

L'ECONOMIA DEI SISTEMI COMPLESSI

1. Introduzione

Il presente saggio intende contribuire a ricercare se esistano, e se sì quali siano i nessi logici fondamentali tra due importanti dimensioni (a prima vista non strettamente legate tra di loro, ma sospettiamo che questa prima impressione sia ingannevole) della ricerca economica condotta, nei diversi periodi e punti focali della sua vasta attività, da Giuseppe Gaburro; ed infine: quale sia la fertilità ed il senso oggi di ricercare e stabilire un tale nesso. Ci riferiamo qui a quello che lega tra loro: da un lato le questioni relative alla teoria dei sistemi e le sue applicazioni agli studi sociali, uno dei temi più moderni caratterizzanti le innovazioni metodologiche da lui introdotte sin dai primi tempi; e dall'altro le questioni fondative di una

¹ Enzo Fabio Arcangeli (Laurea Sociologia, Trento; Ph.D. Science and Technology Policy, Sussex) dal 1977 al 1991 è stato *lecturer* di Economia Urbana e Regionale, IUAV, Venezia; qui nel 1986 ha promosso con Paul David, Giovanni Dosi e Maurizio Rispoli, la “*Venice Conference on Innovation Diffusion*”. Dal 1991 al 2001 ha insegnato Istituzioni di Economia al corso di Ingegneria Gestionale di Vicenza (Univ. Padova), e dal 2001 è professore Straordinario di Economia Urbana e Regionale, e di Economia del Cambiamento Tecnologico, alla Facoltà di Economia di Verona. Nel campo delle scienze regionali, è stato Segretario del Comprensorio dei Comuni della laguna di Venezia ex-Legge Speciale, socio fondatore dell’AISRe (Assoc. Ital. Sci. Reg.) ed ora di SPERA (consorzio studi sviluppo locale). Ha tenuto corsi avanzati ed è stato Visiting Professor in Africa del Sud, Brasile, Europa e Stanford; ha partecipato all’attività di: Association pour l’étude de la pensée de Simone Weil, Fondazione Istituto Gramsci Veneto. Ha pubblicato articoli di economia regionale, della conoscenza e diffusione tecnologica (per la quale ha un forte debito intellettuale verso Keith Pavitt) in particolare in: *Economia e Societade* (di cui è membro di redazione), *Papers of the RSA*, e *Research Policy*. Ha svolto ed ha in corso progetti di ricerca: sull’economia di Internet col prof. Christian Genthon; simulazione di sistemi urbani con Giorgio Padrin; etica ed economia (studi su E. Levinas e S. Weil). È padre di due figlie, di 30 e 20 anni: Tania e Margherita. Figlio di Fulvio e M. Antonietta Faedo. Dopo Venezia e Parigi, ora risiede in riva all’Adige: camera con vista su Baldo e Valpolicella.

² Giorgio Padrin (laurea in Ingegneria Gestionale, Padova; PhD in Ingegneria Gestionale, Padova) si occupa di modelli computazionali per sistemi complessi, forme organizzative distribuite in rete e nuovi media della comunicazione e dell’interazione. Attualmente è assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Scienze Economiche dell’Università di Verona.

³ Marco Sandri è sin dal 1989 (anno di laurea in Economia e Commercio, Verona) coinvolto nello studio della teoria dei sistemi complessi, nei suoi diversi sviluppi: sistemi dinamici non lineari, caos, automi cellulari, reti neurali, SOC, algoritmi genetici. E’ inoltre da anni impegnato nell’approfondimento della matematica e statistica computazionali e collabora con numerosi ricercatori (soprattutto nel campo della fisiologia, psichiatria e genetica) in qualità di esperto di statistica applicata. Autore di vari lavori nel campo dei sistemi complessi (e non solo), buona parte della sua attività scientifica e delle sue informazioni bibliografiche (e non solo) sono raccolte sul sito: <http://www.msandri.net>

economia della solidarietà, lo sforzo di introdurre anche un nuovo punto di vista, esterno e laterale al sistema industriale moderno, che tanto ha attirato le energie e ricerche di Gaburro [Baranzini (2003)].

L'ipotesi che ci guida in un'esplorazione di alcuni temi scelti di recente evoluzione metodologica nelle scienze sociali è presto detta: noi pensiamo che le nuove tradizioni di ricerca ed i nuovi punti di vista sui "sistemi complessi" consentano di coniugare compiutamente, ed oggi assai più facilmente che nel passato anche recente, queste due anime e motivazioni della ricerca sociale: innovazione metodologica "sistemistica" e compassione per le sofferenze del, e nel Moderno. Riteniamo quindi che dal punto di vista qui proposto emerga con forza il carattere fortemente pionieristico di tutta l'opera scientifica di Gaburro concepita nel suo insieme, forse talora "troppo" avanti, anticipatrice dei tempi e dei mezzi critici già a disposizione.

Inoltre ne deriva un lascito, una pista aperta da proseguire con i nuovi strumenti via via disponibili: in fondo a cos'altro si potrebbe ridurre il fuoco centrale, unificante dei molti punti focali dei suoi lavori, se non in un'idea e *core mission*: cercare progressivamente una fondazione scientifica profonda e metodologicamente rigorosa; ad una nuova economia sociale, che sia aperta alle dottrine e valori cristiani, ma non fondata solo in senso storico, con radici ideologiche e valoriali (ad es. per le sue radici nella rinnovata dottrina sociale della Chiesa), ma anche radicata nella frontiera scientifica; e ciò per differenziazione dal, e maturazione del nucleo originario di studi di economia alternativa e solidaristica che in vari sensi ha connotato la nascita ed i primi passi degli studi economici universitari a Verona [Tondini (1993)].

Per il riferimento all'opera di Giuseppe Gaburro da cui muoviamo ci basti qui ricordare due specifici "salienti" della sua ricerca che collegano, in modo molto emblematico, la sua opera di pioniere dell'economia non *mainstream* di oggi e, ci permettiamo di suggerire, forse anche di profeta di quella *mainstream* di domani, visto che nel seguito discetteremo di veri e falsi profeti di una "nuova scienza" della complessità. I due salienti da cui muoviamo la nostra riflessione sono i seguenti.

Possibili percorsi verso una macro-economia evolutiva.

Il controllo ottimo, così come è stato da lui affrontato ed applicato in molti dei suoi lavori in prospettiva sistemistica, riscontra una caratteristica assai diffusa oggi nella scienza non classica: la sorpresa e la storicità; allontanandosi da facili e prevedibili traiettorie verso un equilibrio, i sistemi mostrano reazioni sia inattese [Bertuglia e Vaio (2003)] che dipendenti dal percorso, nella cosiddetta ipotesi di "irreversibilità debole" delle loro traiettorie dinamiche [David (1985), David(1992), David (2001)]. Pertanto il sistema sociale italiano in una certa fase del suo sviluppo storico, mostra una particolare criticità dei processi inflazionistici per politiche sociali "ottime" [Gaburro (1984)] o, per semplificare, come è stato spesso osservato e discusso nei dibattiti di politica economica degli scorsi decenni, una propensione latina o mediterranea e non mitteleuropea all'inflazione, ma anche una possibilità di rimodellarla senza reprimerla e soffocarla. Se ciò appare da un mutare del punto di vista da cui si guarda al sistema macro, come ignorare che nuove possibilità di "controllo" potrebbero emergere non solo e non tanto da un pianificatore illuminato ma anche dall'emergere di nuove agenzie e comportamenti collettivi disordinati sì, ma sinergici? E quindi da comportamenti sempre "latini" ma meno generatori di disordine inflattivo.

Requisiti di un sistema sociale capace di raccogliere ed esprimere anche compassione nelle relazioni interpersonali [Gaburro (1997)].

L'altro saliente che segue, è l'indagine sulle proprietà aggregative di comportamenti emanati da una razionalità *comprehensive* che, per usare un'efficace immagine di sintesi, abbia già subito una appropriata e riuscita cura analitica e non sia più miopemente, ossessivamente competitiva, infantilmente incapace di investire in reti. Cosa emerge in un tale sistema sociale, quale tipo di società civile si evolve e crea complessità, spessore tra individuo ed istituzioni, se essa è percorsa da onde di comportamenti solidali, dalle loro reciproche influenze e *reinforcements*, dall'intessersi di reti cooperative e la loro co-evoluzione con gli ambienti istituzionali, costituzionali? In fondo, un tema in cui gli studiosi italiani sono sulla, e forse "la" frontiera mondiale, con Bagnasco e Becattini, Sabel ed il vuoto lasciato da Brusco.

A questi due nodi problematici, ed ai possibili, molteplici fili comuni che li attraversano, corrispondono grosso modo, anche se non specularmente, i due temi principali di questo nostro contributo di riflessione:

1. la *self-organising criticality* che esprime nuovi punti di vista su stabilità e dinamica in un sistema macro, aggregato nel suo assieme e nella natura delle sue relazioni costitutive, senza perdersi troppo nel dedalo dei dettagli delle sue relazioni costitutive interne;
2. i sistemi complessi distribuiti che invece mettono a fuoco i legami micro-macro in reti e sistemi, che accomunano una grande ricchezza e varietà, con dei comportamenti emergenti che li attraversano e sincronizzano: nuove idee guida di certo per il postfordismo, ma forse anche per un capitalismo compassionevole (ossimoro?) o un post-capitalismo, una riforma od una transizione?

Quanto segue è un percorso di guida tra alcuni dei filoni metodologici che in generale accomunano ed affiancano scienze sociali e non: le sezioni centrali del contributo delineano in modo semplice due fecondi paradigmi di lettura dei sistemi complessi, che hanno già dimostrato la loro rilevanza interpretativa ed una ampia applicabilità ai fenomeni economici e sociali, e che inoltre si prestano a delineare modelli di interazione tra agenti mossi da una grande varietà di profili motivazionali, rovesciando ogni supremazia a priori di un fragile, difficile *homo oeconomicus* sottomesso alla ossessione paranoica del gioco di ruolo competitivo. Benché ciò sarebbe in tema, qui non svolgiamo nessuna rassegna della letteratura oggi emergente che mette in relazione, nello studio dei sistemi sociali complessi, il gioco strategico ed aggregativo tra i diversi profili e varianti di egoismo ed altruismo (si vedano su ciò rassegne e nuovi contributi in [Sacco e Zamagni (2002)]). Al contrario si illustrano i profili metodologici di due singoli paradigmi a nostro avviso particolarmente rilevanti, che stanno entrando rapidamente nella "*box of tools*" dello scienziato e dell'operatore sociale.

Infine, a conclusione del contributo si cercano alcune verifiche su dove sia e dove vada l'economia applicata a metà strada tra vecchi e nuovi strumenti, prendendo come test il caso dell'economia urbana, e più precisamente la sua domanda di sempre: come sappiamo spiegare oggi, in quanto economisti non standard o "nuovi geografi economici" (semi-standard), la prima e più antica forma di solidarietà nelle civiltà nomadi e stanziali, l'agglomerazione e congestione in uno spazio di risorse, per l'addensarsi di forza lavoro e processi?

2. Power laws: pervasivi fatti stilizzati

Come faremo a conclusione del saggio, iniziamo pure il nostro percorso di ricerca da dei

fatti stilizzati in cerca di teoria esplicativa, anzi dalla madre e fattrice di tanti fatti stilizzati: la legge di potenza.

In generale si parla di *power law* ogni qualvolta una delle quantità (chiamiamola N) che descrivono il sistema sotto osservazione può essere espressa come potenza di un'altra quantità x :

$$N(x) \propto x^{-k}$$

dove k è un qualche numero reale positivo, detto parametro di *scaling*. Tracciando un grafico del logaritmo di N rispetto al logaritmo di x , la *power law* si manifesta dunque come una retta negativamente inclinata, con inclinazione pari a k . Infatti: $\log(N) = c - k \log(x)$.

Più in particolare, le distribuzioni di probabilità di tipo *power law* si esprimono solitamente in una delle seguenti due forme:

1. la probabilità di un evento di intensità x è una *power law* dell'intensità stessa: $P[X = x] \propto x^{-a}$. (Talora la medesima legge viene scritta in termini di funzione di distribuzione cumulata: $P[X \geq x] \propto x^{-b}$ e risulta: $a=b+1$ [Mitzenmacher (2001)]);
2. la probabilità di un evento di rango r è una *power law* del valore del rango: $P[X = r] \propto r^{-g}$.
In questo secondo caso la distribuzione viene ordinata secondo la loro frequenza di apparizione: l'evento o lo stato più frequente o probabile ha rango 1, il secondo più probabile ha rango 2 e così via.

Due sono le caratteristiche principali di questo tipo di distribuzioni: (a) le loro code sono in generale molto più grosse di altre distribuzioni, quali ad es. l'esponenziale; (b) esse godono della cosiddetta invarianza di scala, cioè un cambiamento di scala $x \rightarrow Ix$ viene assorbito in una costante di normalizzazione C , lasciando invariata la forma della legge. In simboli: $N(Ix) = cI^{-k} x^{-k} = C x^{-k}$, dove $C = cI^{-k}$. Questa proprietà implica che non esiste una dimensione media o tipica per le fluttuazioni di x : i grandi eventi, solitamente trattati come inaspettati e non spiegabili, qui si conformano alla medesima legge probabilistica che descrive tutti gli altri eventi di piccola o media intensità. Questa proprietà indubbiamente cambia la prospettiva epistemologica e lo sguardo sulle applicazioni della matematica e della statistica dei valori estremi, con enormi conseguenze empiriche nei molteplici campi di osservazione di questi fenomeni *scale free*. Come vedremo, l'invarianza di scala è una proprietà fondamentale che lega le *power law* alle nozioni di criticità ed auto-similarità.

Una vasta letteratura ha negli ultimi decenni dimostrato che un elevatissimo numero di fenomeni naturali (e non) è caratterizzato da relazioni di tipo *power law*: la distribuzione delle intensità dei terremoti, dei redditi degli individui, delle fluttuazioni delle variazioni dei prezzi dei titoli in un mercato finanziario, del numero di specie estinte durante l'evoluzione biologica (tutti esempi di *power law* della forma (1)) e poi ancora la distribuzione della frequenza delle parole, del numero di accessi ad un sito web, della popolazione nelle diverse città (forma (2)). La legge di Zipf, di Pareto, di Gutenberg-Richter, i processi stocastici 1/f (*I-over-f*)¹ le strutture

¹ Una piccola parentesi va senz'altro riservata al cosiddetto rumore 1/f. A questa classe appartengono tutti quei processi stocastici caratterizzati da una distribuzione dello spettro di frequenza di tipo *power-law*: $P(f) = f^{-a}$. L'evoluzione nel tempo di questo tipo di processi risulta in generale assai più ricca e complessa di quella di altri più noti, come il rumore bianco o i processi autoregressivi. Essa mostra prima di tutto effetti di lunga memoria, cioè una correlazione fra lo stato presente del sistema e stati collocati anche molto lontano nel passato. Inoltre l'evoluzione è caratterizzata da esplosioni di volatilità su tutte le scale di osservazione. Processi di questo tipo sono stati individuati praticamente ovunque: nel traffico di reti informatiche, nella struttura delle sequenze del DNA, in numerosi processi chimici, in dati finanziari, in sistemi ottici, nella musica e nel parlato, in sistemi ecologici, ecc.

frattali sono tutti esempi, anche se in domini differenti, di legami di questo tipo. Spesso, a buon diritto, si parla di ampia pervasività se non addirittura ubiquità delle *power law* [Schroeder (1991), Li (2003)]. Sembrerebbe cioè che questo tipo di distribuzioni costituiscano un tratto distintivo del comportamento dei sistemi complessi lontani dall'equilibrio caratterizzati dalla presenza di non linearità interne. Tra le altre, una sotto-letteratura densa si è venuta consolidando negli ultimi anni ed è oggi in espansione; essa si riferisce alle analisi empiriche ed ai modelli di reti libere da scala, una caratteristica frequente anche se non del tutto pervasiva, nelle reti complesse e gerarchiche sia di tipo naturale che sociale, così definite come carattere sintetico (reti *scale free*) proprio per la *power law* osservata spesso e per vasti tratti nella gamma dei gradi o numero di legami dei loro nodi [Barabási (2002), Newman (2003)].

Due sono i principali filoni o filiere di spiegazione di questo complesso di fenomeni di libertà dalla scala, e noi faremo una breve rassegna del secondo e più recente di questi filoni nel paragrafo che segue:

1. da un lato, sia l'economia (micro-economia, economia industriale *in primis*) che la geografia economica ed urbana si sono confrontate da decenni con il problema, sotto la voce di due grandi filoni di ricerca come la "legge o distribuzione di Pareto" (ad esempio delle imprese in un'industria) e la legge di Zipf applicata alla regola rango-dimensione nella distribuzione della popolazione nelle città per loro dimensione. Ambedue i fenomeni, concettualmente e formalmente assai simili, hanno trovato in queste discipline geo-economiche una famiglia di spiegazioni centrate attorno all'ipotesi chiave di indipendenza della crescita dalle dimensioni del nodo di agglomerazione (impresa, città);
2. dall'altro lato, la più recente letteratura fisica ed interdisciplinare sui sistemi complessi è venuta maturando un'altra nuova direzione di ricerca delle matrici delle proprietà connesse alla libertà dalla scala. Una direzione che nulla vieta si possa confrontare ed intrecciare con il paradigma esplicativo antecedente.

3. La criticità auto-organizzata

Vista l'importanza e la pervasività delle *power law* nella descrizione dei sistemi complessi, lo sforzo di molti studiosi si è in questi ultimi anni concentrato proprio sulla individuazione di modelli il più possibile generali in grado di spiegare in modo convincente questo tipo di comportamenti. Le teorie sin qui elaborate si sono però spesso dimostrate difficilmente applicabili al di fuori degli specifici ambiti entro cui sono state concepite. Attualmente una delle più accreditate è quella che prende il nome di criticità auto-organizzata (*self-organized criticality*, SOC) [Bak (1996)].

Per comprendere le idee chiave della SOC, consideriamo qui un sistema fisico (all'apparenza) molto semplice e a tutti ben noto, ma che racchiude in sé molti degli elementi caratterizzanti i sistemi complessi: un mucchietto di sabbia sul quale vengono fatti via via cadere sempre nuovi granelli. Finché la pendenza della pila è modesta (stato subcritico), l'aggiunta di sabbia non produce effetti a livello macroscopico e solo un numero estremamente ridotto di granelli muta posizione per effetto di ridotti movimenti di assestamento. Nessun comportamento interessante qui emerge. Continuando però a lasciar cadere nuova sabbia, l'inclinazione delle pareti del mucchio aumenta progressivamente fino a raggiungere una

pendenza critica in corrispondenza della quale, ad ogni nuova aggiunta, iniziano a manifestarsi, in conseguenza di una sorta di “effetto domino” fra granelli contigui, valanghe di assestamento su tutte le scale di osservazione, intervallate da periodi di stasi di varia lunghezza. Dal punto di vista spaziale è stato dimostrato sperimentalmente che le dimensioni di queste valanghe si distribuiscono secondo una *power law*. Anche nel dominio del tempo le fluttuazioni del sistema evolvono seguendo una simile legge: esse risultano infatti appartenere alla classe dei processi $1/f$.

Primo fatto fondamentale di questo esperimento è che il sistema si porta in modo del tutto spontaneo verso lo stato critico, senza quindi la necessità (tipica di altri fenomeni) di dover sintonizzare opportunamente i parametri attraverso un controllo esterno. Anche se il sistema viene collocato in uno stato supercritico, dove la pendenza della pila di sabbia è superiore alla soglia critica, esso si riporta velocemente allo stato critico attraverso poche ma consistenti valanghe di assestamento. Più precisamente, il sistema perturbato salta da uno stato metastabile ad un altro attraverso delle dinamiche a valanga sino a raggiungere un attrattore che è in equilibrio sullo stato critico. In questo senso si può dire che lo stato critico non solo è stabile ma che in più si auto-organizza.

Fatto altrettanto importante, la criticità mostra di essere robusta non solo a variazioni delle condizioni iniziali, ma anche rispetto a perturbazioni della struttura del sistema. Se la sabbia viene bagnata, se i granelli vengono lasciati cadere sulla pila in punti scelti casualmente, se vengono collocate barriere lungo i pendii della pila, se al posto di granelli di sabbia vengono usati chicchi di riso od altri materiali granulosi, il sistema si riporta sempre verso lo stato critico.

Partendo dall’osservazione della pila di sabbia, Per Bak e i suoi collaboratori hanno sviluppato un modello estremamente semplice, basato su un automa cellulare bidimensionale, capace di riprodurre tutte le caratteristiche sopra descritte [Bak (1996)]. Il piano su cui viene fatta cadere la sabbia viene modellizzato come un reticolo di $N \times N$ nodi e i granelli di sabbia come cubi regolari che si dispongono via via sul reticolo impilandosi l’uno sull’altro. La caduta di un granello di sabbia nel modello equivale alla scelta casuale di un nodo del reticolo di coordinate (x,y) e all’incremento di 1 unità della corrispondente altezza $h(x,y) \rightarrow h(x,y)+1$. Quando questa altezza, per effetto della caduta dei granelli, supera una data soglia (supponiamo ad es. 3), essa viene azzerata $h(x,y) \rightarrow h(x,y)-4$ ed incrementata di una unità quella delle celle 4 vicine $h(x\pm 1,y\pm 1) \rightarrow h(x\pm 1,y\pm 1)+1$.

Come correttamente evidenziato in [Scheinkman e Woodford (1994)], gli ingredienti chiave di questo e in generale di tutti i modelli che mostrano SOC sono la presenza (a) di interazioni locali fra le unità e (b) di interazioni fortemente non lineari. Comportamenti *power law*, auto-organizzazione, stabilità e robustezza sono tutti condensati in queste poche semplici regole. L’automa qui descritto evolve spontaneamente verso uno stato critico caratterizzato da comportamenti *scale free* e questo stato mostra di essere stabile e robusto rispetto a perturbazioni di vario tipo ed intensità, proprio come nella pila di sabbia e in molti altri sistemi complessi.

Come già detto, la SOC non è il solo modello in grado di spiegare comportamenti di tipo *power law*. Una proposta alternativa, che non ricorre alla nozione di criticità, è contenuta ad es. in [Amaral *et al.* (1998)] dove viene presentato un meccanismo in cui (a) le unità interagenti hanno una struttura complessa che evolve nel tempo (come ad es. le aziende che sono organizzate in divisioni, le città che sono composte di quartieri, etc.) e (b) la dimensione x_i delle sotto unità i che compongono le unità di base evolve secondo un processo stocastico

moltiplicativo: $D\mathbf{x}_i(t) = \mathbf{x}_i(t)\mathbf{h}_i(t)$, dove $\mathbf{h}_i(t)$ è una variabile casuale gaussiana con media nulla e deviazione standard V , indipendente da $\mathbf{x}_i(t)$.

3.1 SOC e teoria economica

Nella letteratura economica e nelle scienze sociali pochi ancora sono i modelli che incorporano l'idea della SOC, forse anche perché, come sostiene Bak, "*Theoretical economists like to deal only with models that can be solved analytically with pen and paper mathematics*" [Bak (1996), p. 188], mentre la SOC può essere spesso esplorata solo attraverso lunghe e numerose simulazioni numeriche.

Un primo e semplice modello di processo produttivo multisettoriale e a più stadi, basato sulla SOC, è quello proposto da [Bak *et al.* (1993)] – vedi Fig.1. Esso considera un reticolo di $N \times N$ unità produttive. Le unità di coordinate (i,j) , eccetto quelle poste sulla riga più in basso, acquistano fattori produttivi dalle due unità ad esso adiacenti poste nella riga inferiore, cioè da $(i+1,j)$ e $(i+1,j+1)$ per $i < N$. Al contempo le unità (i,j) , eccetto quelle poste nella riga più in alto, vendono beni alle unità adiacenti poste nella riga inferiore $(i-1,j-1)$ e $(i-1,j)$ per $i > 1$. La tecnologia assunta è tale per cui è sempre ottimale produrre lotti di due unità e per produrre queste due unità sono richieste due unità di fattori produttivi, ciascuna acquistata da due differenti (e adiacenti) fornitori. I costi di immagazzinamento sono tali per cui è ottimale mantenere zero od al più una unità del bene prodotto. La nuova produzione parte solo quando un ordine non può essere soddisfatto con il magazzino esistente e non può mai concludersi con più di una unità di bene a magazzino.

Ad ogni periodo è definito un vettore di shock esogeni $S(t) = (s_{1,1}(t), \dots, s_{1,N}(t))$ che determina le fluttuazioni nella domanda degli N beni finali. Il livello di ciascuno di questi shock può essere 0 od 1. Lo stato dell'economia al tempo t è descritto dalla matrice $X(t) = \{x_{i,j}(t) : i, j = 1, 2, \dots, N\}$ che raccoglie il livello delle giacenze di magazzino di ogni unità produttiva. La regola evolutiva del sistema è definita da:

$$x_{i,j}(t+1) = x_{i,j}(t) + y_{i,j}(t) - s_{i,j}(t) \quad (1)$$

dove $y_{i,j}(t)$ è il numero di unità prodotte dall'unità (i,j) al tempo t e $s_{i,j}(t)$ il numero di unità vendute dalla medesima unità. Inoltre:

$$y_{i,j}(t) = y(x_{i,j}(t), s_{i,j}(t)) \quad (2)$$

dove $y(x,s)$ è la funzione di produzione definita in Tabella 1.

Infine gli ordini ricevuti da ciascuna unità sono dati da:

$$s_{i,j}(t) = (y_{i-1,j}(t) + y_{i-1,j-1}(t))/2 \quad (3)$$

Le equazioni (1),(2) e (3) definiscono dunque lo stato $X(t+1)$ del nostro sistema in funzione dello stato precedente $X(t)$ e del vettore di shock $S(t)$.

Tabella 1. Funzione di produzione e legge evolutiva nel modello di Bak *et al.* (1993)

| $x_{i,j}(t)$ | $s_{i,j}(t)$ | $y(x_{i,j}(t), s_{i,j}(t))$ | $x_{i,j}(t+1)$ |
|--------------|--------------|-----------------------------|----------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 2 | 1 |
| 0 | 2 | 2 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 2 | 2 | 1 |

Ancora una volta gli ingredienti chiave del modello sono: interazioni locali e fortemente non lineari fra le unità produttive (le non linearità sono qui da imputare alla non convessità della tecnologia produttiva specificata in Tabella 1). Ed ancora una volta il sistema si auto-organizza intorno ad uno stato critico stabile e robusto e da esso emergono comportamenti *power law* nelle dinamiche del livello aggregato di produzione.

Una recente generalizzazione di questo modello è contenuta in [Focardi e Marchesi (2000)]. Altri interessanti modelli economici basati sulla SOC sono contenuti in [Arenas *et al.* (2002), Andergassen (2001)].

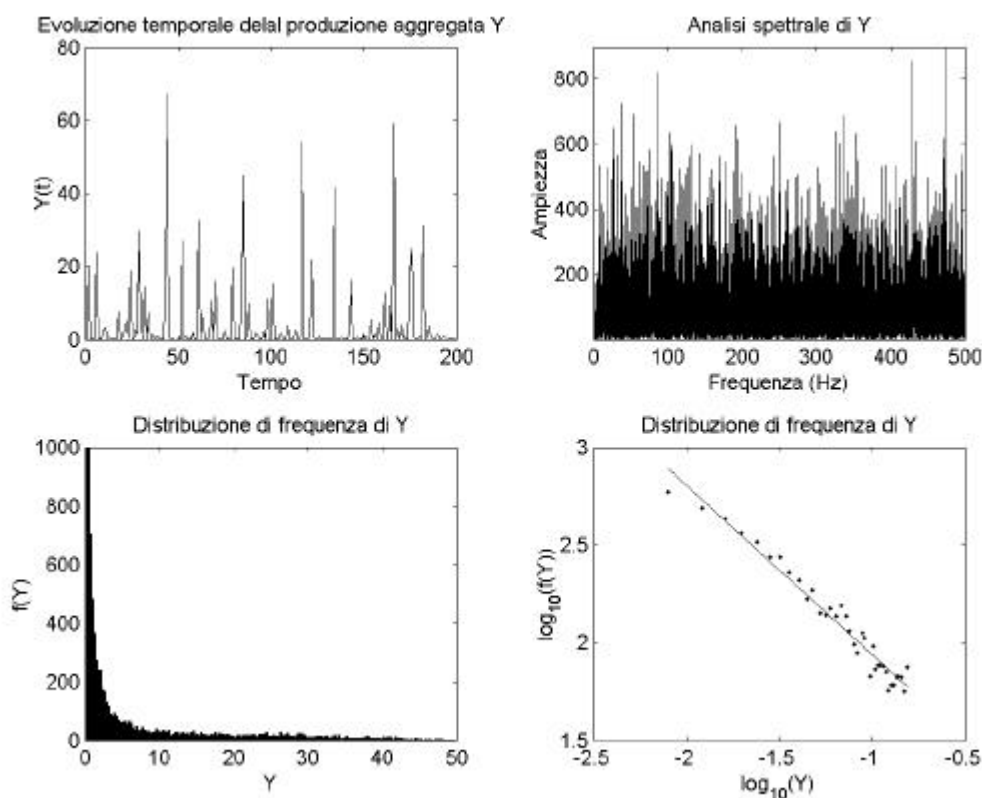


Figura 1. *Proprietà statistiche della produzione aggregata Y del modello di Bak et al. (1993), con un reticolo di $N \times N$ unità produttive, $N = 500$ e $T=2^{14}$ iterazioni*

3.2 Contributi epistemologici

Le idee racchiuse nella nozione di criticità auto-organizzata suggeriscono sul piano epistemologico una serie di interessanti riflessioni che andiamo qui brevemente a tracciare, per la loro rilevanza su tutta la prospettiva dei diversi connotati distintivi e degli specifici punti di vista sui sistemi complessi [Bertuglia e Vaio (2003)].

Equilibrio

La SOC prima di tutto suggerisce una nuova idea di equilibrio. Come è noto, nell'ambito dei

sistemi dinamici lineari la gamma delle dinamiche che possono emergere è estremamente ridotta: evoluzioni monotone od oscillatorie smorzate verso uno stato stazionario oppure traiettorie cicliche. La nozione di equilibrio è cioè sostanzialmente confinata in quella di punto fisso, uno stato che rimane immutato per un tempo indefinito, in cui il tempo di fatto non esiste più ed in cui il passato viene assorbito e dimenticato in un presente immutabile.

Nella seconda metà del XX secolo, lo sviluppo della teoria dei sistemi dinamici non lineari, in particolare di quelli caotici, ha rappresentato un importante passo verso un allargamento dell'idea di equilibrio. Il panorama delle possibili dinamiche nei sistemi non lineari è infatti molto più ampio: accanto a comportamenti di convergenza verso uno stato stazionario, ora emergono cicli di periodo arbitrario, comportamenti quasi-periodici e dinamiche non periodiche apparentemente casuali, per molti versi indistinguibili da movimenti di natura puramente stocastica, note come caos. L'equilibrio non è più legato all'idea di un sistema imprigionato in uno stato immutabile o che torna a replicarsi ad intervalli regolari, in modo ciclico. Equilibrio è ora anche fluttuazione di origine endogena, aperiodica, erratica, è movimento lungo traiettorie confinate su di uno *strange attractor* di bassa dimensione e caratterizzate da una intrinseca imprevedibilità.

Con la SOC la nozione di equilibrio si arricchisce ulteriormente. Le dinamiche di equilibrio ora sono caratterizzate da fluttuazioni e catastrofi su qualsiasi scala di osservazione, in un continuum che va dal livello micro a quello macro, tutte regolate dalla medesima legge probabilistica: la *power law*. Fluttuazioni e catastrofi intervallate da periodi di apparente immutabilità e stasi. Fluttuazioni e catastrofi che possono coinvolgere e "sconvolgere" il sistema nella sua globalità (senza però destabilizzarlo) e che non sono però imputabili ad eventi esterni, accidentali, ad anomale e perverse circostanze, ma sono piuttosto il risultato di un unico meccanismo evolutivo basato su interazioni locali e non lineari.

Complessità, criticità, caos

La teoria del caos ha destato nei decenni scorsi un grande interesse, sia fra i fisici che fra studiosi di numerose altre discipline, economia compresa. Sul piano teorico molti lavori hanno cercato di mostrare che il caos può emergere anche in modelli molto semplici e per valori 'realistici' dei parametri, mentre sul piano empirico si è cercato di stabilire se nelle serie storiche reali vi siano tracce della presenza di caos, compatibilmente con la qualità dei dati disponibili. Gli esiti su quest'ultimo fronte non sono stati incoraggianti, neppure in campo economico. La presenza di caos non è stata di fatto mai provata in modo chiaro, nemmeno per serie di buona qualità e di notevole lunghezza come quelle finanziarie. Il solo dato certo emerso da questo filone di studi è stata la presenza di non linearità più o meno marcate nei dati [Perli e Sandri (1994)].

Molto spesso l'idea di caos è stata associata all'idea di complessità, soprattutto da parte di una certa letteratura facilmente incline alle metafore [Sandri (2001)]. Ma, per usare le parole di Bak, "*chaos is not complexity*" [Bak (1996), p.29]. I sistemi complessi possono sì esibire comportamenti di natura caotica, ma prima o poi essi tenderanno spontaneamente a portarsi verso stati critici caratterizzati da segnali di tipo *1/f* o comunque legati ad una qualche distribuzione *power law*. I comportamenti caotici non sono robusti rispetto a perturbazioni dei parametri di sistema mentre lo sono gli stati critici i quali si collocano in generale sul confine fra zone caratterizzate da comportamenti altamente predicibili (in cui il sistema appare congelato su configurazioni spaziali fisse o rigidamente periodiche, quindi incapace di evoluzione) e zone di caoticità imprevedibile (in cui il sistema non conserva memoria del

passato spazzando via qualsiasi fenomeno complesso, quindi in cui di fatto ancora una volta non c'è spazio per l'evoluzione). Secondo la SOC la complessità è dunque una conseguenza della criticità e non del caos.

Predicibilità, controllabilità

Come abbiamo visto, la SOC è un sistema di idee che si prefigge di accorpate in un unico modello la spiegazione delle piccole-medie fluttuazioni e delle grandi catastrofi nei sistemi complessi. Ogni movimento, su qualsiasi scala, emerge dalla medesima legge probabilistica che è il prodotto della struttura interna e del conseguente processo di auto-organizzazione del sistema, il tutto basato sulle interazioni locali e non lineari fra le unità elementari. Le catastrofi in un sistema complesso sono quindi “nulla di speciale”, sono solo uno degli aspetti dell'evoluzione del sistema. Non sarà possibile prevedere quando, ma è certo che le catastrofi di ampia scala prima o poi compariranno nel sistema che ha raggiunto lo stato critico. Esse non arriveranno però mai a compromettere la stabilità del sistema dato che fanno parte integrante ed irrinunciabile della sua evoluzione.

In questo contesto, tentare di “spiegare” le singole catastrofi attraverso un'analisi degli eventi e degli stati passati del sistema e sulla base delle leggi che regolano le singole unità, è un esercizio privo di valore. Del resto i nuovi storici che sentono e conoscono lo *Zeitgeist*, pur senza conoscere direttamente queste teorie, non superano essi stessi la nozione di spiegazione classica? [Fernandez-Armesto (2001)] Qualunque approccio riduzionista o qualsiasi tentativo di descrivere il grande evento attraverso la narrazione, tipico dello storico tradizionale (dell'era pre-Prigoginiana) piuttosto che del fisico, è destinato a fallire secondo il punto di vista della SOC. Servirebbe infatti una misurazione con precisione infinita (ottenuta con strumenti inimmaginabili) dello stato passato del sistema, della posizione di ogni sua singola particella. E quand'anche questa informazione fosse disponibile, servirebbe poi una illimitata capacità di calcolo per determinare lo stato futuro dell'intero sistema e poter quindi anticipare l'evento di vasta scala. Come nei sistemi caotici, anche nello stato critico esiste una dipendenza sensibile alle condizioni iniziali: un errore arbitrariamente piccolo nella misurazione dello stato x_0 o una perturbazione comunque piccola portano il sistema ad evolvere lungo sentieri completamente differenti ed incorrelati. Un evento che influenza lo stato di un'unità o di un gruppo di unità elementari in una porzione limitata del sistema, prima o poi arriverà ad influenzare l'intero stato del sistema. L'informazione si propaga cioè ad un tasso esponenziale e dalla scala micro, dopo un breve periodo, arriva ad investire l'intera scala macro. Anche se esistono solo interazioni o percolazioni locali, in corrispondenza dello stato critico di fatto ogni unità risulta collegata a tutte le altre presenti nel sistema in un “piccolo mondo”.

Ma non basta. Anche ipotizzando di disporre di una perfetta capacità predittiva e di un completa capacità di intervento sul sistema, le catastrofi non sono eliminabili. Molto eloquente è l'esperimento numerico condotto da Bak e i suoi collaboratori per studiare la controllabilità di modelli caratterizzati da SOC [Bak (1996), pp.156-159]. Facendo evolvere in avanti questi sistemi, essi hanno prima individuato gli eventi “scatenanti”, quelli cioè che erano responsabili di aver dato avvio a fluttuazioni di grandi proporzioni. Riavvolgendo “il nastro della storia”, questi eventi sono stati quindi sostituiti con altri privi di effetto. I risultati hanno mostrato chiaramente che, nonostante i “super poteri” del soggetto pianificatore, le catastrofi non possono essere evitate. Di fatto risultano solo differite nel tempo. Prima o poi esse ricompariranno a mutare in modo radicale e “brutale” lo stato del sistema.

In definitiva, la spiegazione del fatto stilizzato della frequenza di fenomeni indipendenti

dalla scala, ha un'importante implicazione di *policy* che concerne la controllabilità dei sistemi, il tema al centro dell'attenzione di Giuseppe Gaburro. La SOC, che assume una prospettiva tipicamente sistemica, solleva una grande questione che investe direttamente le sfere sociali dell'analisi e delle politiche economiche, nella duplice direzione discussa qui nella sezione introduttiva: sia il problema "tecnico" della controllabilità ed ottimizzazione di un sistema, che quello dell'eticità e socialità dei suoi processi e risultati. Le catastrofi sembrerebbero infatti essere, secondo questo approccio, parte integrante del comportamento di un sistema complesso, elemento tipico ed imprescindibile delle sue dinamiche di "equilibrio", nel nuovo significato allargato e comprensivo. Le catastrofi pertanto dal punto di vista della SOC sarebbero inevitabili e nessun controllo "ottimo" né sub-ottimo potrebbe eliminarle dagli scenari. Anzi, le relazioni *power law*, rispetto a molte altre alternative come le esponenziali, vedono aumentare fortemente la probabilità di scenari con dei valori estremi in generale, per qualsiasi variabile di performance di un sistema.

4. Misura di complessità di Tononi, Sporns ed Edelman

La parola "complesso" richiama l'idea di un sistema composto di parti in interazione. Comprendere come il sistema complessivo emerga quale prodotto dei processi d'interazione tra le parti e quest'ultime siano in-formate dal primo, questa è la sfida centrale che sottende quell'impresa scientifica nota come scienze della complessità. Nei vari campi delle scienze fisiche, biologiche, sociali e dei computer gli studiosi sempre più riconoscono forti connessioni fra le domande sollevate da una vasta galassia di oggetti di studio sulla frontiera delle conoscenze ed aspirano a strumenti adeguati ad affrontarle.

Lungi qui dal voler fornire un'introduzione panoramica generale. Bensì, tra la varietà dei lavori, illustreremo una misura di complessità introdotta da Giulio Tononi, Olaf Sporns e Gerald M. Edelman [Tononi *et al.* (1994), Sporns *et al.* (2000), Edelman e Tononi (2000)]. Calata nel quadro dei processi stocastici stazionari, comune peraltro anche alla teoria dell'informazione, in maniera piuttosto elegante classifica i sistemi in base al gioco di distribuzione ed integrazione funzionale. Due delle dimensioni primarie sul piano organizzativo, così per i sistemi socio-economici come per quelli di altra natura.

Gli autori, come loro campo disciplinare di provenienza, sono studiosi del cervello. Con le loro parole: "Gli esseri umani hanno esperienza del mondo come composto di oggetti ed eventi coerenti, collocati in una scena mentale multimodale in continuo cambiamento. La coerenza degli stati percettivi è raggiunta rapidamente e senza sforzo, e questo è di importanza critica per l'abilità di eseguire comportamenti ed azioni motorie che dipendono da sorgenti d'informazione multiple. In che modo questa rimarchevole capacità di integrare informazioni si fonda sull'anatomia e fisiologia del sistema nervoso? L'integrazione deve avvenire attraverso un vasto numero di gruppi neuronali specializzati ed aree differenziate del cervello, comportando cambiamenti in sottoinsiemi di componenti in dipendenza dello stato funzionale dell'organismo, i suoi attuali input sensoriali ed il comportamento motorio."

Un gran numero di esperimenti hanno evidenziato infatti come il cervello mostri allo stesso tempo una forte differenziazione tra le aree ed una forte integrazione dei sottoprocessi in processi che si estendono coerentemente su scala globale, tanto da essere in grado di esprimere

le capacità sopra ricordate. Nelle scienze del cervello questo problema di ricerca è noto come problema del *binding*.

Per introdurre la misura di complessità, assumiamo un quadro semplice ed astratto nel quale osserviamo un sistema composto di un numero n di parti elementari ed interessato da processi stocastici stazionari (ergodici). Lo stato di ogni parte elementare è descritto da una variabile casuale e la sua attività nel tempo riassunta da una distribuzione di probabilità degli stati. Così lo stato del sistema complessivo è descritto dalla variabile casuale multidimensionale composta dalle variabili relative alle parti elementari. Ed una distribuzione di probabilità congiunta riassume l'attività nel tempo del sistema.

In tale quadro si possono utilizzare utilmente nell'analisi le misure di entropia ed informazione mutua tratte dalla teoria dell'informazione, nella loro pura accezione statistica. Diversamente dall'impostazione della teoria dell'informazione, esse non servono a caratterizzare canali ed a guidare l'ottimizzazione del codice nella trasmissione di messaggi formati da stringhe di simboli. Piuttosto, su un piano più basilare e generale, ci interessa considerare come l'attività congiunta si articola nelle attività delle parti e come queste ultime attività siano connesse ed interdipendenti. Trattandosi di processi stocastici stazionari, la comunicazione ed interazione che intercorre fra sottoprocessi si può descrivere in termini statistici.

Così, dati due sottoprocessi insistenti su due gruppi distinti di parti elementari (due sottoparti del sistema complessivo), la loro informazione mutua caratterizzerà la loro interdipendenza e la loro entropia il grado di varietà di comportamento manifestata da ciascuno. L'entropia del sottosistema composto dai due esprimerà similmente la varietà di comportamento manifestata nell'insieme.

In termini formali, consideriamo una bipartizione del sistema X in un j -esimo sottogruppo X_j^k composto di k parti elementari, ed il rispettivo sottogruppo complementare $X-X_j^k$. L'informazione mutua IM tra i due sottogruppi è

$$IM(X_j^k; X-X_j^k) = E(X_j^k) + E(X-X_j^k) - E(X)$$

con E entropia.

Se X_j^k e $X-X_j^k$ sono indipendenti l'informazione mutua è zero e l'entropia del sistema è pari alla somma delle loro entropie. Si ha semplice affiancamento di due sottosistemi separati ed isolati. Se i sottosistemi sono connessi in un sistema complessivo l'informazione mutua registrerà tale condizione assumendo valori positivi. Nel caso estremo l'informazione mutua assume il valore della minore tra le entropie dei due sottosistemi e l'entropia del sistema complessivo collassa su quella maggiore. Dal punto di vista comportamentale il sistema complessivo non mostra nulla di nuovo rispetto al sottosistema ad entropia maggiore, riducendosi praticamente a questo, e non esiste differenziazione tra i sottosistemi risultando l'altro la copia ridondante del primo, completa o parziale a seconda se la sua entropia sia uguale o minore.

Generalizzando il concetto visto di informazione mutua come deviazione dall'indipendenza e considerando un gruppo X_j^k in relazione alla sue parti elementari x_i , introduciamo la misura di integrazione I :

$$I(X_j^k) = \sum_i E(x_i) - E(X_j^k)$$

Per una bipartizione del sistema X vale:

$$I(X) = I(X_j^k) + I(X-X_j^k) + IM(X_j^k; X-X_j^k)$$

L'integrazione del sistema complessivo è maggiore della somma delle integrazioni dei

sottogruppi in caso di interconnessione tra questi, e l'eguaglia nel caso d'indipendenza. Relazione analoga vale non solo per il sistema complessivo, ma a sua volta per un gruppo con una sua bipartizione.

Indichiamo con $\langle I(X_j^k) \rangle$ l'integrazione media per i sottogruppi di taglia k , ottenuti combinando in tutti i diversi modi possibili k parti elementari. In figura (Fig. 2) si possono osservare grafici che riportano i valori di $\langle I(X_j^k) \rangle$ al variare di k da 1 ad n . La funzione è monotona crescente non strettamente, per la proprietà vista poc'anzi (basta considerare gruppi che differiscono per una sola parte elementare).

Definiamo ora la complessità $C_N(X)$ di un sistema X come la differenza tra i valori dell'integrazione media $\langle I(X_j^k) \rangle$ che corrisponderebbero ad una crescita lineare al crescere della taglia k dei sottogruppi ed i valori osservati:

$$C_N(X) = \sum_k [(k/n)I(X) - \langle I(X_j^k) \rangle] \quad 1 \leq k \leq n/2$$

La complessità è elevata quando l'integrazione del sistema complessivo è elevata ed allo stesso tempo l'integrazione media per piccoli gruppi è più bassa del caso lineare.

Un secondo modo equivalente di definire tale misura di complessità è in termini di mutua informazione media $\langle IM(X_j^k; X - X_j^k) \rangle$ tra bipartizioni di stessa taglia, sommando poi i valori per le diverse taglie tra 1 e $n/2$:

$$C_N(X) = \sum_k \langle IM(X_j^k; X - X_j^k) \rangle \quad 1 \leq k \leq n/2$$

La complessità è elevata quando, in media, è elevata l'informazione mutua tra i sottogruppi ed i loro complementi nel sistema.

La Figura 2 riporta grafici per tre casi diversi di sistema (a, b e c). Per ogni caso sono mostrati due grafici. Il primo mostra l'andamento dell'integrazione media al variare della taglia k dei sottogruppi, confrontato col lineare $(k/n)I(X)$. Il secondo invece riporta l'informazione mutua media al variare della taglia k delle bipartizioni. Per entrambi l'area evidenziata misura la complessità.

Nei casi (a) e (c) la complessità è nulla o comunque assai bassa. In a il sistema è monoliticamente integrato. L'integrazione del sistema è massima così da annullare la differenziazione/specializzazione tra le varie parti. Il sistema è riducibile a qualsiasi sua singola parte elementare, parti perfettamente ridondanti. E di conseguenza la varietà comportamentale (entropia) e le capacità del sistema non acquistano niente rispetto a quelle singole individuali, che anzi limitano e vincolano ad uniformità ripetitiva.

All'estremo opposto per quanto riguarda integrazione ed entropia si trova il caso (c). La prima è nulla e la seconda massima, somma di tutte quelle elementari. È il caso d'indipendenza statistica completa (non solo l'insufficienza di connessioni sottostanti, ma anche il caos deterministico rientra qui). Il sistema si risolve null'altro che in un insieme caotico di parti elementari isolate. Come detto, la varietà comportamentale (entropia) del sistema è elevata, ma questo riflette semplicemente l'accostamento puramente casuale dei comportamenti delle parti elementari, non incorporando un senso ed un'organizzazione e non fornendo capacità cooperative al complesso. Il comportamento aggregato si può ridurre semplicemente al comportamento medio. La complessità è qui nulla.

Il caso (b) è senz'altro quello più interessante, ed è il caso di un sistema complesso distribuito. Integrazione e differenziazione lavorano in modo sinergico. Il sistema distribuisce il processo complessivo sulle diverse sottoparti, differenziandosi ed articolandosi in modo da aumentare la varietà e la ricchezza comportamentale senza minare le capacità di comunicazione

ed interazione tra queste alle diverse scale e la conseguente capacità di integrare con successo i diversi contributi in un tutto coerente ed efficace. Una ricchezza di strutture e *pattern* possono essere supportati da questo tipo di sistemi. Ed un vasto ventaglio di processi.

In accordo con le altre misure di complessità variamente proposte in letteratura e con gli studi che investigano sistematicamente vari tipologie di sistemi (quali, per fare un esempio, i lavori di Stephen Wolfram sugli automi cellulari [Wolfram (1984)]), i sistemi complessi si riscontrano in una zona di confine tra il regime caotico e quello dei sistemi dal comportamento povero e limitato.

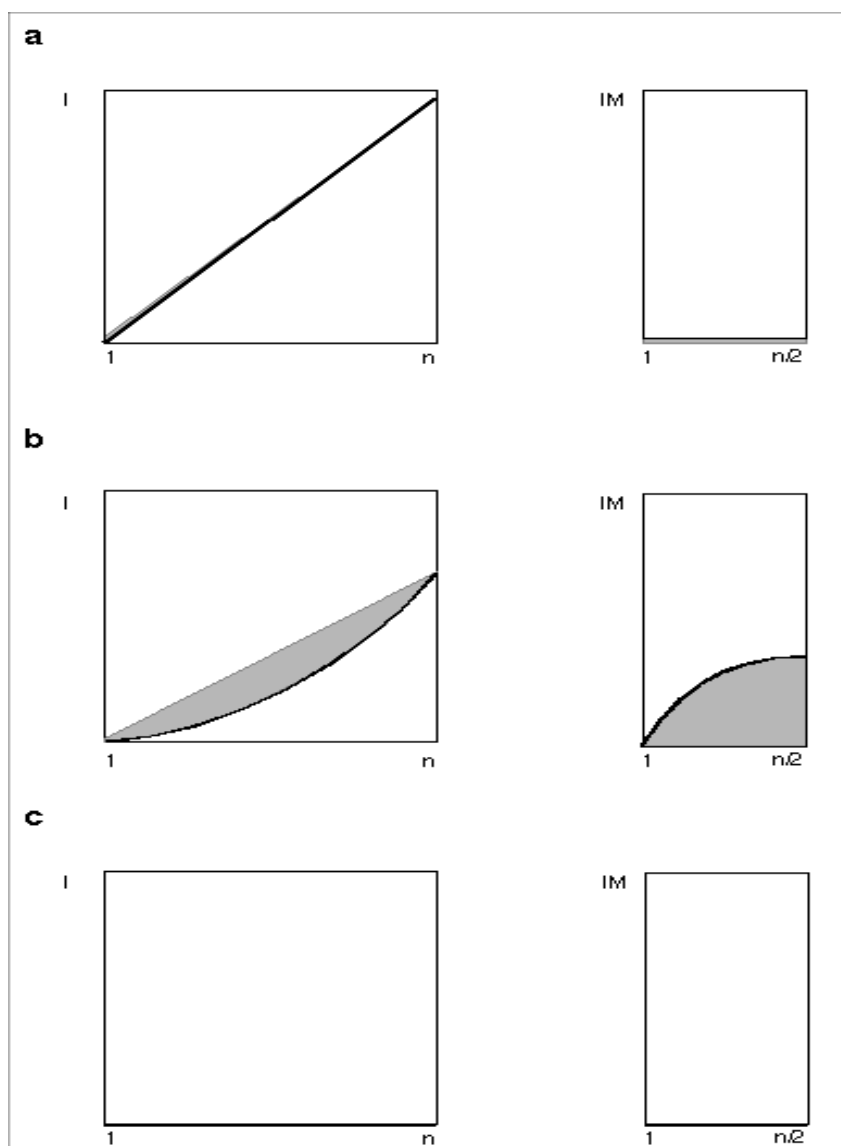


Figura 2. *Integrazione ed informazione mutua medie e complessità*

5. Sistemi urbani complessi

Dire che una città, un sistema urbano si possa leggere come “complesso”, significa molte cose più o meno coerenti tra loro, ossia ripercorrere le diverse letture della complessità che hanno attraversato questo dopoguerra. Se vogliamo, nell’utile griglia di lettura che propone un pioniere nello studio dei sistemi urbani come Sergio Bertuglia: la lettura dei sistemi via via dalla non linearità, al caos ed alla complessità [Bertuglia e Vaio (2003)]. Qui, per non ripercorrere la bella ma lunga storia che parte da Volterra e Lotka, scegliamo per brevità di concentrarci sull’ultimo rifiorire di contributi dediti all’agglomerazione spaziale come auto-organizzazione, che nasce nei prati alla periferia dell’economia standard, nei sistemi di *GCE (General Competitive Equilibrium)* semplificato [Jones (1965)] usati dalla scuola di Krugman e dei suoi adepti eccellenti.

Ma parlare di NEG (*New Economic Geography*) significa tornare esattamente e specularmente al loro principale ispiratore ma anche rivale (ove lui fosse riuscito, non ci sarebbe nulla da rifondare nel nucleo teorico dell’economia regionale oggi), Loesch tra le due guerre mondiali: sul solco aperto da Piero Sraffa, la Robinson e Chamberlin, la sua geniale idea di spazializzare l’area di mercato, in un lattice esagonale ottimale sotto molti profili (per le note proprietà geometriche oggi sfruttate dalle reti dei telefoni portatili). Con la scuola delle Località Centrali si ha la prima idea di città come “rete di reti”, inviluppo di molte reti di aree di mercato [Arcangeli (1983)]; ma peculiare di Loesch in tale scuola è proprio l’ambizione, la *vis* rifondativa, il voler riscrivere dalle basi l’economia e ciò a partire dal suo *core*, dall’equilibrio generale, per dare allo spazio la stessa, pari dignità del tempo: singolare coincidenza di mezzi e fini, ambizioni e rivalità con Paul Krugman mezzo secolo, un sistema di regolazione macro-economica e sociale, ed un’onda lunga dopo!

Senonchè Chamberlin tenta di unire le due analisi e modelli di piccolo gruppo e grande gruppo, una unità che fallisce presto: il primo prende l’abbrivio dell’analisi strategica, mentre il secondo non ha molta fortuna nell’analisi di equilibrio generale, dopo la critica spietata di Triffin. La fondazione di Loesch fallirà quindi nei suoi obiettivi centrali in economia teorica, ma darà i suoi frutti periferici con Isard [Isard (1956)], nelle scienze regionali che hanno avuto i loro meriti e molti difetti, specie in teoria pura, ma che i rifondatori liquidano un po’ sbrigativamente e senza processo [Fujita *et al.* (1999), ch.3]. Con il rendere operativo il grande gruppo Chamberliniano in modo efficace, ad opera di Dixit e Stiglitz [Dixit e Stiglitz (1977)] si apre dal 1977 una stagione di ritorno all’oligopolio differenziato senza interazione strategica di Chamberlin. E quest’arma diventa potente nelle abili mani di Krugman, che arriva a fondare su tali semplici basi una disciplina, una rivista, un nuovo credo e presto anche una religione: forse una nuova *brand* del movimento *New Age* (per istituzionalizzazione del moto iniziale, prevederebbe qui il modello di Alberoni)?

A parte gli scherzi, peraltro sempre inferiori alle incredibili iperboli del marketing della NEG, due questioni critiche centrali vanno pre-annunciate prima di entrare nel merito, solo due tra le davvero molte perplessità ma anche il disorientamento presenti nella letteratura: esse ci stanno a cuore per la precisa missione esplorativa che ci siamo qui dati: si possono coniugare nei modelli della complessità nuovi comportamenti eterogenei, eterodossi, ed etici; interdipendenze di conoscenze, preferenze e tecnologie?

Da un lato la NEG nel suo sforzo Colombiano ed esplorativo si colloca in, e colonizza una

terra di nessuno, col voler mettere vino doc di complessità nelle botti dell'equilibrio generale computazionale; è perciò ben lungi ed al riparo dai rischi degli economisti non mainstream che vogliono aprire una terza via tra comportamenti strategici e grandi gruppi a-strategici, nello studio di sistemi complessi con modelli ad agenti e topologie di rete [Kirman (2002)]. E' esplicita nei Padri Rifondatori NEG la rinuncia alla componente strategica, il perdere l'irrecuperabile unità Chamberliniana, ma con essa anche il bambino dell'analisi strategica dell'agglomerazione, con le sue tradizioni a partire dai fondatori Weber, Palander ed Hotelling, giù sino agli sviluppi behavioristici o *game-theoretic* ed ai numerosi lavori di Greenhut [Fujita *et al.* (1999), n. 1 a p. 41; p.52].

Dall'altro lato c'è da chiedersi se vale la pena recuperare lo spazio al centro dell'analisi teorica, se nel fare ciò perdiamo il tempo, quello proprio della storicità e non dei tempi meccanici classici, neutri e reversibili, dell'era pre-Prigogine. Qui il voto da dare alla NEG sarà più sfumato: Krugman rivendica con forza, nel suo marketing persuasivo, di aprire la strada alla *path-dependence* ed alla *policy* quando sta, nel modello base della "biforcazione a *tomahawk*", nell'intervallo tra le 2 soglie critiche, di transizione al salire o al scendere dei costi di trasporto. Ossia nella regione dello spazio dei parametri in cui agglomerazione o dispersione dipendono dalla storia precedente del sistema. Ma se questa è una possibilità, non esiste una teoria esplicita del suo manifestarsi. Le città di Krugman non sono più nemmeno reti, meno che mai reti di reti di reti, quindi è vero che il suo sagace trattamento di Dixit-Stiglitz apre una finestra alla storicità: ma quale storia passa per di lì proprio in quel momento, per cogliere la *open window opportunity*? Qui il bicchiere della complessità è mezzo pieno e mezzo vuoto, quindi i giudizi possono legittimamente divergere [David (1999)].

Il modello base riprende l'equilibrio Chamberliniano di tangenza del modello di Dixit-Stiglitz, che sfrutta le proprietà peculiari di una sub-funzione di utilità a CES (*Constant Elasticity of Substitution*) nelle *brand* dei diversi oligopolisti differenziati [Fujita *et al.* (1999), Neary (2001)]. Il problema teorico rimane quello definito dal paradosso Sraffiano della insostenibilità della concorrenza all'epoca del Fordismo, uno dei motori di riflessione negli Years of High Theory che portarono, tra i molti sbocchi, al battesimo dell'economia regionale ad opera di Loesch. Ma Krugman, come ha già fatto prima nei modelli di commercio internazionale, sposta l'enfasi: anche il rapporto con Ohlin avvicina come in un unico specchio i due rifondatori ! [Arcangeli (1983), Neary (2001) p. 57] Dallo spazio delle aree di mercato, la topologia dell'equilibrio di Chamberlin passa ad uno spazio di differenziazione orizzontale o spazio delle *brand*: in equilibrio di Dixit-Stiglitz, per le economie di scala e l'assenza di economie di varietà a livello d'impresa, ciascuna è monopolista della sua *brand* e produce:

$$(q^*; p^*) = ((s-1) F / c; cws / (s-1));$$

ove : c, F sono parametri della funzione di costo $C = w(F + cq)$; w = salario; s = elasticità di sostituzione tra brand, nella sub-funzione M di utilità CES à la Dixit-Stiglitz, che entra nella utilità U :

$$U = M^\mu A^{1-\mu}, \quad M^{(s-1)/s} = \sum_i m_i^{(s-1)/s}$$

dove A = quantità di grano (output omogeneo del settore primario), m_i = quantità del brand i del settore secondario o manifatturiero, μ = quota di reddito nominale speso in manufatti.

Krugman si chiede dove si localizzino, innanzitutto in uno spazio di 2 o più regioni-nodo, le n imprese che in equilibrio sono pari al numero di brand prodotte per il processo à la Sraffa entro ogni brand, con economie di scala. Il modello della domanda e dell'offerta d'ispirazione

Dixit-Stiglitz, con la sola aggiunta di costi di trasporto “ad iceberg” (il prodotto si scioglie, si deteriora nel trasporto) offre una base di partenza, perché introduce una causazione cumulativa, un feedback positivo che Krugman da *trade theorist* battezza “*home market effect*”; sfortunatamente però, se i costi di trasporto fossero estesi dai soli manufatti differenziati anche al “grano”, tale effetto sparirebbe [Davis (1998); Neary (2001) pp. 550-1] ed il modello di agglomerazione logicamente successivo rimarrebbe orfano.² Se invece non uccidiamo la madre, essa genera due figli, ossia due meccanismi possibili di accendino, innesco dell’agglomerazione, perché la causazione circolare potenziale possa decollare:

1. modello a migrazione di forza lavoro manifatturiera [Krugman (1991), Fujita *et al.* (1999)];
2. modello basato sulle relazioni I-O tra brand, con funzione CES di spesa in input intermedi [Krugman e Venables (1995), Venables (1996), Fujita *et al.* (1999)].

Quindi si libera il vantaggio agglomerativo già insito nel modello base; come riassume Yorgo Papageorgiou: “*In all the papers that follow this approach there is a unique, fundamental agglomeration advantage manifested in a self-enforcing, dynamic manner (‘circular causation’). Namely, an increase of the population in a particular city implies an increased demands of brands which attracts new firms, each producing a new brand (‘backward linkages’). It follows that the share of brands locally produced increases relative to brands imported from other cities, which reduces the average delivery price of differentiated products and increases real income – thus enhancing utility. Higher utility, in turn, encourages further immigration (forward linkages)*” [Papageorgiou e Pines (1999), p.15].

Se uscissimo da un quadro solo statico-comparativo, contesto che è invece quello proprio di Dixit-Stiglitz e della NEG (nonostante il massiccio e subliminale messaggio pubblicitario di Paul Krugman sia in senso diverso, evolucionistico e fuorviante [Neary (2001)]), s’innescerebbe allora quel processo catastrofico di nascita di una Grande Città, una metropoli descritto mirabilmente da Yorgo stesso in un eccezionale e semplice mattone fondativo di ogni futura teoria pura della dinamica urbana [Papageorgiou (1980); Papageorgiou e Pines (1999), ch.5]: nei termini precisi che usa, è proprio questo suo modello dinamico che il commentatore pare avere in mente nel descrivere sopra il modello base di [Fujita *et al.* (1999)].

In questo modo le economie di varietà, espunte per assioma a livello di produzione e d’impresa, riappaiono e guidano l’agglomerazione a livello di mercato e di città. Papageorgiou osserva qui giustamente che questa è una formalizzazione di una idea guida di Jane Jacobs [Jacobs (1969), Jacobs(1985)] sulle economie di varietà, che va ben oltre le tassonomie Isardiane. Ma vi è da chiedersi se formalizzando non si getti anche via un bimbo. Nella economista canadese esisteva infatti una dimensione in più del discorso, se vogliamo Perroux-Schumpeteriana e non Chamberliniana: che la città più che incubatore di differenziazione orizzontale sia il Principe che rialloca in modo anticipato e strategico le risorse dai settori senza, a quelli con prospettive, capaci di differenziazione verticale, per evitare il “mal argentino”. Qui subentra un punto di vista di *lock-in, path dependency* sulle vie intraprese dallo sviluppo. Ma ancora una volta la storicità si lava sino ad essere un po’ stinta prima di rientrare dalla finestra. Che si apre ora, con la pluralità di equilibri a conclusione della soluzione analitica del modello base a 2 regioni, o delle congetture e simulazioni nelle sue varianti: con

² Con von Thünen, nelle sue fondazioni precoci dell’economia marginalistica e prima teoria della rendita urbana da accessibilità, è invece il costo di trasporto “ad iceberg”, differenziale tra i diversi prodotti agricoli, a generare la localizzazione delle coltivazioni.

diverse topologie spaziali, e via via diversi fattori di de-agglomerazione, non sempre resi endogeni dalla congestione stessa nella regione core [Papageorgiou e Pines (1999), pp.16-18].

Naturalmente la disciplina è in movimento, e qui non possiamo passarla in rassegna: raccoglie molte delle nuove idee economico-geografiche, ma soprattutto attira riflessione sulle vere questioni centrali che vale la pena porsi, sul tema prometeico che Weber e Loesch avevano già posto al centro della Prima Rifondazione:

1. qual è il modo di emergere dell'agglomerazione?
2. quando essa si produce solo endogenamente, per auto-organizzazione, e quando no?
3. a quali precisi fatti stilizzati corrispondono diversi stili di teoria ed assunzioni dei modelli?

Ma rimangono irrisolti i due problemi di base anticipati all'inizio di questo paragrafo, nascosti nelle pieghe di uno stile monotono NEG di fornire risposte un po' pre-confezionate a questi giusti quesiti.

Primo, per quanto riguarda la coerenza o perlomeno compatibilità botte-vino, nei modelli decentrati e ad agenti di vario tipo, così come in molta teoria urbana con ricorso alle matematiche della complessità, ci si è posti le stesse domande ma dato altre risposte: proprio il cit. saggio di Yorgo Papageorgiou [Papageorgiou (1980)] fissa il versante spazio-temporale di una nuova stagione, che egli apre usando con accortezza greca e di vinificatore, vini ed otri nuovi e vecchi.³ Oggi i modelli della complessità consentono, come già hanno dimostrato in tanti problemi diretti o indiretti di agglomerazione (tra innovazioni e standard, ad es.), trattamenti altrettanto semplici ma più raffinati e di vasta portata del modello Krugman [KRU0a] di polarizzazione del commercio internazionale, il figlio di Dixit-Stiglitz che a sua volta ha generato i nipotini della NEG. In definitiva, la matrice *international trade* pesa negativamente sulla generalità spaziale dei modelli NEG, cosa che forse non si applicava a quella circolazione dialettica di idee tra Ohlin ed i regionalisti tipica della prima Rifondazione [Arcangeli (1983), p. 502].

Secondo, l'analisi formale deve saper lasciare lo spazio ai fatti ed alle dinamiche storiche, e qui subentra la vera questione di sostanza e non solo di puro gusto (*de gustibus..*) e stile modellistico: quali sono "in realtà" (ovvero, nelle nostre rappresentazioni della realtà) i veri agenti e deterrenti della polarizzazione? Davvero le esternalità pecuniarie e di mercato, e non piuttosto le relazioni e topologie di rete, gli spillover locali di conoscenza ed il loro percolare su grandi reti a piccolo diametro o "piccoli mondi"? [David (1992)]. Oltre che dal basso, *bottom-up*, le esternalità Chamberlin-Krugmaniane sono attaccate nella loro supposta centralità esplicativa anche dall'alto, dai grandi sistemi e piattaforme territoriali [Newman (2003)]. Ovvero, alla scala geografica più vasta, i fattori di sistema, di vantaggi assoluti (tecnologici, cognitivi) e comparati (di risorse) di grandi piattaforme regionali, *Umland* di interi sistemi urbani o megalopoli?⁴

³ Ogni riferimento ad interessi di economia dell'industria vitivinicola da parte di Giuseppe Gaburro è causale: ma ricordiamo che Papageorgiou è un economista, geografo e matematico che provenendo dalla Grecia ha avviato una propria viticoltura in Canada, sfidando il determinismo ambientale, e noi in Valpolicella non possiamo che apprezzare molto questi persistenti legami col *terroir*.

⁴ Sulla megalopoli padana si veda [Turri (2000)]; Papageorgiou e Pines [Papageorgiou e Pines (1999), p.17] indicano il primo modello teorico del formarsi di una megalopoli, in [Fujita e Mori (1997)] e [Mori (1997)] i cui equilibri presentano interessanti caratteri di complessità, non dissimili dai filoni della sua Nuova Scienza qui discussi. Innanzitutto il modello urbano è genuinamente endogeno, auto-organizzato. Inoltre, emerge una triade anche se non è quella canonica di Kauffman ed altri "ordine-complessità-caos": mentre a bassi costi di trasporto dei *brand* sorge una

Sistemi che avanzano e retrocedono ad onde è vero lunghe o lunghissime, ma non per questo meno efficaci ed inesorabili, come i movimenti glaciali che hanno scavato e riscavato il letto delle *Umland* urbane:

1. dai tempi lunghi di Pred, ossia quelli delle rivoluzioni comunicative e relazionali, sino all'era Internet [Malecki (2002)],
2. a quelli lunghissimi rimessi a fuoco dalla nuova storia economico-ambientale che emerge dalla transizione e svolta paradigmatica, nella storia delle civiltà, dall'irreversibilità forte dei progressi a quella debole dei percorsi erratici della complessità, dagli *Annales* a Fernandez-Armesto che ci ricorda – ad esempio - che da sempre sino a 150 anni fa si viaggiava a lunga distanza solo a vela ed in acque perigliose, con maggiore agio solo nell'Oceano Indiano [Arcangeli (2003), Fernandez-Armesto (2001)].

Se il fatto stilizzato (le economie spaziali pecuniarie) che appare scelto un po' per caso a base del modello Chamberlin-Dixit-Stiglitz-Krugman avesse un proprio ruolo, certamente subordinato e sussidiario ad altre forze di modellazione degli spazi, quale sarebbe il suo ambito d'influenza più proprio, cui riferire empiricamente le ricerche della NEG per indirizzarle a fini più alla loro portata che non un'improbabile Rifondazione, né neoclassica né evolutiva? Qui occorre dire che c'è Padre e Padre rifondatore: il vecchio Augusto (Loesch) aveva una grande visione di tutte le forze spaziali, e certo non sopravvalutava nell'analisi empirica-storica quelle poche che era riuscito a far entrare analiticamente nel modello Chamberlin-Loesch-Christaller.

Dove sono i fatti à la Krugman? Non è ora che qualcuno si metta a cercarli, o trovarli con *serendipity*? O forse non sappiamo già che ove esistano essi non sono molto rilevanti [NEA]: sono un vaso di coccio tra percolazioni cognitive, tipo Silicon Valley o distretti biotech, e slittamenti di interesse piattaforme sistemiche continentali, tipo faglia Californiana o ritorno della Cina al programma codificato nel suo nome ("paese di mezzo"), un ritorno al centro del mondo previsto minuziosamente dal modello localizzativo di Alfred Weber [Weber (1911)] ?

Riferimenti bibliografici

L.A.N. Amaral , S.V. Buldyrev, S. Havlin, M.A. Salinger, H.E. Stanley (1998), Power law scaling for a system of interacting units with complex internal structure, *Physical Review Letters*, 80 (7): 1385-1388.

R. Andergassen (2001), *Investment, growth and economic fluctuations. A self-organised criticality approach*, Università degli Studi di Siena, Dip. di Economia, No. 318. Download: <http://www.econ-pol.unisi.it/quaderni/318.pdf>

E.F. Arcangeli (1983), Un riesame dell' "Ordine spaziale dell'economia" di August Lösch, *Giornale degli Economisti ed Annali di Economia*, XLII (7-8): 483-506

megalopoli bipolare, a quelli intermedi si ha una sola città, ed a costi alti si staccano 2 città distinte. Questo è già un sistema complesso ed imprevedibile, a sorpresa, che cattura qualcosa dell'esplosione di vecchie città in "Nove" megalopolitane diffuse.

- E.F. Arcangeli (2003), *L'insostenibile leggerezza dello sviluppo. Civiltà mimetiche ed ecosistemi*, communication to the XXIV Conferenza AISRe, Perugia, October 8-10.
- A. Arenas, A. Díaz-Guilera, C.J. Pérez and F. Vega-Redondo (2002), Self-organized criticality in evolutionary systems with local interaction, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 26: 2115-2142.
- P. Bak. (1996), *How nature works: the science of self organized criticality*, Springer-Verlag, New York.
- P. Bak, K. Chen, J. Scheinkman and M. Woodford (1993), Aggregate fluctuations from independent sectoral shocks: self-organized criticality in a model of production and inventory dynamics, *Ricerche Economiche*, 47 (1): 3-30.
- P. Bak, C. Tang, and K. Wiesenfeld (1998), Self-organized criticality, *Physical Review A*, 38 (1): 364-374.
- A.L. Barabási (2002), *Linked: the new science of networks*. Perseus, Cambridge, MA.
- M. Baranzini (2003), *L'opera scientifica di Giuseppe Gaburro: dal 'Curiosum' di Econometria all'economia della produzione e della solidarietà*, saggio introduttivo al presente volume.
- C.S. Bertuglia e F. Vaio (2003), *Non linearità, caos, complessità. Le dinamiche dei sistemi naturali e sociali*. Bollati Boringhieri, Torino.
- P.A. David (1985), *Clio and the Economics of QWERTY*, *American Economic Review*, 75 (2).
- P.A. David (1992), *Path dependence and predictability in dynamic systems with local network externalities: a paradigm for historical economics*, cap. 10, pp. 209-231 in D.F. Foray e C. Freeman eds., *Technology and the wealth of nations*. Pinter, London.
- P.A. David (1999), Krugman's economic geography of development: NEG's, POG's and naked models in space, *International Regional Science Review*, 22 (2): 162-172.
- P.A. David (2001), *Path dependence, its critics and the quest for 'Historical Economics'*, in P. Garrouste e S. Ionnides eds., *Evolution and path dependence in economic ideas: past and present*. Edward Elgar, Cheltenham.
- D. Davis (1998), The home market, trade and industrial structure, *American Economic Review*, 88 (5): 1264-76.
- A.K. Dixit e J.E. Stiglitz (1977), Monopolistic competition and optimum product diversity, *American Economic Review*, 67 (3): 297-308.

- G.M. Edelman e G. Tononi (2000), *Un universo di coscienza. Come la materia diventa immaginazione*, Einaudi, Torino
- F. Fernandez-Armesto (2001), *Civilizations : Culture, Ambition, and the Transformation of Nature*, Touchstone, New York.
- M. Fujita, P. Krugman ed A. J. Venables (1999), *The spatial economy. cities, regions, and international trade*. MIT Press, Cambridge, MA.
- S. Focardi and M. Marchesi (2000), Self-Organization in Global Stochastic Models of Production and Inventory Dynamics, in D. Delli Gatti, M. Gallegati and A.P. Kirman eds., *Essays on Heterogeneity in Economics*, Springer-Verlag, Berlin.
- M. Fujita e T. Mori (1997), *Transport development and the evolution of economic geography*, WP, Kyoto University.
- G. Gaburro (1984), A preliminary experiment for an optimal control model of the Italian economy, *Metroeconomica*, 36 (2-3): 239-258.
- G. Gaburro (1997), *Ethics and Economics. Catholic Thinkers in the 20th Century*. Springer-Verlag, Berlin - V. Italiana: (1993), *Etica ed Economia*, Edizioni Dehoniane, Roma.
- C. Gershenson and Heylighen F. (2003), When Can we Call a System Self-organizing?, paper submitted to the 7th European Conference on Artificial Life. Dortmund, Germany. Download: <http://arxiv.org/ftp/nlin/papers/0303/0303020.pdf>
- W. Isard (1956), *Location and Space Economy*. MIT Press, Cambridge, MA.
- J. Jacobs (1969), *The Economy of Cities*. Random House, New York.
- J. Jacobs (1985), *Cities and the Wealth of Nations*. Vintage, New York.
- R. W. Jones (1965), The structure of simple general equilibrium models, *Journal of Political Economy*, 73: 557-572.
- A.P. Kirman (2002), *Interaction and markets*, Comunicazione alla XLIII riunione SIE, Ferrara, 25-26 ottobre
- P.R. Krugman (1979), Increasing returns, monopolistic competition and international trade, *Journal of International Economics*, 9 (4): 469-479.

P.R. Krugman (1991), Increasing returns and economic geography, *Journal of Political Economy*, 99 (3): 483-499.

P.R. Krugman ed A. J. Venables (1995), Globalisation and the inequality of nations, *Quarterly Journal of Economics*, 110 (4): 857-880.

W. Li (2003), Zipf's Law Everywhere, *Glottometrics*, 5: 14-21.

E.J. Malecki (2002), The economic geography of the Internet infrastructure, *Economic Geography*, 78 (4): 399-424. http://www.casa.ucl.ac.uk/cyberspace/Malecki_econ_geog.pdf

M. Mitzenmacher (2001), *Brief History of Generative Models for Power Law and Lognormal Distributions*, Harvard Computer Science Technical Reports TR-08-01.

T. Mori (1997), A modelling of megalopolis formation: the maturing of city systems. *Journal of Urban Economics*, 42: 133-157.

J.P. Neary (2001), Of hype and hyperbolas: introducing the New Economic Geography. *Journal of Economic Literature*, 39: 536-561.

M.E.J. Newman (2003), *The structure and function of complex networks*, University of Michigan and Santa Fe Institute. arXiv:cond-mat/0303516. <http://arxiv.org/abs/cond-mat/>

G. Padrin (2001), *Q-spazi modello I. Organizzazioni adattive distribuite nell'economia della conoscenza in rete*, tesi di dottorato, Università di Padova

Y.Y. Papageorgiou (1980), On Sudden Urban Growth, *Environment and Planning A*, 12: 1035-50.

Y.Y. Papageorgiou e D. Pines (1999), *An Essay on Urban Economic Theory*. Kluwer, Dordrecht.

R. Perli e M.F. Sandri (1994), La ricerca di dinamiche caotiche nelle serie storiche economiche: una rassegna, *Note Economiche*, 2, 342-375. <http://www.msandri.net/>

P.L. Sacco e S. Zamagni eds. (2002), *Complessità relazionale e comportamento economico. Materiali per un nuovo paradigma di razionalità*. Il Mulino, Bologna.

M.F. Sandri (2001), La complessità: verità acquisite e falsi miti, *Kèiron*, 7, 98-115. <http://www.msandri.net/>

J.A. Scheinkman and M. Woodford (1994), Self-organized criticality and economic fluctuations, *American Economic Review*, 84 (2), 417-421.

M. Schroeder (1991), *Fractals, Chaos, and Power Laws*. Freeman, New York

O. Sporns, G. Tononi e G.M. Edelman (2000), Connectivity and complexity: the relationship between neuroanatomy and brain dynamics, *Neural Networks*, 13: 909-922

H.E. Stanley, L. A.N. Amaral, S.V. Buldyrev, P. Gopikrishnan, V. Plerou, and M.A. Salinger (2002), Self-Organized Complexity in Economics and Finance, *Proc. Natl. Acad. Sci.* 99-Supp: 2561-2565.

G. Tondini (1993), *Etica ed economia in G.Menegazzi*, in Gaburro ed., *Etica ed Economia*, Edizioni Dehoniane, Roma.

G. Tononi, O. Sporns e G.M Edelman (1994), A measure for brain complexity: relating functional segregation and integration in the nervous system, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 91, May: 5033-5037

E. Turri (2000), *La megalopoli padana*. Marsilio, Venezia.

A.J. Venables (1996), Equilibrium locations of vertically linked industries, *International Economic Review*, 37: 341-359.

A. Weber (1911), Die Standortslehre und die Handelspolitik. *Archiv für Social Wissenschaft und Sozial Politik*, XXXII: 667-688 – V. inglese (1958), Location theory and trade policy, *International Economic Papers*, 8: 133-146.

S. Wolfram (1984), Universality and complexity in cellular automata, *Physica D*, 10: 1-35.