.

La figura 5 offre un chiaro esempio del potere del sistema combinatorio che porta alla formazione di un deposito di immondizia. Nella prima fotografia si osserva il cestello di una bicicletta colmo di rifiuti lasciati dalla "collettività" di pedoni che camminavano in una strada centrale di Tokio. Il cestello della seconda bicicletta sta per essere riempito. Nella seconda fotografia si osserva la formazione di un deposito d'immondizia dietro la saracinesca della vetrina di un negozio da qualche tempo non utilizzato.

Come indicato nel modello di figura 6, le ballerine del Can Can danzano in cerchio singolarmente (micro effetto) ma, osservando la posizione delle due capofila, si coordinano formando una fila che ruota unitariamente (macro effetto), in un *micro-macro feedback* tra rotazione della singola ballerina (micro comportamento) e rotazione della fila (macro comportamento).

Se non è possibile individuare l'esistenza *feedback micro-macro* non è possibile attribuire un dato fenomeno collettivo a un sistema combinatorio. Se in una pianura ugualmente fertile *per caso* iniziasse ad insediarsi un primo nucleo di famiglie, e questo attirasse altri insediamenti, col tempo si formerebbe una città sempre più ampia, per l'evidente azione di un sistema combinatorio; se, tuttavia, una popolazione s'insediava in un angusto sito fertile tra due ripide pareti di roccia, si formerebbe una città ma senza l'azione di alcun sistema combinatorio; i nuovi insediamenti non dipenderebbero dai precedenti ma dalla conformazione dell'ambiente.

Ecco un altro esempio: "Vietato appoggiare i piedi alla parete", era scritto su un cartello affisso ben in evidenza in ogni sala del museo. Eppure ... un insieme di impronte deturpava, in modo continuo, il muro; segno dell'inciviltà dei visitatori che si appoggiavano ad esso per

ammirare i quadri e, per stare più comodi, premevano la suola sulla parete. Siamo in presenza di un sistema combinatorio? La risposta è negativa, in quanto il riprovevole micro comportamento di ciascun visitatore può ritenersi del tutto indipendente dal numero di impronte di sporcizia sul muro. Quella nuvola di impronte non è l'effetto macro di alcun sistema combinatorio in quanto non deriva dall'azione del *micro-macro feedback* tra i micro comportamenti individuali e quell'effetto collettivo.

Figura 4 – Feedback da cui si origina un mucchio di immondizia

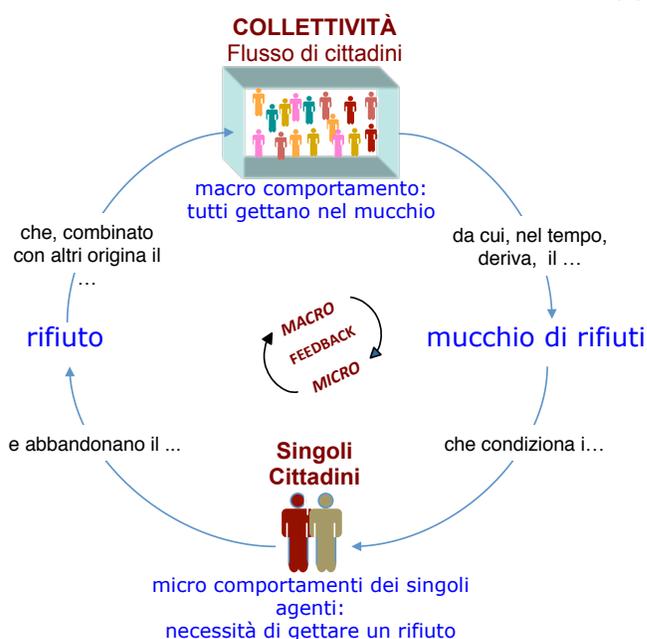


Figura 5 – Sistemi di accumulazione in azione.



1.4 – Il Secondo Pilastro: il “caso” e la “necessità”

Abbiamo evidenziato le tre condizioni fondamentali per la sussistenza di qualsivoglia sistema combinatorio: (1) attuazione di *micro* comportamenti indivi-

duali che producono *micro* effetti osservabili, (2) sviluppo di *macro* comportamenti collettivi che portano a *macro* effetti (3) esistenza di un *feedback tra micro e macro* comportamenti o tra loro effetti.

Pur essendo *necessarie*, esse non sono però *sufficienti* a farci comprendere il processo di formazione dei fenomeni collettivi; dobbiamo riconoscere un altro elemento essenziale: la congiunta azione di “caso” e di “necessità”.

Perché mai in una sala affollata si forma il brusio? Perché qualcuno dei presenti *per caso* inizia a parlare. Non si può sapere chi saranno coloro che parleranno per primi ma perché il fenomeno del brusio si produca è indispensabile che un certo numero minimo di presenti (la densità minima d perché si formi il primo brusio) inizi *per caso* a parlare. Il primo brusio che così si forma avvia il *feedback micro-macro* che farà il resto. Il brusio si alzerà e i presenti parleranno con voce più alta facendo alzare il brusio fino a quando un fracasso assordante impedirà a molti di udire e di farsi udire (si è raggiunto il brusio massimo sopportabile); alcuni smetteranno di parlare e il brusio si abbasserà (il *feedback* agisce sempre) fino a quando, ritornata un po' di calma, riprenderanno a parlare.

La maggior parte dei fenomeni collettivi si avvia quando “per caso” si raggiunge una *densità minima*, cioè un dato *livello di attivazione*, specifico per ogni diverso fenomeno (a volte è sufficiente l'azione di un solo elemento; altre volte, tutti gli elementi della collettività devono agire inizialmente) e cessa quando si raggiunge una *densità massima*, cioè un dato *livello di saturazione*.

Superata una *densità minima di attivazione*, il *micro-macro feedback* garantisce che il macro comportamento “di necessità” si avvii e si sviluppi, alimentandosi dei *micro* comportamenti successivi ma, nello stesso tempo, condizionandoli. A volte, si osserva una dinamica espansiva del macro comportamento (o dei suoi effetti); altre volte un progressivo affievolimento, fino alla cessazione; altre, ancora, una fluttuazione ciclica o anche una dinamica caotica.

Per renderci conto di come agisca il binomio *caso-necessità*, riprendiamo il sistema combinatorio che spiega il formarsi di un sentiero nei campi; se molti individui attraversassero lo stesso campo secondo diverse direttrici, le molteplici tracce lasciate nell'erba non indicherebbero alcun sentiero. Se, *per*

caso, diversi individui scegliessero la stessa direttrice (densità di attivazione), le loro tracce si consoliderebbero ed altri passanti, per non bagnarsi le scarpe, oppure ritenendo più razionale camminare dove l'erba fosse già calpestata, sarebbero indotti ad attraversare seguendo la traccia, rendendola permanente.

Figura 6 – Feedback da cui si origina un moto rotatorio



Anche nel sistema combinatorio che porta allo sviluppo di un'epidemia, il *caso* agisce in modo evidente. Se il primo individuo infetto non entrasse in contatto con alcuno, fino alla completa guarigione, il sistema combinatorio non si avvierebbe; se *per caso* i contatti con altri individui fossero frequenti, allora il sistema avrebbe elevate probabilità di attivarsi. Quando il numero di infetti superasse la densità minima, l'epidemia *di necessità* si svilupperebbe. Raggiunta la densità massima, il numero di nuovi infetti diminuirebbe e, gradualmente l'epidemia si estinguerebbe.

Consideriamo il sistema combinatorio che spiega il formarsi della nuvola di graffiti su un muro o su una panchina.

È del tutto evidente che il primo graffito è apposto *per caso* da qualcuno che desidera lasciare un segno-di-sé; se il graffito venisse rimosso, il sistema non si avvierebbe; se viene lasciato, e se *per caso* altri aggiungono nuovi graffiti, il sistema *di necessità* porta alla formazione di una nuvola di graffiti che rappresenta il macro effetto; se i graffiti fossero in-

cisi sul legno, o nel marmo di qualche monumento, il sistema sarebbe *irreversibile*.

È immediato rendersi conto come questo stesso modello spieghi il formarsi della nuvola di torri nella Pavia medievale, così come lo sviluppo degli agglomerati abitativi e dei distretti industriali.

1.5 – Il Terzo Pilastro: Fattori ricombinanti e necessitanti

Ma ecco sorgere spontaneo un nuovo interrogativo: perché si sviluppano i *micro* comportamenti? Per quali meccanismi essi sono influenzati dal *macro* comportamento? Come il *macro* comportamento della collettività deriva dai micro comportamenti degli agenti? In altri termini, perché può formarsi il *micro-macro feedback* ed operare per molteplici cicli?

La Teoria dei Sistemi Combinatori offre una risposta semplice.

Il *caso* da solo non è mai sufficiente ad avviare il *macro* comportamento; sui singoli agenti *deve* operare qualche *fattore necessitante* (un vincolo, una regola, una condizione, una legge, un convincimento, ecc.) che imponga a ciascun agente di riadeguare il proprio *micro* comportamento al *macro* comportamento del sistema o ai suoi *macro* effetti; al *caso* deve affiancarsi la *necessità*. Spesso tali *fattori necessitanti* derivano dall'obbligo, dalla convenienza, dall'utilità, dalla volontà dei singoli elementi; nella maggior parte dei casi, agiscono senza che gli individui ne siano consapevoli.

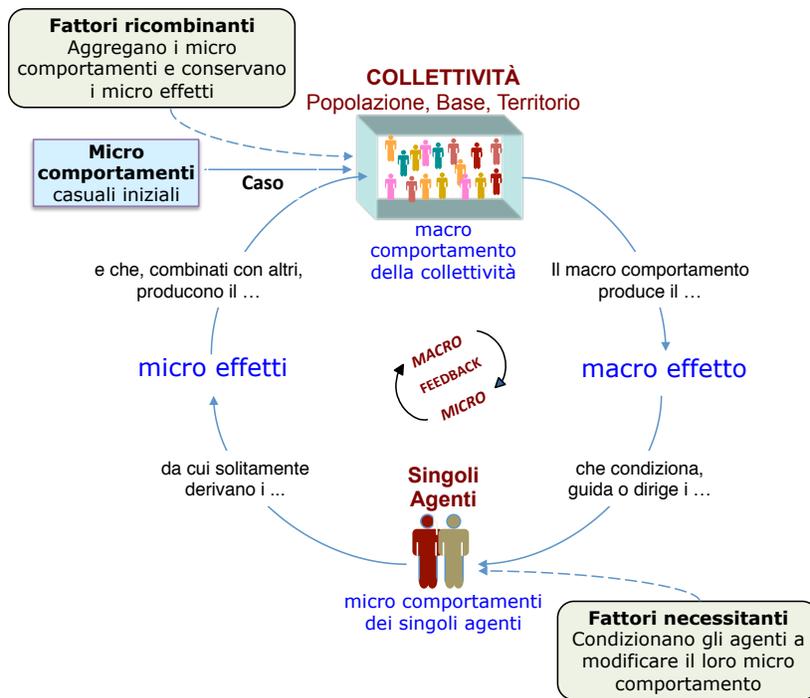
La sussistenza di uno o più fattori *necessitanti* è indispensabile ma non ancora sufficiente; occorre anche che il sistema sia in grado di *ricombinare* i micro comportamenti (o i micro effetti) per produrre il macro comportamento (o il macro effetto); nel sistema deve operare qualche *fattore ricombinante* o ai suoi macro effetti (regola, convenzione, algoritmo, cultura, vincolo, ignoranza, ecc.) così che, tramite il *micro-macro feedback*, possa agire il fattore necessitante.

Si pensi a quanto sia diverso l'effetto ricombinante, per la formazione della "ola", a seconda che essa avvenga in uno stadio con un numero elevato o ridotto di gradinate, circolare, ovale o rettangolare. Oppure quanto differente sia l'effetto di una mandria che fugge impazzita a seconda che il terreno sia pianeggiante od ondulato, ampio o ristretto. In un ambiente di montagna è molto più semplice disperdere a caso i propri rifiuti che non accumularli. In un territorio ad alta densità abitativa è più facile che si diffonda una moda; anche l'azione di promozione pubblicitaria, unitamente all'abbondanza di punti di

vendita, rende molto forte, veloce e persistente l'effetto ricombinante di tale sistema di diffusione.

Considerando anche i fattori *necessitanti* e *ricombinanti*, possiamo modificare il modello di figura 1 in quello di figura 7.

Figura 7 – Il “caso” e la “necessità”



È questo un punto delicato ma è necessario essere consapevoli: *per interpretare l'attività dei sistemi combinatori occorre sempre comprendere la natura sia dei fattori ricombinanti sia di quelli necessitanti perché, senza la congiunta azione di tali fattori, non sorgerebbe alcun micro-macro feedback e non si produrrebbero i fenomeni che vogliamo spiegare.*

Alcuni fattori necessitanti sono a volte molto forti. Si pensi a quanto sia potente l'istinto di sopravvivenza che, alla presenza di un pesce predatore, fa sorgere in una colonia di piccoli pesci la *necessità* di nascondersi nel gruppo; se, *per caso*, alcuni pesci in fuga si avvicinano e formano un primo raggruppamento, l'istinto di nascondersi (*necessità*) attira altri pesci e ben presto si arriva alla formazione di una nuvola compatta; questa persiste fino a quando rimane la minaccia del pesce predatore che rappresenta il fattore ricombinante; se il pericolo si allontana, la nuvola presto si sfalda.

Perché le ballerine del Can-Can dovrebbero trovare necessario danzare allineate? Se non fosse sufficiente la disapprovazione del pubblico per una fila che ruotasse scompostamente, ci penserebbe il regista, se non addirittura l'impresario teatrale, ad allon-

tanare le ballerine che non imparassero a tenere la sincronia.

E che dire della necessità di incidere un graffito su una panchina? In questo caso il fattore necessitante è molto debole ma chi di noi, la sera al parco, seduto in felice compagnia, vedendo già una nuvola di graffiti, non si sentirebbe tentato di allentare il freno imposto dall'educazione e di lasciare un segno di sé?

Quello appena descritto è del tutto analogo al Sistema Combinatorio che ha prodotto la nuvola delle 100 e più torri di Pavia si è avviato in quanto, dopo la costruzione della prima torre, *per caso*, altre famiglie, per motivi di prestigio, hanno sentito l'esigenza o la convenienza di imitare quel primo comportamento.

Il *fattore necessitante* può essere anche naturale e agire in forma inconsapevole. Nel sistema della diffusione di un'epidemia, l'azione necessitante non dipende dalla volontà del portatore dell'agente patogeno di infettare altri individui quanto, piuttosto, dal meccanismo operativo di aggressione del virus. Anche il funzionamento del sistema combinatorio che origina la diffusione di una specie animale o vegetale dipende da due *fattori necessitanti*

molto forti – gli istinti di sopravvivenza e di riproduzione – dei quale gli individui non sono nemmeno coscienti. Pure il sistema che porta alla formazione delle “carreggiate in autostrada” dipende dalla *necessità*, avvertita dai singoli camionisti, di non correre il pericolo di sbandare viaggiando al di fuori della carreggiata e non certamente dalla convenienza a rinforzarla.

Anche i *fattori ricombinanti* svolgono un ruolo fondamentale. Se la collettività, in qualche forma, non è in grado di “combinare insieme” i micro comportamenti (o i loro effetti), il *micro-macro feedback* non può agire.

L'effetto ricombinante deriva, solitamente, dall'ambiente in cui la base opera; altre volte da convenzioni o da vincoli esterni al sistema.

Si pensi a quanto sia diverso l'effetto ricombinante del passaggio di autotreni per formare le carreggiate in autostrada a seconda che il tratto di strada sia rettilineo o a curve. In un ambiente di campagna è molto più semplice disperdere a caso i propri rifiuti che non accumularli. In città, la rimozione sistematica dei rifiuti, del resto, rende quasi impossibile l'avvio del Sistema Combinatorio che ammuccia immondizia.

In un territorio a bassa densità abitativa è più difficile che scoppi un'epidemia; anche l'azione di prevenzione tramite vaccinazione diffusa e la possibilità di un rapido riconoscimento dell'infezione, unitamente all'abbondanza di farmaci adeguati, rendono molto debole l'effetto ricombinante di tale sistema.

1.6 – *L'informazione globale autoprodotta*

Per completare questa breve illustrazione della logica dei sistemi combinatori ritengo necessario esaminare un ultimo aspetto rilevante. Domandiamoci: per quale ragione i singoli elementi del sistema arrivano a porre in atto i loro micro comportamenti pur sapendo a volte che essi possono originare *effetti globali* indesiderati, dannosi, a volte addirittura catastrofici? Per quale ragione in molti Paesi si continua a parlare la propria lingua madre quando l'inglese è tanto più utile? Cosa spinge gli elefanti che fuggono in branco a dirigersi verso il crepaccio così da precipitare tutti, con un intuibile esito disastroso? Perché le imprese continuano ad aumentare la produttività anche se ciò può ridurre i posti di lavoro e creare tensioni sociali?

La risposta deve essere ricercata nel meccanismo secondo il quale i *singoli agenti* del sistema “decidono” il loro micro comportamento; ogni agente, infatti, in generale, non è consapevole dell'esistenza del *micro-macro feedback* ma è condizionato o guidato solo dal *macro effetto* derivante dal macro comportamento del sistema; il *macro effetto* rappresenta per lui l'*informazione globale* su cui assume le proprie decisioni di cambiare o meno il proprio stato. In alcuni casi, nemmeno percepisce tale informazione globale ma agisce solo sulla base di informazioni circa il micro comportamento di pochi altri elementi che può osservare direttamente; agisce con *informazione limitata*.

Ciascun agente può, pertanto, fondare le decisioni di cambiamento di stato, o sull'*informazione globale* (macro effetto), oppure su un'*informazione limitata* (micro comportamenti di alcuni altri agenti) ma, in ogni caso, non viene percepita l'azione ineluttabile del *micro-macro feedback* che condiziona i micro ed i macro comportamenti.

Le imprese non vogliono ridurre la loro efficienza produttiva rispetto alle altre dello stesso settore che sono in vantaggio (informazione limitata); se un'impresa cerca di aumentare la produttività con introduzione di robot (input dovuto al *caso*), e se altre imprese la imitano (densità di attivazione), allora il Sistema Combinatorio si avvia e il *micro-macro feedback* garantisce che presto tutte le imprese del settore adotteranno robot simili, con un aumento della produttività.

Chi parla in una sala affollata non pensa che se stesse zitto il brusio (informazione globale) diminui-

rebbe ma, avendo necessità di comunicare, per farsi udire dal proprio interlocutore grida ancor di più.

L'elefante che fugge, in mezzo al branco, non pensa che la sua fuga (micro comportamento) origini e alimenti la fuga del branco (macro comportamento) ma ubbidisce solo all'istinto di sopravvivenza che gli “dice” che, se non continuasse a fuggire seguendo il branco (informazione globale), verrebbe schiacciato (fattore necessitante) dal branco che egli stesso contribuisce a formare.

Le singole ballerine del Can-Can non ruotano guardando la fila che ruota ma tengono l'allineamento con la capofila (informazione limitata). Il Sistema Combinatorio che dà vita all'insediamento di imprese o alla formazione di un distretto industriale (macro effetto) si avvia quando una data area può offrire un differenziale positivo di economicità rispetto ad altre aree (fattore necessitante). La presenza di una concentrazione di imprese è il segnale (informazione globale) che vi sono vantaggi economici di insediamento (fattore ricombinante) e ciò attira nuove imprese, nel tipico *micro-macro feedback*.

1.7 – *Il controllo dei fenomeni collettivi*

Come abbiamo osservato, per comprendere i meccanismi operativi di un sistema combinatorio è indispensabile riconoscere l'azione del *micro-macro feedback* e individuare i fattori *necessitanti* e *ricombinanti* che lo sorreggono dopo l'avvio dovuto al “caso”.

Nel fenomeno della formazione del sentiero, ad esempio, il fattore necessitante potrebbe essere rappresentato dal desiderio di non sporcarsi le scarpe; perciò, vedendo l'erba appena calcata (informazione globale), il passante segue la traccia; il fattore ricombinante è costituito dalla presenza di erba che rimane calpestata e dalla frequenza di passaggio dei vari pedoni. Se il terreno fosse sassoso e il passaggio a bassa frequenza, molto probabilmente, nessun sentiero visibile si formerebbe.

Questo esempio ci consente un'*ultima importante considerazione*: se il sentiero in un prato fosse considerato *utile* dai passanti, in quanto indicante una corretta direzione e un facile attraversamento del prato, per facilitarne il riconoscimento potrebbero, nel tempo, essere posti dei segni rossi, o anche dei paracarri, e potrebbe intervenire la pubblica amministrazione per allargare la traccia, per asfaltarla; il sistema combinatorio diventerebbe *istituzionalizzato*. Ipotizziamo, invece, che il sentiero attraverso un prato di proprietà di un agricoltore che veda in quel *macro effetto* un *danno* per il raccolto. In questa ipotesi, è facile immaginare le diverse azioni a difesa della proprietà, la più drastica delle quali potrebbe essere quella di cintare il campo con un muretto. Il sistema combinatorio cesserebbe presto di operare.

Pertanto, pur alla presenza di condizioni analoghe (collettività, singoli, fattori necessitanti e ricombinanti), i fenomeni collettivi si possono presentare con dinamiche alquanto diverse per il fatto che, in alcune circostanze, l'ambiente *rinforza* il sistema perché i suoi macro effetti sono ritenuti utili; altre volte, invece, il sistema subisce un'azione di *indebolimento*, fino a scomparire.

Riprendiamo il sistema dei "graffiti" e supponiamo che, anziché da incisioni permanenti sul legno della panchina, questi siano ora rappresentati da scritte di vario colore. Se le scritte fossero su un muretto di cinta in periferia, il sistema apparirebbe molto *resistente* poiché non si porrebbero in atto interventi di *indebolimento*. Se le scritte apparissero sulla facciata di una casa di lusso nel centro della città, le azioni di *indebolimento* sarebbero immediate in quanto il portiere attuerebbe un'attenta sorveglianza e provvederebbe all'eliminazione delle scritte non appena venissero lasciate. Vita ancora più effimera avrebbe il sistema graffiti che si sviluppasse su un monumento, per esempio su una parete della Cappella Sistina a Roma; in questa ipotesi, il sistema nemmeno nascerebbe, per la *preventiva* apposizione del divieto di scrivere sui muri affrescati, per la sorveglianza rigorosa che porterebbe alla pronta rimozione della prima scritta, per l'effetto deterrente esercitato dalla severa punizione prevista per il trasgressore e, soprattutto, per la censura esercitata dagli altri visitatori. Grazie ad opportune azioni di *rinforzo* e di *indebolimento* è, pertanto, possibile arrivare al *controllo del sistema combinatorio*, cioè a far sì che il macro comportamento o i macro effetti si conformino ad un modello desiderato.

I *rinforzi* e gli *indebolimenti* possono agire:

- sul macro comportamento (o sul macro effetto) per produrre un controllo "a livello macro", o *controllo esterno*,

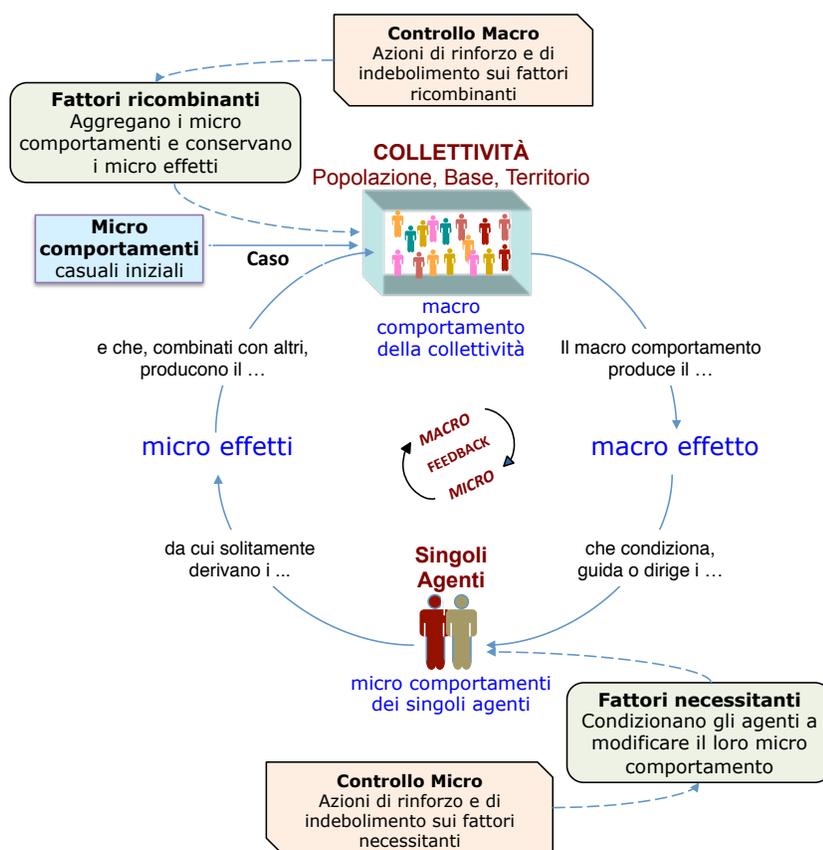
- sui micro comportamenti (e sui micro effetti) per attuare un controllo "a livello micro" o di *controllo interno*.

È immediato comprendere come il controllo a livello macro si consegua con *rinforzi* ed *indebolimenti* attuati per modificare qualche fattore ricombinante. Quello a livello micro agisce, invece, di nor-

ma sui fattori necessitanti. La figura 7 può ora essere completata come indicato nella *figura 8*.

Immaginiamo di osservare una compagnia di militari che stia sfilando di fronte alle "Supreme Cariche dello Stato" e che i militari in parata siano preceduti da un ufficiale il cui compito sia di impartire le necessarie istruzioni per costringere la compagnia a mantenere un perfetto allineamento, intervenendo con un opportuno ordine non appena qualche elemento della compagnia abbandonasse l'allineamento desiderato; si tratterebbe, in questo caso, di un *controllo esterno* in quanto le correzioni del macro comportamento sono provocate dalla dinamica di quest'ultimo.

Figura 8 – Macro e micro controllo di un Sistema Combinatorio



Supponiamo che l'Autorità, per combattere la droga che dilaga, sviluppi una più intensa azione anti spaccio o blocchi il "traffico" all'origine con un'efficace azione di sorveglianza nei porti di importazione, *controllando esternamente* il sistema. Supponiamo, invece, che le singole famiglie sviluppino una forma di educazione che crei nei giovani la volontà di evitare l'assunzione di sostanze stupefacenti. In questo caso, se l'azione di educazione avesse successo, il sistema, modificherebbe il proprio macro comportamento proprio per effetto del *controllo in-*

terno esercitato sui micro comportamenti degli elementi che ne formano la base.

1.8 – *Sistemi naturali e artificiali.*

Come si può constatare anche dagli esempi presentati, molti sistemi combinatori hanno formazione apparentemente spontanea. Ciò significa che le micro e macro *regole* sono già inserite “naturalmente” negli elementi del sistema.

I sistemi *spontanei* possono essere definiti *naturali* e portano a micro comportamenti ordinati che possono essere pensati quali forme di *sincronizzazione* (tutti i parlanti adeguano contemporaneamente il livello di voce, le ballerine adeguano la loro danza rotatoria) e di *auto organizzazione*, fenomeno tipico dei sistemi combinatori “d’ordine”, che sembrano produrre e mantenere un ordine spontaneo nel micro comportamento degli elementi componenti (gli autotreni percorrono le carreggiate formate nell’asfalto, le coppie danzano secondo un movimento rotatorio complessivo, i pedoni percorrono ordinatamente un sentiero appena tracciato).

Un esempio evidente di autorganizzazione è quello dalla ripartizione di un flusso di agenti che si incrociano disordinatamente nelle due direzioni in due flussi ordinati monodirezionali.

Questo sistema si osserva invariabilmente quando numerosi individui-agenti (base) devono (fattore necessitante) entrare od uscire contemporaneamente da una porta da opposte direzioni o camminare in direzioni contrapposte su un marciapiede nel quale intervenga un ostacolo al flusso. Dopo alcuni passaggi scomposti, se *per caso* inizia a formarsi un primo flusso ordinato – per esempio se le persone che devono uscire escono in fila dal lato destro (o sinistro) della porta o i passanti sul marciapiede che percorrono la strada in un senso, si allineano per passare a destra (a sinistra) dell’ostacolo – allora, di *necessità*, anche gli agenti che devono entrare o camminare tenderanno a disporsi in un flusso ordinato sul lato destro (o sinistro), costringendo i passanti dell’opposto senso a transitare sul lato sinistro (oppure destro). Il flusso scomposto si è trasformato in due flussi ordinati e persistenti (macro effetto); il disordine iniziale è diventato un ordine, grazie all’autorganizzazione provocata dal *micro-macro feedback* che rende necessario uniformarsi all’ordine quando, *per caso*, questo si è formato. Il *caso* agisce anche nel determinare il senso di ciascun flusso, destro o sinistro.

Oltre che *per caso*, i Sistemi Combinatori possono generarsi anche per specifica *progettazione*, definendo opportunamente le *regole* micro e macro che li determinano; i sistemi progettati sono *artificiali*.

Per comprendere i meccanismi di progettazione di sistemi *artificiali*, supponiamo che uno scienziato,

mediante manipolazione genetica di un individuo in una popolazione di batteri, riesca a provocare una mutazione. Se la mutazione si propaga fino ad arrivare al numero di attivazione, inizia ad operare il sistema combinatorio che modifica la precedente specie o che dà origine ad una nuova specie. Ecco altri esempi di sistemi combinatori artificiali.

Una banda di criminali costringe un gruppo di individui ad assuefarsi ad una droga, trasformandoli in spacciatori per pagarsi le loro razioni. Se si raggiunge la densità minima si avvia il sistema combinatorio della diffusione della droga.

Una grande impresa automobilistica spinge le ricerche verso un nuovo tipo di motore. Se hanno successo, il motore viene utilizzato e apprezzato. Inizia il sistema combinatorio di adozione di quel motore. Se il motore è elettrico e risolve il problema dell’inquinamento, è probabile che si attuino rinforzi importanti: eliminazione delle colonnine carburante, installazione di punti di rifornimento di energia, detassazione dell’acquisto delle nuove automobili, ecc.

1.9 – *Espansione e organizzazione*

Nei sistemi combinatori, in generale, ed in quelli *naturali* in particolar modo, si manifestano alcune caratteristiche interessanti: da un lato, si possono *espandere* al di là dell’ambiente in cui sono originariamente osservati; dall’altro, si possono *organizzare* in sottosistemi specializzati. I Sistemi Combinatori nel tempo possono anche presentare *ramificazioni*.

Relativamente alla prima caratteristica, ricordo che i Sistemi Combinatori sono definiti nell’ambito di un dato *ambiente* nel quale sia le *regole* micro sia quelle macro possono agire sugli N agenti del sistema che formano un insieme chiuso in un ambiente limitato.

Molti sistemi naturali di specie biologica sono in grado di *espandere* i loro effetti su elementi appartenenti ad un ambiente più ampio.

Una moda, ad esempio, nasce in una città ma si può diffondere in tutto il Paese. Una malattia esplose in epidemia in un continente ma si espande in altri. La vita umana è tipica della terra ma sono in atto procedure per la sua espansione ricercando altri pianeti abitabili.

L’*organizzazione* è caratteristica tipica dei sistemi operatori ma può essere osservata anche in molti Sistemi Combinatori naturali biologici nei quali i singoli elementi, per es. le cellule, possono assumere più di due stati differenti. Ogni cellula specializza la propria funzione assumendo lo stato appropriato in relazione alla posizione occupata nel sistema, secondo le regole micro incluse nel codice genetico.

Un’area desertica viene colonizzata; dopo un certo numero di insediamenti inizia ad operare il Sistema Combinatorio che porta ad un insediamento urbano. All’inizio tutti gli insediamenti hanno la

stessa natura (sono per esempio, insediamenti di contadini) ma quando la densità cresce alcuni coloni diventano allevatori, altri industriali, ecc. e si formano parziali sistemi combinatori specializzati (i contadini, gli allevatori, gli industriali, i guerrieri, i sacerdoti), dando vita a un sistema operatore tipico di una città o addirittura di una nazione.

1.10 – *Robustezza e persistenza*

È facilmente verificabile come alcuni sistemi combinatori siano molto *fragili*; è sufficiente una modesto *indebolimento* per farne cessare l'azione o addirittura per disgregarlo. In altri casi, invece, i sistemi resistono ad ogni forma di *indebolimento* e, anche senza particolari rinforzi, operano e si sviluppano arrivando addirittura ad organizzarsi.

Definisco *robustezza* la caratteristica di un sistema combinatorio a resistere a perturbazioni o controlli che, in qualche forma, tentino di limitare il prodursi del macro comportamento o del macro effetto. Il sistema combinatorio più *robusto* è quello che agisce anche quando una parte della *base* venga eliminata o quando l'*ambiente* modifichi la sua *forma*.

Definisco *persistenza* la caratteristica di un sistema combinatorio a resistere nel tempo, ad operare durevolmente. Il più persistente è quello che riproduce nel tempo il macro comportamento anche quando la base attiva è ridotta alla densità minima e, addirittura, ad un solo elemento dell'intera base (seme eolico che attecchisce in un'isola nuova). Il più *volatile* è quello che, pur raggiungendo in tempi ridotti la densità massima, altrettanto repentinamente cessa di produrre il proprio macro comportamento.

Tra i più *robusti* e *persistenti* sistemi combinatori ricordo quello della diffusione e del mantenimento della lingua madre o del mantenimento di una religione. Un sistema debole e volatile è quello che produce il brusio nei locali affollati, oppure l'applauso. Non sempre sistemi robusti sono anche persistenti ma, in genere, robustezza e persistenza sono caratteristiche che si riscontrano congiuntamente.

2 – PARTE SECONDA. MODELLI DI SISTEMI COMBINATORI

2.1 – *Tre tipi di modelli per i Sistemi Combinatori*

Per applicare la teoria dei Sistemi Combinatori, al fine di spiegare i fenomeni collettivi, occorre essere in grado di costruire un modello che rappresenti, in modo semplice e chiaro, i *meccanismi operativi* dei sistemi che quei fenomeni producono. I Sistemi

Combinatori possono essere rappresentati con modelli di tipo differente e di crescente difficoltà.

I più semplici sono i *modelli descrittivi* che indicano, in linguaggio lessicale, gli elementi fondamentali necessari per comprendere la logica operativa del sistema combinatorio, così come sono stati indicati nei paragrafi precedenti. In particolare, devono specificare gli agenti, la base, i micro e i macro comportamenti, l'impulso iniziale, i micro e macro effetti, i *fattori necessitanti* e quelli *ricombinanti*; devono, soprattutto, evidenziare come agisce il *micro-macro feedback*; possono, da ultimo, indicare varie specie di *rinforzi* o di *indebolimenti* e le possibili *forme di controllo*.

Più interessanti sono i *modelli euristici* che cercano di simulare la dinamica del sistema esplicitando – o costruendo *ad hoc* – le *regole di funzionamento* che dirigono tanto il micro comportamento degli *agenti della base* – le denominiamo *regole micro* o *regole necessitanti* – quanto il *sistema* nel suo complesso – le denominiamo *regole macro* o *regole ricombinanti*. I modelli euristici, in ogni caso, devono evidenziare la logica del *micro-macro feedback* che consente al sistema combinatorio di produrre i fenomeni osservati. Le regole devono essere necessarie e sufficienti nel senso che dalla loro congiunta azione deve generarsi il *micro-macro feedback* che consente al sistema di sviluppare le proprie dinamiche. Nei Sistemi Combinatori reali, ovviamente i singoli agenti della base non sono, di norma, consapevoli di tali regole; esse devono, tuttavia, simulare quanto possibile il *modus operandi* del sistema. Il modello euristico (così come quello verbale) può comprendere anche un modello grafico che descriva tutti gli elementi caratteristici.

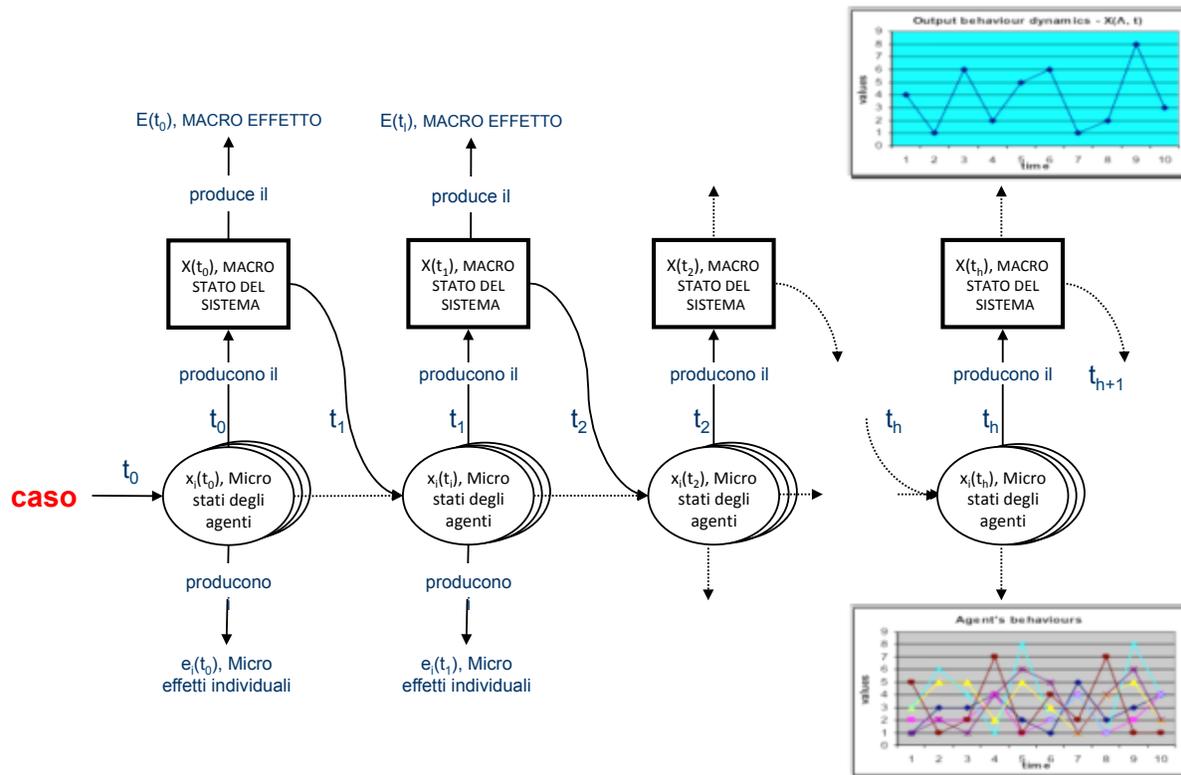
Si possono costruire, infine, particolari *modelli matematico-statistici per le simulazioni* i quali offrono una rappresentazione del comportamento dei sistemi cercando di simulare le dinamiche del macro e dei micro effetti e/o comportamenti anche in termini probabilistici.

Tra i *modelli di simulazione*, particolarmente efficaci sono gli *automi combinatori* (combinatory automata) che rappresentano i Sistemi Combinatori in una disposizione a matrice le cui N celle rappresentano gli *agenti* e – per un dato istante t_h – includono i micro *stati* degli agenti, $x_n(t_h)$ – con n che assume i valori da 1 a N – e/o i micro *effetti* corrispondenti a tali stati individuali. La combinazione di tali stati o effetti, secondo specifiche “funzioni ricombinanti”, consente di quantificare il *macro stato*, $X(t_h)$, della collettività considerata come un tutto, e/o un *macro effetto globale* $E(t_h)$, che può essere interpretato come l’“informazione globale autoprodotta” sulla cui base gli agenti determinano il loro *nuovo micro stato*, $x_n(t_{h+1})$, da cui deriva il *nuovo macro stato*, $X(t_{h+1})$, congiuntamente con i micro e macro effetti. Il modello di automa combinatorio è indicato in [figu-](#)

ra 9, avendo ipotizzato, per semplicità, che i micro stati derivino dal macro stato del sistema anziché dal macro effetto).

Gli automi combinatori consentono di determinare la dinamica delle variabili micro e macro che definiscono i comportamenti del sistema, come nel modello di figura 9 che evidenzia come il *micro-macro feedback* congiunga le macro e le micro dinamiche.

Figura 9 – Modello di automa combinatorio



2.2 – Tipologia di sistemi combinatori

Nonostante la varietà di fenomeni e ad essi attribuibili, possiamo classificare Sistemi Combinatori secondo cinque tipi fondamentali in relazione al macro effetto prodotto.

1 – Sistemi di Accumulazione [SA]. Sono quelli, il cui macro comportamento produce un macro effetto percepibile come accumulo di oggetti, di comportamenti o di effetti di qualche specie; questa logica si applica alla interpretazione di un ampio spettro di fenomeni collettivi, tra cui la formazione di insediamenti abitativi o industriali (distretti), la localizzazione di negozi dello stesso tipo nella stessa strada, l’accumulazione di rifiuti, il formarsi di nuvole di graffiti, incisi o scritti, la formazione di colonie, orde di elefanti, nuvole di pesci, branchi e foreste. In questi sistemi il *micro-macro feedback* agi-

sce solitamente e tra micro e macro *effetti*, più che tra comportamenti. Il cumulo che si forma rappresenta l’input informativo su cui si basa il micro comportamento: “aggiungo-non aggiungo al cumulo”. Possono essere descritti dal seguente modello euristico.

MICRO COMPORTAMENTO E FATTORI NECESSITANTI – Se senti la necessità di accumulare qualche oggetto con altri analoghi (micro comportamento), cerca cumuli già fatti perché ciò ti dà un vantaggio o riduce qualche svantaggio (fattore necessitante);

MICRO COMPORTAMENTO E FATTORI RICOMBINANTI – L’ambiente conserva gli oggetti accumulati o non riesce ad eliminarli e mantiene i vantaggi dell’accumulo; tutti accumulano (macro comportamento) e si forma un cumulo (macro effetto) di qualche specie che si mantiene nel tempo;

MICRO-MACRO FEEDBACK. CASO E NECESSITÀ – Più il cumulo (macro effetto) è grande più incentivo c’è all’accumulo (micro comportamenti) di oggetti (micro effetti); l’accumulo collettivo (macro comportamento) porta ad un cumulo sempre più grande; il primo accumulo si forma “per caso” ma poi, se non viene eliminato, “di necessità” cresce nel tempo.

2 – Sistemi di Diffusione [SD]. Hanno quale macro effetto la diffusione di un carattere o di una particolarità o di uno “stato” da un numero limitato a un numero elevato di elementi del sistema, come si

osserva nei fenomeni della diffusione delle mode e delle abitudini, delle epidemie, delle innovazioni, dell'apparire di monumenti dello stesso tipo nello stesso luogo (le 100 torri di Pavia), e la diffusione di nuove lingue (l'inglese come lingua universale). In questi sistemi il feedback è, solitamente, tra micro e macro comportamenti, più che tra effetti. I singoli elementi della base agiscono di norma osservando la frequenza di agenti che hanno acquisito l'oggetto o la caratteristica che si diffonde. I [SD] essere descritti dal seguente modello euristico.

MICRO COMPORTAMENTO E FATTORI NECESSITANTI – Se osservi che un *oggetto* è diffuso allora per te è utile (o inevitabile) possederlo o dannoso non possederlo (fattore necessitante) e devi cercare di acquisirlo;

MACRO COMPORTAMENTO E FATTORI RICOMBINANTI – L'ambiente o la collettività conservano gli oggetti diffusi e riconoscono l'utilità del possesso dell'"oggetto"; quanto più alta è l'utilità dell'acquisizione da parte degli agenti tanto più l'oggetto si diffonde nella collettività;

MICRO-MACRO FEEDBACK. CASO E NECESSITÀ – Maggiore diffusione (macro effetto) implica maggiore volontà (desiderio, ineluttabilità, ecc.) di una acquisizione (micro effetto); l'acquisizione singola (micro comportamento) amplia la diffusione collettiva (macro comportamento). Le prime acquisizioni si formano "per caso" ma poi, se la diffusione non si estingue "sul nascere", "di necessità" cresce nel tempo.

3 – Sistemi di Inseguimento [SI]. Producono un comportamento consistente in uno spostamento graduale del macro effetto verso un obiettivo, proprio come se il sistema, quale entità unitaria, inseguisse una meta o cercasse di transitare verso stati sempre più avanzati; tali sistemi interpretano numerosi fenomeni collettivi quali l'inseguimento dei record di ogni specie, la formazione del brusio nei locali affollati, il mantenimento delle faide e delle guerre e il superamento dei limiti di ogni tipo (il grattacielo più alto, la cattedrale più ricca). I [SI] possono essere descritti dal seguente modello euristico:

MICRO COMPORTAMENTO E FATTORI NECESSITANTI – Se c'è un obiettivo cerca di conseguirlo; se c'è un limite, cerca di superarlo; se un altro individuo ti supera, recupera lo spazio perso (gap negativo); se sei alla pari con lui, cerca di avvantaggiarti; se sei in testa, cerca di mantenere o di aumentare il vantaggio (gap positivo);

MACRO COMPORTAMENTO E FATTORI RICOMBINANTI – La collettività riconosce validità all'obiettivo e considera negativamente il limite; quanto più gli individui cercano di superare il limite, tanto più aumenta la probabilità di superamento, con vantaggio

per chi riesce a superarlo; e ciò incentiva l'inseguimento;

MICRO-MACRO FEEDBACK. CASO E NECESSITÀ – Se tutti cercano di superare il limite (macro comportamento), allora esso si innalza (macro effetto) annullando il vantaggio di chi l'aveva in precedenza raggiunto (micro effetto); e ciò impone ai singoli di superare il limite (micro comportamento). Se "per caso" inizia una competizione per raggiungere un obiettivo o superare un limite, "di necessità" l'inseguimento continua nel tempo e l'obiettivo si innalza.

4 – Sistemi d'Ordine [SO]. Producono un macro comportamento, o un macro effetto, percepibile come il raggiungimento e il mantenimento di una disposizione ordinata tra gli agenti che formano il sistema stesso, come lo spontaneo formarsi di sentieri e di aree di sosta, la formazione di sentieri nei campi, di piste sulla neve, di carreggiate nelle autostrade, le ole nello stadio, il can-can, le sfilate, il mantenimento delle lingue, dei costumi, delle religioni, ecc. I [SO] possono essere descritti dal seguente modello euristico:

MICRO COMPORTAMENTO E FATTORI NECESSITANTI – Vi sono vantaggi nel mantenere un ordine e svantaggi nel romperlo; se vuoi acquisire i vantaggi o evitare gli svantaggi cerca di coordinarti per mantenere l'ordine o per conseguirlo, come indicato dal "programma" che stabilisce l'ordine;

MACRO COMPORTAMENTO E FATTORI RICOMBINANTI – Quanto più si mantiene l'ordine tanto più aumentano i vantaggi di coordinarsi per mantenerlo e gli svantaggi nel romperlo;

MICRO-MACRO FEEDBACK. CASO E NECESSITÀ – L'ordine (macro effetto) genera la convenienza a mantenere l'ordinamento e a rispettare le regole da parte dei singoli (micro comportamenti); l'ordine si forma "per caso" oppure deriva da uno specifico programma operativo; quando è formato, rappresenta un incentivo affinché tutti, "di necessità", mantengano un comportamento coordinato (macro comportamento).

5 – Sistemi di Miglioramento e Progresso [SP]. Hanno l'effetto di produrre un *progresso* nello stato complessivo di una collettività, quale conseguenza della ricerca del *miglioramento* individuale degli agenti. Tali sistemi derivano principalmente dai sistemi di *inseguimento* – e in parte dai sistemi di *ordine* e da quelli di *diffusione* – e agiscono per stimolare gli agenti ad eliminare il gap tra il loro *micro stato* e il *macro stato* del sistema, producendo un *progresso* di qualche specie che stimola il *miglioramento individuale* a produrre nuovo progresso, nel tipico *micro-macro feedback*. Tutte le leggi (metafisiche) del *progresso continuo* non sono altro che il riconoscimento dell'azione del *micro-macro feed-*

back che dirige i Sistemi Combinatori biologici e sociali verso performance sempre più elevate. Possono essere rappresentati con il seguente modello euristico:

MICRO COMPORTAMENTO E FATTORI NECESSITANTI – Se percepisci che il livello del tuo parametro di miglioramento è inferiore al livello del parametro di progresso del sistema – cioè che esiste un gap negativo tra il tuo stato e quello degli altri – cerca di migliorare per ridurre il gap e, se possibile, cerca di conseguire a un gap positivo; se percepisci un gap positivo, non fare nulla, oppure cerca ulteriori miglioramenti per incrementare la situazione a te favorevole;

MACRO COMPORTAMENTO E FATTORI RICOMBINANTI – Il sistema deve essere in grado di ricombinare i livelli di miglioramento individuale e di quantificare un parametro di progresso collettivo che rappresenta l'informazione sulla cui base gli agenti decidono il proprio livello di miglioramento individuale;

MICRO-MACRO FEEDBACK. CASO E NECESSITÀ – Il miglioramento individuale (micro effetto) innalza il parametro che misura il progresso collettivo (macro effetto); ciò porta alla formazione di gap positivi e negativi che spingono i singoli a migliorarsi per aumentarli (se positivi) o per eliminarli (se negativi).

Per rendere evidente la logica di tipici Sistemi Combinatori che producono effetti collettivi a tutti evidenti, presenterò qualche esempio di Sistemi attraverso il modello euristico che li descrive, attribuendo loro un nome tipico per ricordarne immediatamente l'effetto.

Nota: non è possibile in questo articolo presentare automi combinatori che simulano i sistemi di questi tipi. Rinvio il Lettore al mio testo: P. Mella, *Combinatory Systems Theory* (2017), Cap. 3.

2.3 – «Insedimenti-Distretti-Colonie» [SA]

Una città appare come la risultante di un grande numero di decisioni individuali di trovare una residenza o un'abitazione in un posto favorevole; la presenza di una città (o anche di un semplice villaggio) rappresenta proprio l'*informazione globale* che sono state trovate condizioni favorevoli di vita e ciò influenza i successivi micro comportamenti degli agenti di insediarsi in quel luogo, per fruire dei vantaggi della vita collettiva, secondo il modello euristico seguente.

MICRO COMPORTAMENTI E FATTORI NECESSITANTI – se hai necessità di costruire un'abitazione cerca le condizioni favorevoli; se c'è una città, lì si presume che vi siano condizioni favorevoli; aggiungi una nuova abitazione e lasciala in eredità ai discendenti.

MACRO COMPORTAMENTO E FATTORI RICOMBINANTI – La costruzione di nuove case rafforza l'insediamento urbano e conferma l'informazione che vi sono condizioni favorevoli (opportunità, servizi, protezione, ecc.); quanto più antica e ampia è la città tanto più alto è l'incentivo di insediamento per i nuovi venuti.

MICRO-MACRO FEEDBACK. CASO E NECESSITÀ – Una città sorge *per caso* ma, una volta iniziato, il fenomeno di *necessità* si mantiene nel tempo fino a quando operano i fattori ricombinanti e necessitanti.

RINFORZI, INDEBOLIMENTI E CONTROLLO – Eccessivo affollamento, crescita dei tempi di attraversamento, inquinamento, desiderio di solitudine ed esigenza di conservazione del territorio circostante rappresentano fattori di *indebolimento*. Pericolo di invasioni, presenza di bellezze turistiche, incentivi fiscali all'edilizia, offerta di servizi urbani apprezzabili, costituiscono esempi di fattori di *rinforzo*. Il macro controllo può agire mediante la pianificazione urbanistica; il micro controllo opera rafforzando il desiderio di abitare in città o su quello opposto di uscire dall'affollamento.

La logica dell'Insedimento-urbano interpreta anche gli insediamenti industriali di imprese a produzione omogenea. Perché Valenza è la capitale della gioielleria, Vicenza quella dell'oreficeria, Cantù delle sedie, Como della Seta, Silicon Walley dei chip? Quando il numero di imprese che producono uno stesso genere di beni, e che *per caso* si sono insediate nella stessa area, supera il numero minimo di attivazione, allora gli insediamenti di *necessità* aumentano fino alla saturazione compatibile con le risorse urbanistiche e logistiche.

Lo stesso modello è applicabile anche per i sistemi naturali. Perché alcuni scogli sono ricoperti da conchiglie mono valva mentre su altri scarseggiano? Perché le spugne e i ricci di mare si addensano in certe zone marine e non in altre che pure hanno analoghe condizioni? Perché dove *per caso* attecchisce un seme e nasce una pianta si può formare un bosco di piante analoghe? Questi interrogativi ammettono tutti la stessa risposta: quando *per caso* si forma un primo insediamento biologico, il fattore necessitante della riproduzione si unisce al fattore ricombinante costituito dalla presenza della colonia (individui riproduttivi) per attivare il *micro-macro feedback*: la colonia è formata dagli individui ma essa facilita la riproduzione e la conseguente espansione.

2.4 – «Nasce-una-moda» e «Scoppia-l'applauso» [SD]

Una moda – sia essa relativa all'abbigliamento, agli orologi, alle automobili, ai giocattoli, all'uso di una forma linguistica particolare e così via – si genera in

un dato ambiente da una novità introdotta (micro comportamento) *per caso* da un “soggetto ideatore”, al fine di discostarsi dalla consuetudine. Se la novità non piacesse, fosse troppo costosa o presentasse controindicazioni, allora l’episodio resterebbe isolato e non prenderebbe avvio alcun sistema combinatorio. Altrimenti si formerebbe il sistema secondo il modello euristico seguente.

MICRO COMPORAMENTI E FATTORI NECESSITANTI – Se hai necessità di distinguerti, abbandona il tradizionale e segui l’innovazione; se non vuoi essere considerato uno qualunque, un diverso, allora uniformati alla moda ponendo in essere il micro comportamento imitativo.

MACRO COMPORAMENTO E FATTORI RICOMBINANTI – La diffusione dei beni nell’ambiente, quale effetto dei micro comportamenti imitativi aumenta in molti il desiderio di uniformarsi; quanto più è elevato il numero di imitazioni tanto più potente è la moda e tanto più pressante è il desiderio di seguirla, fino a saturazione.

MICRO-MACRO FEEDBACK. CASO E NECESSITÀ – La diffusione della moda è la risultante dei micro comportamenti imitativi dei singoli individui ma condiziona quelli futuri; l’idea innovativa nasce *per caso* e condiziona le prime imitazioni; una volta iniziato, *di necessità* il fenomeno imitativo si mantiene, fino a quando non si arriva alla densità di saturazione.

RINFORZI, INDEBOLIMENTI E CONTROLLO – Pubblicità e gratificazione sociale rappresentano rinforzi per il sistema; riprovazione sociale (moda delle corse sfrenate in automobile, per es.) e repressione costituiscono *indebolimenti*; il macro controllo deve agire per limitare la disponibilità dei beni acquistabili; il micro controllo, sulle preferenze individuali.

L’applauso, un atto di consenso, di apprezzamento, di riconoscenza molto diffuso nella cultura occidentale, è un fenomeno collettivo che, se spontaneo, normalmente segue le regole del sistema combinatorio. Una folla (base) sta ascoltando un oratore in una sala o in una piazza (ambiente); quello interrompe il discorso e prolunga la pausa ... aspettando un applauso. Quante volte abbiamo vissuto questa esperienza! Improvvisamente qualcuno, *per caso*, batte le mani (micro comportamento) producendo il tipico rumore “clap-clap” (micro effetto). Se il numero di coloro che accennano ad applaudire non raggiunge il numero minimo di attivazione, l’applauso “muore sul nascere”; ma se le prime battute non “muoiono” altre si uniscono e l’applauso scroscia; i micro comportamenti si traducono in un macro comportamento (la folla applaude) del quale l’applauso, inteso come tipico unitario rumore, rappresenta il macro effetto. I singoli, battendo le mani, formano l’applauso ma questo impone a tutti, *di necessità*, di continuare a

battere le mani per sostenere l’applauso stesso fino a quando qualcuno smette e il macro effetto si affievolisce; il *micro-macro feedback* inevitabilmente agisce anche nell’opposto senso e l’applauso pian piano si spegne. L’oratore può rinforzare o indebolire l’applauso con gesti plateali di compiacimento oppure volti a zittire.

Il sistema dell’applauso è analogo al Sistema Combinatorio che si manifesta quando in una folla, o in un gruppo di persone, alcuni si alzano in punta di piedi per vedere meglio, costringendo tutti ad alzarsi in punta di piedi. Ciò richiama alla mente il capitolo XIII de *I promessi sposi*:

E tutti, alzandosi in punta di piedi, si voltano a guardare da quella parte donde s’annunziava l’inaspettato arrivo [del gran cancelliere Antonio Ferrer]. Alzandosi tutti, vedevano né più né meno che se fossero stati tutti con le piante in terra; la tant’è [spinti dal micro-macro feedback] tutti s’alzarono”.

Per quanto producano fenomeni completamente diversi, la logica di tali sistemi può essere descritta con un modello euristico del tutto analogo a quello della diffusione della moda con la differenza che il sistema moda produce una diffusione relativamente lenta; quello dell’applauso conduce a una diffusione veloce, a volte quasi istantanea.

2.5 – «Torre-di-Babele» [SO]

Tra i sistemi combinatori più potenti, diffusi e facili da verificare vi sono i sistemi che mantengono una data lingua. La religione cattolica ha trovato nella presunzione e nel fallimento della costruzione della Torre di Babele una spiegazione della presenza di tanti linguaggi diversi ma la Teoria dei Sistemi Combinatori fornisce la giustificazione sia del loro mantenimento, di generazione in generazione, sia della loro modificazione.

Il dialetto toscano non ha sostituito gradualmente il latino, che pure per secoli ha resistito come lingua dotta? L’inglese non sta diventando la seconda lingua “universale”? Il seguente modello euristico che si applica non solo alle lingue correnti ma anche ai linguaggi tecnici e artistici.

MICRO COMPORAMENTI E FATTORI NECESSITANTI – È indispensabile che i tuoi figli possano comunicare nell’ambito della collettività; durante il processo di crescita dei figli e di educazione dei giovani insegna la lingua dei tuoi avi; considera errore qualunque deviazione di sintassi e di semantica e cerca di eliminarla.

MACRO COMPORAMENTO E FATTORI RICOMBINANTI – La comunità conserva e diffonde la lingua degli avi che viene parlata dalla collettività, di generazione in generazione; la lingua viene codificata e trasmessa, il più possibile, immutata.

MICRO-MACRO FEEDBACK. CASO E NECESSITÀ – La lingua (macro effetto) si mantiene perché è parlata dalla collettività (macro comportamento) e ciò costringe i genitori ad insegnare (micro comportamento) quella lingua ai figli (micro effetto). La lingua è la risultante dei micro comportamenti storici ma condiziona i micro comportamenti futuri. Una nuova lingua, o una variante di una vecchia lingua, può essere introdotta *per caso* (immigrazione) in un dato territorio; se si raggiunge la densità di attivazione, il sistema di necessità mantiene la matrice linguistica con la trasmissione ai nuovi nati.

RINFORZI, INDEBOLIMENTI E CONTROLLO – La formazione di un sistema scolastico collettivo e la catalogazione delle regole linguistiche rinforzano notevolmente il sistema; periodiche immigrazioni possono invece indebolirlo.

E evidente come il *modus operandi* di questo sistema si applichi anche al mantenimento delle religioni e di tutte le consuetudini che perdurano nel tempo in un dato territorio.

2.6 – «Traccia-il-sentiero» [SO]

Osservando il fianco di un colle, un ampio tratto di campagna, un bosco o anche, semplicemente, un prato erboso, è facile accorgersi dell'esistenza di sentieri; a volte ne appare uno solo, ben tracciato; altre volte numerosi viottoli attraversano la stessa area, alcuni chiaramente delineati, altri appena sfumati. Come si formano i sentieri? Lascio la descrizione alle parole di von Hayek – integrate con la terminologia dei Sistemi Combinatori – che considera la formazione dei sentieri come un ordine spontaneo (fondato sul solo caso) e così scrive:

Solo nei casi più semplici si riesce a dimostrare brevemente e senza alcun apparato tecnico come le azioni indipendenti dei singoli generano un ordine che non rientra affatto nelle loro intenzioni; in questi casi la spiegazione è di solito talmente ovvia che non ci soffermiamo mai ad esaminare il tipo di argomentazione che ci conduce a quel risultato. Il modo in cui si formano i sentieri in una zona disabitata e accidentata è un esempio di questo genere. In un primo momento ciascuno cerca per proprio conto quello che gli sembra il percorso migliore. Ma il semplice fatto che il sentiero sia stato usato una volta [caso] rende presumibilmente più facile il passaggio, ed è quindi probabile che quel sentiero venga usato ancora [necessità]; e così gradualmente si formano sentieri [macro-effetto] dal tracciato sempre più netto che finiscono con l'essere utilizzati ad esclusione di altri possibili percorsi [macro-comportamento]. I movimenti umani in quella zona tendono a conformarsi [fattore necessitante] ad un modello ben definito che, pur essendo il risultato di decisioni deliberatamente prese da molte persone, non è stato consapevolmente

progettato da nessuno [sistema spontaneo]" (Hayek, 1988, p. 132).

Una spiegazione più completa è data dal seguente modello euristico.

MICRO COMPORTAMENTI E FATTORI NECESSITANTI – Se hai necessità di attraversare un sito, cerca di percorrere l'ambiente (campo, pendio, parete, ecc.) con la massima razionalità; se c'è un sentiero nella giusta direzione, o in direzione non troppo diversa da quella desiderata, seguilo; altrimenti cerca il percorso che ottimizza i tuoi parametri di razionalità individuale.

MACRO COMPORTAMENTO E FATTORI RICOMBINANTI – Dal successivo sovrapporsi di tracce singole (micro effetti) si forma il sentiero (macro effetto) che indirizza un flusso di persone ad attraversare (micro comportamento) nella direzione da esso indicata, formando così il macro comportamento della collettività dei passanti.

MICRO-MACRO FEEDBACK. CASO E NECESSITÀ – Non si può sapere da dove il *caso* farà provenire gli individui e verso dove questi saranno indirizzati, ma quando il sentiero si è formato in una data direzione, esso rappresenta l'informazione globale che spinge i successivi passanti ad attraversare percorrendo il sentiero che, in tal modo, continuamente si rinforza.

RINFORZI, INDEBOLIMENTI E CONTROLLO – Se il sentiero sorge in un ambiente libero, ed è considerato percorso efficiente, possono essere attuate azioni di rinforzo: posizionamento di paracarri, lastricatura e asfaltatura (i primi sentieri romani sono diventate strade che ancora oggi danno la direzione più efficiente), indicazione su cartine topografiche, ecc.; se il sentiero attraversa un territorio privato, il proprietario può porre in essere azioni di *indebolimento* la più drastica delle quali è rappresentata dal «divieto di accesso» e dalla sorveglianza relativa. Il macro controllo si manifesta con azioni sul sentiero (asfaltatura, cartelli segnaletici, ecc.); il micro controllo con interventi sui passanti (convincimento, minacce, ecc.).

Il modello euristico appena presentato si applica anche a fenomeni di natura alquanto differente. Ecco come Hofstadter descrive un Sistema Combinatorio formato da una base di formiche:

[...] Ora lo capisco molto meglio. Sembrerebbe che fenomeni di gruppo dotati di coerenza, come ad esempio la formazione di colonne [di formiche], abbiano luogo soltanto quando viene coinvolto un certo numero critico di formiche (numero minimo di attivazione). Se uno sparuto numero di formiche in qualche luogo inizia, magari per caso, a fare una certa cosa, può verificarsi una di queste due alternative: l'iniziativa muore dopo un vano tentativo di avviarla [...] quando non vi è un numero sufficiente di

formiche per portarla avanti? [...] (Hofstadter, 1986, p. 343).

2.7 – «Batti-il-record» e «Faida-eterna» [SI]

Il record, in qualsivoglia specialità sportiva, sancisce “il migliore in assoluto”; si assiste, per questo, a una vera e propria corsa al record. Chi compete non si accontenta di gareggiare per eguagliare il record ma fa ogni sforzo per superarlo. I record sono, pertanto, destinati a essere gradualmente migliorati. Il miglioramento del record e l’innalzamento del risultato medio delle gare (macro effetti) è provocato dai risultati (micro effetti) ottenuti dagli atleti che gareggiano (micro comportamenti) e che diffondono l’attività agonistica generale (macro comportamento), motivati dal record da battere, secondo la logica descritta nel seguente modello euristico.

MICRO COMPORTAMENTI E FATTORI NECESSITANTI – Se c’è un record e vuoi distinguerti e dimostrare di essere “il migliore”, devi gareggiare per vincere e per cercare di battere il record; la partecipazione alle gare ti fa onore e in caso di vittoria sarai premiato.

MACRO COMPORTAMENTO E FATTORI RICOMBINANTI – Il record è riconosciuto meritevole di stima dalla collettività; il tentativo generalizzato di battere il record aumenta la “voglia di record” e migliora le performance medie così che per gareggiare con successo è necessario un più intenso allenamento; e ciò porta, prima o poi, a migliorare il record ma anche a un nuovo innalzamento delle performance sportive.

MICRO-MACRO FEEDBACK. CASO E NECESSITÀ – Il miglioramento del record (macro effetto) e l’innalzamento del risultato medio delle gare (micro effetti) sono provocati dalle performance degli atleti (micro comportamenti) i quali, a loro volta, sono condizionati dal record da battere; il primo record nasce *per caso* quando si raggiunge un numero minimo di atleti che trovano interessante gareggiare; *di necessità* il record si mantiene fino a quando la collettività lo giudica favorevolmente.

RINFORZI, INDEBOLIMENTI E CONTROLLO – Il tributo di onore e fama al recordman e la presenza di premi cospicui in caso di vittoria rappresentano *rinforzi*; se la conquista del record provocasse incidenti, con vittime, e se il costo delle gare diventasse insostenibile, si avrebbe un *indebolimento* per riprovazione della collettività (doping). L’enfasi data al record e la creazione di luoghi ove praticare l’attività sportiva sono forme di macro controllo del sistema. L’educazione allo sport rappresenta un tipico intervento di micro controllo.

Il sistema appena descritto è ampiamente generalizzabile in quanto si applica nello stesso schema in tutti i casi nei quali viene posto un limite – per es.

un limite di velocità – o una norma, in generale, e tale limite e tale norma vengono disattesi, ponendo in essere micro comportamenti di superamento del limite che finiscono per provocare l’abbandono del limite stesso.

Anche il fenomeno “faida” può essere interpretato come sistema combinatorio semplice da descrivere in quanto analogo al sistema “record”. Se Abele avesse avuto un figlio vendicativo probabilmente questo si sarebbe vendicato con Caino o con suo figlio e avrebbe avuto origine la faida più antica della storia. Il sistema faida è più diffuso di quanto non si pensi poiché rientrano in questa tipologia non solo le faide tra famiglie singole o fazioni (Guelfi e Ghibellini) ma anche quelle tra contrade, tra tribù e perfino quelle tra popoli e nazioni, come le secolari guerre mediorientali, nordafricane e balcanici testimoniano ancora oggi. Qualcuno, *per caso*, subisce un torto; se perdona, o se richiede giustizia presso le competenti autorità, la faida non inizia. Il fenomeno di avvia, invece, quando chi ha subito il torto (micro effetto) si vendica (micro comportamento), creando l’occasione per una contro-vendetta che, a sua volta, richiede una reazione violenta che *di necessità* mantiene questa barbara usanza (macro comportamento).

2.8 – «Qualità-crescente» [SP]

Un sistema combinatorio veramente importante, che porta ad un progresso nel modo di produrre e di utilizzare i beni ottenuti, è quello che opera sulla *qualità* dei beni prodotti. La storia dell’umanità – come possiamo constatare da una semplice “lettura” dell’ambiente economico e tecnico in cui viviamo – è la storia del miglioramento continuo della qualità dei beni:

Tutti ci siamo resi conto che è stato un grande progresso passare dal cinema muto al cinema parlato, e a nessuno piacerebbe tornare indietro. Sembrerebbe un peccato privare chi parla della possibilità di illustrare le sue idee quantitativamente o graficamente alla lavagna o con diapositive colorate in aiuto alle sue parole (Peirce, 1979, p. 118).

Il modello euristico del sistema può essere così rappresentato.

MICRO COMPORTAMENTI E FATTORI NECESSITANTI – Se le tue vendite si riducono a favore di altri produttori che hanno introdotto *miglioramenti di qualità* nei loro prodotti o processi, e vuoi rimanere nel sistema economico come produttore – e se non puoi agire sulla produttività, riducendo i costi ed i prezzi –, devi a tua volta cercare di migliorare la qualità dei tuoi prodotti.

MACRO COMPORTAMENTO E FATTORI RICOMBINANTI – Un miglioramento della qualità in un prodotto si diffonde e inizia la “gara” per innalzare il

livello medio di qualità dei prodotti analoghi del sistema produttivo; la qualità individuale di ciascun produttore deve almeno eguagliare – o, preferibilmente superare – il livello medio di qualità del sistema.

MICRO-MACRO FEEDBACK. CASO E NECESSITÀ – Il miglioramento della qualità media a livello di sistema produttivo è la risultante dei micro comportamenti passati ma condiziona esso stesso la ricerca di nuovi miglioramenti qualitativi da parte dei singoli produttori. Un'innovazione atta a produrre un aumento della qualità viene introdotta *per caso* ma essa costringe altri produttori a trovare *di necessità* i mezzi e le forme per migliorare la qualità dei loro prodotti

RINFORZI, INDEBOLIMENTI E CONTROLLO – incentivi all'innovazione, presenza di centri di ricerca specializzati, alta motivazione al profitto, sono esempi di *rinforzi* al sistema; condizioni di monopolio e scarsa sensibilità dei consumatori sono esempi di *indebolimenti* del sistema. Il macro controllo può essere esercitato con leggi che favoriscano o inibiscano l'introduzione di innovazioni o con interventi sul sistema educativo del paese in cui le imprese reperiscono le risorse umane; il micro controllo agisce invece sui singoli produttori con incentivi di vario genere per lo sviluppo della ricerca e della creatività.

3 – PARTE TERZA. IL VALORE EURISTICO DELLA TEORIA DEI SISTEMI COMBINATORI

3.1 – *Spiegazione procedurale*

Sorge spontaneo domandarsi come la Teoria dei Sistemi Combinatori, pur essendo fondata su tre semplici “pilastri” (Parte prima), possa interpretare così tanti e così vari fenomeni.

Per la risposta, occorre ricordare che ci sono almeno tre tecniche di spiegazione:

a) *spiegazione classica* o di causa-effetto (o funzionale); secondo questa tecnica, normalmente impiegata nelle scienze sperimentali, un fenomeno viene spiegato facendolo derivare da altri che sono le sue *cause* tenendo conto di alcune *condizioni iniziali* e particolari relative alla situazione in cui il fenomeno osservato si manifesta; se facciamo riferimento alle “cause finali”, otteniamo la *spiegazione teleologica*;

b) *spiegazione sistemica* o interfunzionale; a volte non esiste la causa di un fenomeno; esso è funzione di una pluralità di altri fenomeni e contemporaneamente influisce su di quelli, in un intrecciarsi di *loop* di rinforzo e di bilanciamento (Mella, 2012); la spiegazione consiste allora nel ricostruire il siste-

ma nel quale il fenomeno osservato è inserito e di analizzarne la dinamica;

c) *spiegazione procedurale*; ricorriamo ad essa in tutti i casi in cui un fenomeno non deriva da altri che lo producono (cause) o che sono interrelati (sistema) ma è piuttosto il risultato dell'applicazione di qualche *procedura* (processo, programma, elaborazione, algoritmo, ecc.) che consente di ottenerlo quale risultato da date o supposte regole. La teoria darwiniana dell'evoluzione, per es., è un potente strumento di spiegazione procedurale.

Appare evidente che anche la Teoria dei Sistemi Combinatori costituisce un efficace strumento per la *spiegazione procedurale* dei fenomeni dinamici che derivano dall'azione di collettività, quando queste sono considerate come *unità* osservative e non solamente come aggregati di individui.

Quattro sono gli aspetti che rendono la Teoria particolarmente efficace:

1) non si limita a descrivere il macro comportamento di una collettività, ma impone soprattutto di ricercare e di rendere palese il *feedback* tra macro e micro comportamenti o tra loro effetti; in questo senso, attinge dalla *spiegazione sistemica*;

2) impone di ricercare e di rendere palesi i *fattori necessitanti* e i *ricombinanti* tramite i quali *il caso* innesca le dinamiche che “*di necessita*” poi si mantengono; in questo senso, attinge dalla *spiegazione causale classica*;

3) la spiegazione procedurale offerta dalla Teoria ci consente anche di individuare le forme più efficaci di controllo;

4) non si limita a considerare le interazioni locali tra gli individui, secondo le procedure dei sistemi complessi tradizionali, né le sole dinamiche globali, come la sinergetica, ma cerca di individuare le interazioni tra macro e micro comportamenti ed effetti.

3.2 – *Caso, necessità, e libertà*

La teoria dei Sistemi Combinatori – proprio in quanto propone una spiegazione procedurale dei fenomeni collettivi – consente di porre in luce i meccanismi di fenomeni che vengono giustificati con diverse teorie.

Ricordo tra tutte il fenomeno della *path dependence* che rappresenta la prova evidente dell'azione del *micro-macro feedback*. La teoria della *path dependence* – o teoria della *dipendenza dal percorso* – studia, infatti, i fenomeni di diffusione e di accumulazione che si sviluppano ineluttabilmente secondo un “percorso”, secondo una “storia”, nella quale gli agenti potrebbero risultare ingabbiati (*locked-in*) nel determinare le loro scelte, anche se fossero presenti contemporaneamente condizioni alternative che potrebbero essere più vantaggiose:

Una volta che un percorso è stato selezionato da una serie di eventi economici casuali, la scelta resta fissata (locked-in) indipendentemente dai vantaggi delle alternative (Arthur, 1990, pp. 92).

Proprio riflettendo sulla *path dependence*, appare evidente che la Teoria dei Sistemi Combinatori ripropone, in nuova veste, la “solita” questione della libertà degli individui di decidere del proprio futuro, in assenza di cause o di vincoli, quindi nelle condizioni della più ampia autodeterminazione.

Anche se apparentemente liberi di autodeterminarsi, gli agenti che compongono la base di un Sistema Combinatorio, non essendo consapevoli dell'azione inflessibile del *micro-macro feedback* e dei fattori *necessitanti* e *ricombinanti* che lo sostengono, pongono in essere micro comportamenti solo apparentemente liberi ma, di fatto, determinati, diretti o condizionati, in misura più o meno estesa, dal *macro comportamento* o dal *macro effetto* del sistema che *per caso* essi hanno contribuito ad avviare.

Per gli agenti, il Sistema Combinatorio diventa un'entità sovraordinata che con il proprio macro comportamento, vincola i micro comportamenti. Nel sistema che produce un moto rotatorio in un dato senso (orario o antiorario) in una sala da ballo, gli individui che vogliono danzare devono *di necessità* seguire quel moto, perpetuandolo, in ciò manifestando una discrezionalità veramente limitata di cambiare direzione di ballo. Non c'è processo *path dependent* più evidente.

Quando agiscono i Sistemi Combinatori, la libertà potenziale viene, di fatto, condizionata dal *vincolo* sostanziale rappresentato dal *micro-macro feedback* e tale vincolo appare tanto più intenso quanto più intensi sono i fattori *necessitanti* e *ricombinanti* e l'intensità viene accentuata in presenza di *rinforzi*. Se riflettiamo sulla nostra quotidiana esistenza alla luce della teoria dei Sistemi Combinatori, non è difficile rendersi conto di quanto limitata sia la libertà delle nostre scelte, perché ciascuno di noi è un agente di una molteplicità di sistemi combinatori che operano contemporaneamente sovrapponendo i propri effetti e spesso moltiplicandoli. In tali termini il problema della libertà individuale dovrebbe essere riconsiderato.

3.3 – Razionalità individuale e comportamento collettivo

Il fenomeno della *path dependence* ci induce ad una nuova riflessione: è possibile che micro comportamenti *razionali* producano un macro comportamento *irrazionale*, anche in grado di provocare effetti catastrofici per l'intero sistema? La risposta è affermativa: poiché i singoli agenti – ignorando l'esistenza del *micro-macro feedback* – pongono in essere un micro comportamento che, dal loro punto di vista

locale, ottimizza i micro effetti, possono generare un macro comportamento *globale* in grado di disgregare il sistema.

È questo il caso, per esempio, del micro comportamento di una persona che fugge in mezzo ad una calca impazzita (base) per un incendio (fattore ricombinante) in uno spazio angusto (fattore ricombinante) spinta dalle persone che la circondano (fattore necessitante). Così Dupuy ha descritto questo fenomeno:

Al grido di “al fuoco!”, tutti si precipitano come pecore di Panurgo nello stesso vicolo cieco. Ognuno si orienta sul movimento di insieme [micro-macro feedback] come se fosse dotato di scienza infusa [...]. Nessuno ha la minima padronanza rispetto ad un tutto che sembra essere animato di volontà propria [macro-comportamento e micro-macro feedback]. L'esteriorizzazione dell'essere collettivo rispetto ai suoi membri diventa allora massima [si forma il sistema combinatorio]: nessuno riconosce più il prodotto delle proprie azioni [effetto necessitante] (Dupuy, 1986, pp. 11-12).

Seguendo la teoria dei Sistemi Combinatori, riconosciamo facilmente che quando la folla ha assunto una direzione (macro comportamento), questa *di necessità* si mantiene (*path dependence*) anche se la folla si avvicina pericolosamente ad uno sbarramento; il *micro-macro feedback*, alimentato dalle fughe individuali, guidate dalla fuga collettiva, può provocare la catastrofica azione di schiacciamento, così frequente nel corso di questi fenomeni.

Non intendo ridurre il significato di *libertà* e di *razionalità*; al contrario, l'individuo che sviluppa micro comportamenti *guidato* dal *micro-macro feedback*, tiene un comportamento perfettamente *razionale* a livello *locale*; sarebbe irrazionale per una singola coppia cercare di danzare in senso contrario alla rotazione prodottasi della sala e, pertanto, non è libera di prendere una decisione in tal senso; come sarebbe irrazionale per un imprenditore non tenere conto di un'innovazione tecnica e danneggiare la propria impresa continuando a produrre con processi obsoleti; non ha libertà in tal senso; e se un ricercatore universitario è libero di non seguire una nuova scoperta scientifica, è altrettanto libero, ma non razionale, di continuare ad essere eliminato dai concorsi universitari.

NOTA BIBLIOGRAFICA

Per approfondire la Teoria dei Sistemi Combinatori, rinvio al mio volume: P. Mella, *The Combinatory Systems Theory. Understanding, Modeling and Simulating Collective Phenomena*. Springer International Publishing, 2017; o anche al mio volume: P. Mella, *Razionalità e libertà del comportamento collettivo*, Franco Angeli, Milano, 1999, dal quale ho rielaborato alcune parti di questo articolo.

Ho trattato i Sistemi Combinatori in diversi articoli ma, in particolare, in:

Mella P. (2017). The Unexpected Cybernetics Life of Collectivities. The Combinatory Systems Approach. In *Kybernetes* - ISSN:0368-492X vol. 46 (7).

Mella P. (2013). The 100 towers of medieval Pavia: a social phenomenon explained by the Combinatory Systems approach. *International Review of Social Sciences and Humanities*, Vol. 5, p. 168-183.

Mella P. (2008). Observing Collectivities: The Combinatory Systems Approach in Social Sciences, *The International Journal of Interdisciplinary Social Sciences*, Common Ground, n. 3/1, pp. 213-223.

Mella P. (2007). Combinatory Systems and Automata: Simulating Self-Organization and Chaos in Collective Phenomena, *The International Journal of Knowledge, Culture & Change Management*, Common Ground, N. 7/2, pp. 17-28

Mella P. (2006). Spatial co-localisation of firms and entrepreneurial dynamics The combinatory system view, *International Entrepreneurship and Management Journal*, Kluwer/Springer Science, vol. 2: pp. 391-412.

Mella P. (2005). Observing Collectivities as Simplex Systems: The Combinatory Systems Approach, *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*,

Mella P. (2004). *Enterprises and Entrepreneurial Dynamics. The Combinatory Systems View*. In Azienda, economia, impresa ed università, (editor) Emidia Vagnoni, Este Edition. Ferrara. pp. 141- 157.

Mella P. (2002). *Complex Systems vs. Simplex Systems: the behaviour of collectivities following the Combinatory System view*. Japan Society for the Promotion of Science. Tokyo, Japan. The VI International Conference-Complex Systems. Vol. 9, No. 2, pp. 121-153.

Testi citati

Arthur, W. B., (1990) Positive Feedbacks in the Economy, in "Scientific American", 262: 92-99, pp. 92).

Dupuy J.P., Ordini e disordini. Inchiesta su un nuovo paradigma, Hopefulmonster, Firenze, 1986, pp. 11-12.

Gardner, M. (1970). Mathematical games: The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life". *Scientific American*, 223(4), 120-123.

Haken H., Sinergetica, Boringhieri, Torino, 1983.

Hayek von F. A., Conoscenza, mercato, pianificazione, Il Mulino, Bologna, 1988, p. 132.

Hofstadter, D. (1986, prima ed. 1979) Gödel, Escher, Bach, Adelphi, Milano.

Mella P. (2007), Guida al Systems Thinking, Il Sole 24 Ore, Milano.

Mella P. (2014). The Pillars of Learning. Understanding, Studying and Explaining. In *Creative Education*. vol. 5(17), pp.1615-1628.

Monod, J. (1976). Il caso e la necessità: saggio sulla filosofia naturale della biologia contemporanea. Ed. Scientifiche e Tecniche, Mondadori, Milano.

Peirce J. (1979) Onde e messaggi, Zanichelli, Milano.

Schelling, T. C. (2006 prima ed. 1978). Micromotives and macrobehavior. New York-London: WW Norton & Company.

Smith A. (1976) An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations (riprodotto in Sources of the Western Tradition, Mifflin, Boston 1999),

von Bertalanffy, L. (1968). General system theory: Foundations, development, applications. New York, NY: Braziller.