



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI VERONA

DIPARTIMENTO DI
ECONOMIE, SOCIETÀ, ISTITUZIONI

DOTTORATO DI RICERCA IN
BIOECONOMIA - ECONOMIA DELL'AMBIENTE

CICLO XVIII

DALL'ECONOMIA POLITICA ALLA BIOECONOMIA

S.S.D. ECONOMIA DELL'AMBIENTE
SECS-P/04

Coordinatore: Prof. ROMANO MOLESTI

Firmato con riserva Romano Molesti

Tutor: Prof. ROMANO MOLESTI

Firmato con riserva Romano Molesti

Dottorando: Dott.ssa FEDERICA ROTELLI

Federica Rotelli

INDICE

	pag.
Capitolo 1. Un nuovo paradigma per l'economia: Georgescu-Roegen, una rivoluzione annunciata	1
Capitolo 2. Una visione biologica dell'economia: una lunga incubazione	30
Capitolo 3. L'economia della Natura: una visione sistemica	76
Capitolo 4. Bioeconomia. Un'economia per l'ecosistema	126
Bibliografia	145

CAPITOLO I

UN NUOVO PARADIGMA PER L'ECONOMIA: GEORGESCU-ROEGEN, UNA RIVOLUZIONE ANNUNCIATA

1. “L'uomo, nella sua continua lotta per comprendere che cosa è e come funziona la natura, ha sempre cercato sostegno in qualche particolare fede epistemologica, qualche particolare dogma scientifico. Una successione di dogmi scientifici ha contrassegnato l'evoluzione del pensiero umano con periodi di mode epistemologiche, e continuerà così anche in futuro. In ciascuno di questi periodi, gli scienziati non solo si sono sforzati di accumulare prove a favore del dogma dominante, ma lo hanno anche considerato servilmente come l'unica fonte di fertile ispirazione. Un esempio illuminante di questo culto per i dogmi (e in particolare delle sue possibili conseguenze) è dato dalla scienza economica, che è giunta a maturazione proprio nel momento in cui il dogma meccanicistico si trovava al suo apogeo. Quel dogma aveva già esercitato un dominio eccezionalmente forte sul pensiero scientifico per più di trecento anni. Ma, subito dopo, circa cento anni fa, fu

respinto dalla fisica stessa per motivi propri di quella particolare scienza. Noi invece vi siamo ancora attaccati, anche se in modo surrettizio.”¹

Con queste parole, pronunciate a Firenze nel 1974, Nicholas Georgescu-Roegen sferrava un nuovo attacco alla dottrina dominante nell'economia. Peraltro già nel 1971, riprendendo un concetto espresso nel 1967, nella sua opera maggiore, *The Entropy Law and the Economic Process*, Georgescu-Roegen aveva affermato “La rivoluzione è uno stato ricorrente in fisica. La rivoluzione che qui ci interessa è il riconoscimento da parte dei fisici del fatto elementare che il calore si muove sempre in una sola direzione, dal più caldo al più freddo. Questo ha portato al riconoscimento che ci sono fenomeni che non possono essere ridotti al moto e cioè spiegati dalla meccanica. Un nuovo ramo della fisica, la termodinamica, venne in essere e una nuova legge, la legge dell'Entropia, si collocò a fianco -ovvero in opposizione -alle leggi della meccanica di Newton.”²

Non può sfuggire l'importanza di questa legge per l'economia politica. Per Georgescu-Roegen essa pose fine alla supremazia della metafora fisicista in economia. Infatti la nuova legge dell'Entropia si presentò come una “fisica

¹ N.Georgescu-Roegen, “L'economia politica come estensione della biologia”, in *Note economiche*, 2, 1974, p.5.

² Cambridge, Ma, 1971, p.3.

dell'economia", "La legge dell'Entropia emerge come la più economica di tutte le leggi della natura" ed è proprio da questa legge che emerge l'impossibilità di applicare i principi della meccanica alla formulazione delle leggi economiche³.

Già quaranta anni prima di Georgescu-Roegen, un biologo, Alfred Lotka, aveva spiegato perché il processo economico è correlato al processo biologico. "In quest'ultimo processo - Lotka affermava - l'uomo, come ogni altra creatura vivente, usa solo i suoi strumenti *endosomatici*, cioè gli strumenti che sono parte di ogni singolo organismo per nascita. Nel processo economico l'uomo usa anche strumenti *esosomatici* – coltelli, martelli, navi, macchine ecc. – che produce egli stesso."⁴ E nel 1944 Erwin Schroedinger aveva felicemente collegato l'affermarsi della vita, che diminuisce l'entropia, con il processo di riorganizzazione della materia, all'aumento di entropia nell'ambiente, restituendo così alla seconda legge della termodinamica il suo carattere di legge universale.

³ *Ivi*.

⁴ *Ivi*, p.11. N.Georgescu-Roegen, *Analytical Economics*, Cambridge, Ma, 1966, pp.82 e 98. "Tutti gli esseri viventi, nel loro ruolo di demoni Maxwelliani per usare bassa entropia con il proposito di godere e preservare la loro vita, usano i loro organi biologici. Questi organi variano da specie a specie, la loro forma da varietà a varietà, ma sono caratterizzati dal fatto che *ogni individuo è nato con loro*. Alfred Lotka li chiama *strumenti endosomatici*. Se alcune marginali eccezioni vengono ignorate, l'uomo è il solo essere vivente che usa nella sua attività anche "organi" che non sono parte della sua *costituzione biologica*. Noi economisti li chiamiamo capitale, ma il termine di Lotka, strumenti esosomatici, è più illuminante. In effetti, la terminologia enfatizza il fatto che largamente inteso, il processo economico è una continuazione di quello biologico."

Georgescu-Roegen poteva così a buona ragione affermare “In tal modo, l’organismo si batte per compensare il continuo inevitabile decadimento della sua delicata struttura. L’ovvia similitudine di questo processo col processo economico visto come un tutto unico, vendica l’intuizione di Marshall della parentela fra i due.”⁵ Ed ancora “La presenza della vita, ovviamente, conta. Come mostrano chiaramente i fatti, la vita influenza la degradazione entropica, a volte ritardandola – come quando le piante verdi impediscono a parte delle radiazioni solari di essere degradate *immediatamente* in calore dissipato – altre volte accelerandola -come quando gli animali mangiano la vegetazione o altri animali. (...) La legge dell’entropia non impone né una velocità definita né un modello particolare alla degradazione entropica. Tutto ciò che dice è che questo degrado è inevitabile e irrevocabile. È proprio a causa di questa libertà entropica dei fenomeni attuali che la vita può dare una illimitata varietà di forme e noi possiamo accelerare il degrado entropico dell’ambiente secondo i piani economici da noi scelti.”⁶

Georgescu-Roegen coglie in tal modo il nesso che unisce l’entropia alla vita e la vita al sistema economico. La vita si nutre di bassa entropia. Georgescu-Roegen

⁵ N.Georgescu-Roegen, “Bioeconomics Aspects of Entropy”, in L.Junker (ed), *The Political Economy of Food and Energy*, Ann Arbor, 1977, p.131.

⁶ Ivi.

affermerà più volte nei suoi scritti questa frase. Ma anche l'economia si nutre di bassa entropia. Tutto il processo di produzione è l'iniezione di energia nella materia. Solo in questo caso la materia si trasforma e diventa utile. L'utilità di un oggetto è la prova che si è aggiunta energia ⁷. In tal modo sia i sistemi biologici che i sistemi economici rientrano nella Legge di Entropia. Apparentemente, infatti, essi paiono aggiungere ordine alla materia, in realtà, essendo sistemi aperti l'energia entra ed esce dai sistemi. Ma il bilancio energetico è sempre negativo: l'energia entrata è sempre maggiore di quella uscita e l'entropia che si genera è maggiore della bassa entropia utilizzata. Così si rientra nella seconda legge della termodinamica ⁸.

Scrive Georgescu-Roegen "Il processo economico consiste in una trasformazione continua di bassa entropia in entropia elevata... Dal punto di vista puramente fisico, il processo economico è entropico: esso non crea né distrugge la materia o l'energia, ma trasforma solo la bassa entropia in alta entropia. Ma anche tutto il processo fisico dell'ambiente materiale è entropico." ⁹.

⁷ N.Georgescu-Roegen, *La science économique. Ses problèmes et ses difficultés*. Paris, 1969, pp.95-96.

⁸ Y.E., Y, B-M, "Entropia", AA.VV., *Enciclopedia Einaudi*, vol.V, Torino, p.490.

⁹ *Ibidem*, p.99.

Questa connessione fra il processo di evoluzione biologica degli esseri umani e il processo economico fu riconosciuto solo da Malthus¹⁰.

2. La seconda legge della termodinamica era stata enunciata da Clausius nel 1865. Per essa “L’entropia dell’universo si muove sempre verso il suo massimo”¹¹.

L’energia si presenta in due forme: 1) libera o disponibile 2) legata o latente.

L’energia libera è l’energia che si può trasformare in energia meccanica, ma una volta trasformata, diventa latente, ovvero dispersa. Il processo di entropia è proprio questo: la trasformazione di energia disponibile, ovvero concentrata, in energia dispersa. L’entropia ha una conseguenza: introduce nella fisica il tempo. Il mondo fisico, che era stato ipotizzato da Newton come una macchina senza tempo e i cui processi erano reversibili, diviene ora un processo in evoluzione e connotato dalla irreversibilità. Allorché un fenomeno è avvenuto, non si può più tornare ad una situazione identica alla precedente. Quando, ad esempio, si mescola acqua con vino, non si possono più ricollocare le due molecole in due diversi recipienti.

¹⁰ *Ibidem*, p.104.

¹¹ N. Georgescu-Roegen, “Entropy,” in J.Eatwell, M.Milgate, P.Newman, *The New Palgrave. A Dictionary of Economics*, vol 2, London, 1987, pp.153-156.

Nel 1872 Lord Kelvin diede una nuova interpretazione alla seconda legge della termodinamica. “In natura c’è una costante tendenza a passare dall’ordine al disordine”. La natura assiste quindi ad un processo di disorganizzazione, ovvero di passaggio dall’ordine al caos.

Le conseguenze di questa legge sulle scienze fisiche furono enormi. Anzitutto, poiché l’entropia non è misurabile con esattezza, ma è uno stato relativamente diverso da uno stato precedente, si inserisce nella fisica il concetto di probabilità, al posto della certezza matematica di cui aveva fino ad allora goduto. In secondo luogo si introduce un principio evolutivo che, soprattutto nelle scienze della materia vivente, viene a detronizzare il normativismo precedente. La natura vivente è un processo in trasformazione, che tende al caos. In terzo luogo si concepisce la natura vivente come un sistema organizzato, dalla struttura più piccola, l’atomo a quella più grande, l’universo. Ed in mezzo ci stanno gli organismi (ad esempio gli uomini) e gli ecosistemi. In quarto luogo i sistemi viventi sono processi in corso e sono caratterizzati da situazioni di ordine e da fenomeni caotici. In generale sono sistemi complessi, al limite del caos. In quinto luogo i sistemi viventi sono prodotti da singole storie, e quindi ciascuno di essi è caratterizzato da una propria individualità che lo qualifica diversamente da ogni altro e che reagisce

diversamente agli stimoli dell'ambiente esterno. Infine i sistemi viventi, essendo sistemi organizzati, non sono qualificabili per la loro quantità (ad esempio quante cellule in un corpo umano) , ma dalla loro posizione e dalla loro funzione nella struttura, e cioè dalla qualità. Viene cioè a mancare qualunque certezza di previsione su ciò che accadrà.

L'importanza dell'impostazione di Georgescu-Roegen per la metodologia della scienza economica, sfuggì a quasi tutti i suoi contemporanei. Come osservò Herman Daly nella sua commemorazione del Maestro, l'opera di Georgescu-Roegen fu accolta dalla professione degli economisti con un grande silenzio. E lo stesso Paul Samuelson che aveva scritto una bella prefazione all'opera di Georgescu-Roegen, non ne utilizzò i risultati nei suoi scritti successivi ¹².

Solo John Peet in un intervento postumo alla morte dell'economista rumeno scriverà "Nelle decadi recenti i risultati della scienza fisica (così come delle scienze naturali e sociali) ci hanno aiutato nella critica della descrizione economica dominante del mondo in cui viviamo. La termodinamica, ad esempio, specialmente

¹² H.E.Daly, "On Nicholas Georgescu-Roegen Contribution to Economics: An Obituary Essay," *Ecological Economics*, 13, 1995, p.150.

la seconda legge spiega perché l'assunzione di uno stato di equilibrio (centrale al paradigma economico neoclassico) è falsa.

La realtà è che i sistemi viventi come la gente e le economie, sono sempre aperti alla materia e all'energia. La moderna termodinamica ci dice che questi sistemi viventi sono in dialogo costante con il loro ambiente. Tutte le cose viventi, senza eccezione, co-evolvono con altre sotto condizione che fossero e siano lontane dall'equilibrio. Un' economia è un sistema vivente, ed essa stessa opera lontano dall'equilibrio. In queste condizioni, alcuni assunti centrali dell'economia (soprattutto neoclassica) collassano, poiché poggiano sull'idea che l'economia sia un sistema isolato, il che evidentemente non è" ¹³.

In effetti in queste parole sta tutto il significato della rivoluzione metodologica che Georgescu-Roegen ha proposto. L'economia politica come studio di un sistema vivente, e non di un meccano, comporta l'abbandono di alcuni degli assiomi che stanno a fondamento della costruzione teorica della disciplina e l'accettazione di una diversa prospettiva¹⁴.

¹³ J.Peet, "Georgescu-Roegen Versus Solow-Stigliz..But What Is the Real Question?", *Ecological Economics*, 23, 1997, p.294.

¹⁴ La parola "meccano" fu più volte usata come sinonimo di capitale fisso negli scritti sulle teorie della crescita degli anni 1960.

3. Georgescu-Roegen si rende conto che il paradigma neo-classico deve gran parte della sua forza all'ancoraggio ai principi della meccanica razionale, e cioè a quei principi che per due secoli erano stati il fondamento di ogni scienza. In *The Entropy Law and the Economic Process* scrive “Nessun'altra scienza illustra meglio dell'economia l'impatto dell'entusiasmo per l'epistemologia meccanicista sulla sua evoluzione. La trasformazione della economia in una scienza “psico-matematica” richiede una misura di utilità che ci sfugge? “Ebbene”- esclamò Walras – “questa difficoltà non è insormontabile. Supponiamo che questa misura esista, e noi potremo fare un calcolo matematico esatto “dell'influenza dell'utilità sui prezzi” (...). Jevons mostrò alcuni dubbi sull'ipotesi che il nuovo ambiente – il campo economico – contenesse gli elementi di base necessari affinché il nuovo organismo

Le note di Peet furono scritte come contributo in un “Forum” nella rivista “Ecological Economics” in cui Herman Daly aveva sfidato gli economisti neo-classici a rispondere ad alcune domande, fra cui la principale era, quanto credibile un modello di crescita che prevedeva due sole variabili, capitale e lavoro, ignorando la materia prima? A Daly risposero Robert Solow e Joseph Stiglitz che confermarono le loro tesi e cioè che le materie prime potevano essere sempre sostituite, purchè si trovassero tecnologie in grado di variare le quantità delle stesse e che, con tecniche sufficientemente avanzate, il problema dell'esaurimento delle materie prime non sarebbe stato rilevante, almeno nell'arco di cinquanta-sessanta anni. Daly rilevò che queste affermazioni, portate al limite, si prestavano a conclusioni paradossali. Nell'ipotesi neo-classica dominante il processo di produzione si svolgeva senza le materie della produzione stessa. Sul “Forum”, cui parteciparono numerosi studiosi, si veda *Ecological Economics*, 22, 1997, pp.175-306.

crescesse e sopravvivesse. Era infatti sua intenzione di ricostruire l'economia come *'la meccanica dell'utilità e del proprio interesse'* ¹⁵. L'economia dunque compì la sua "rivoluzione newtoniana" negli anni 70 dell'Ottocento e la compì con Jevons e Walras.

Come è noto, il programma di Newton partiva dalle leggi del moto di Galileo e su di esse compiva una duplice operazione: da un lato le generalizzava a principio fondante di tutto ciò che avviene nella natura, sia in cielo che in terra, sia nel mondo inanimato che nel mondo della vita, dall'altro lato applicando la derivata prima e seconda alle funzioni infinitesimali blindava in un sistema matematicamente corretto sia il sistema della natura, sia i suoi aspetti dinamici che venivano individuati nella derivata prima e seconda delle equazioni che esprimevano il sistema. Newton quindi otteneva un sistema coerente e certo in cui le leggi del moto erano l'assioma fondante e di cui, note le posizioni in un certo momento, si poteva prevedere lo svolgimento passato e futuro. Come osservò Georgescu-Roegen, Walras aveva sostituito all'universo il mercato, alla forza il prezzo, alla massa le grandezze economiche (merci, lavoro, moneta, capitale, ecc.) ed otteneva con un'equazione il punto di equilibrio del sistema, che era unico e determinato e si

¹⁵ N.Georgescu-Roegen, *The Entropy Law, cit.*, p.40.

poteva rappresentare sul piano cartesiano come punto di incontro delle forze contrapposte.

La similitudine delle forze che agiscono sui prezzi alle forze che nella meccanica agiscono sui corpi, unita ad una formalizzazione matematica dei processi, pareva garantire a Walras la assoluta scientificità dell'economia, che veniva così liberata sia da tutta la letteratura inutile di cui gli economisti del momento amavano circondare i loro ragionamenti sia, ancora di più, da tutte le ideologie che spingevano le teorie da un lato o dall'altro, a seconda delle convinzioni politico-sociali dei singoli attori.

La funzione di produzione, elaborata da Leon Walras negli anni 1870, e più tardi perfezionata da Philip Wicksteed e Gustav Cassel prevede che le risorse siano date, che le preferenze degli individui siano invariabili e la tecnologia sia fissa. Le relazioni fra le variabili economiche sono lineari. Per ottenere la massima efficienza dal processo produttivo e il suo equilibrio occorre che il sistema economico sia competitivo e libero e produttori e consumatori siano razionali e ben informati e non vi siano "esternalità", quali rifiuti, inquinamento, energia, controlli e ispezioni, sistemazione dei materiali e altro. Questo sistema è esprimibile in forma matematica se la funzione di produzione è omogenea, di primo grado e

differenziabile. In questo caso si ottiene la migliore allocazione del prodotto se i fattori della produzione (terra, capitale e lavoro) sono remunerati secondo il loro rispettivo prodotto marginale. In altri termini, un incremento di uno dei fattori della produzione porterà ad un incremento del prodotto complessivo. Ma per ogni stato della tecnologia vi è un prodotto massimo ottenibile e ad ogni cambio della tecnologia vi è una diversa funzione di produzione. Poiché la materia prima (ovvero il prodotto della terra) viene assunto come illimitato, la funzione di produzione dipende dal capitale e dal lavoro impiegato. Il sistema economico qui considerato è visto come un sistema chiuso, e cioè senza introduzione dall'esterno di nuova energia o nuova materia.

Walras presentò così una nuova disciplina logico-matematica che, nonostante qualche perplessità iniziale, doveva rapidamente conquistare un buon successo.

E fu tale il successo di questo metodo che esso non solo soppiantò rapidamente il vecchio sistema classico di Smith, Ricardo e Say, ma resistette vittoriosamente sia all'attacco "hegeliano" di Marx, sia a quello della Scuola Storica Tedesca ¹⁶. È interessante notare che fu la scuola austriaca ad avere la voce principale nel respingere l'impostazione di queste due scuole. In particolare, fu Carl Menger,

¹⁶ *Ibidem*, pp.317-331.

considerato tuttavia teorico minore di Jevons e Walras, anche per il suo rifiuto a volere usare lo strumento matematico, nei confronti della scuola storica di Sombart, di Weber, e di Boehm-Bawerk per quanto riguarda Marx e i suoi seguaci.

Affermatosi rapidamente come il *metodo scientifico unico per lo studio dell'economia*, il meccanicismo impermeava di sé tutta la scienza economica, lasciando ai margini ogni altra ipotesi. E tuttavia non si accorgeva che proprio in quegli anni e in buona parte della stessa Cambridge maturavano due nuove interpretazioni della natura: per la natura non vivente si passava da una concezione meccanica ad una concezione elettromagnetica, per la natura vivente si passava da una concezione statica ad una evolutiva, cui Malthus aveva fornito, alcuni decenni prima, lo strumento interpretativo, ma che solo nel XX secolo avrebbe esplicitato tutto il suo programma innovativo nelle conoscenze della vita.

Georgescu-Roegen si premurò di negare validità a quella che chiamò la “dottrina chimica” dell'economia, che veniva elaborata da Eucken¹⁷. Per essa “i perenni ingredienti di ogni sistema economico cadono in tre categorie: il controllo (centrale o plurale), il mercato (con le sue forme standard) e le convenzioni monetarie (merce-moneta, merce-credito, moneta-credito). Le economie non sono

¹⁷ *Ibidem*, pp.326-327.

altro che la combinazione di questi ingredienti, uno per ogni categoria. Tutto ciò che ci serve è conoscere la formula combinatoria particolare per ogni caso in esame.

Come osserva Georgescu-Roegen, la natura di sistema vivente del sistema economico, fa sì che ogni fattore della produzione abbia una valutazione per le sue qualità e per i suoi compiti, non per la sua quantità.

Il successo della meccanica fu dovuto essenzialmente al metodo scientifico che essa stabilì. Fra le carte vincenti di Galileo Galilei ci fu l'isolamento dei processi fisici dall'ambiente in cui erano immersi. Per esso da un lato si riuscirono a produrre situazioni di laboratorio che avrebbero verificato la verità degli assunti, dall'altro si crearono le condizioni per stabilire processi di causa-effetto. Infine si ridussero gli esperimenti a movimenti semplici di due sole variabili, le quali quindi erano lineari ed integrabili. La scienza della meccanica era così in grado di fornire certezze cui la matematica conferiva validità logica formale. In questo modo si stabiliva che la nuova verità che la scienza esprimeva nasceva dalla logica del ragionamento e dalla verifica sensoriale dell'esperimento ¹⁸. L'economia politica iniziò la sua trasformazione logico-scientifica, quando la fisica cominciava ad

¹⁸ N.Georgescu-Roegen, *La science économique, cit.*, p.90.

abbandonare il paradigma meccanicista. W. Stanley Jevons poteva scrivere nel 1871 che l'economia era "la meccanica dell'utilità e dell'auto-interesse"¹⁹.

4. L'accusa che Georgescu-Roegen mosse alla teoria neo-classica della produzione si fondò proprio sulla ignoranza della Seconda Legge della Termodinamica. Per essa infatti ogni processo produttivo produce entropia, e cioè consuma energia e materia in una direzione che è irreversibile. Le materie prime utilizzate lasciano sul terreno una quantità di rifiuti che non possono più venire utilizzati se non impiegando nuova energia. Anche l'energia che viene messa nel processo produttivo è maggiore di quella che ne esce incorporata nel prodotto. Infine l'uso di nuova tecnologia non è un processo senza consumo. Infatti la innovazione tecnologica è essa stessa un processo di entropia. Dimenticando i principi della dinamica e della fisica si rende il processo produttivo, stilizzato dai neo-classici in forma matematica, estremamente irrealistico così come irrealistici sono le condizioni iniziali poste al modello.

¹⁹ Citato in N.Georgescu-Roegen, "Methods in Economic Science", *Journal of Economic Issues*, 13, 1979, p.320.

Georgescu-Roegen pose la Seconda Legge della Termodinamica come assioma fondante della nuova concezione dell'economia, mettendola su posizioni più solide sia dell'assioma smithiano dell'edonismo individuale, sia dell'assioma neo-classico dell'uguaglianza dell'utilità marginale, in quanto ci si trovava di fronte ad una legge della fisica difficilmente contestabile, e non ad un'ipotesi di comportamento umano che, come tale, è storicamente determinato da valori culturali relativi. Ma la rivoluzione paradigmatica in senso kuhniano avviene quando si introduce l'economia nelle scienze degli organismi viventi ancorandola alla biologia e cioè ad una scienza che ha assunto il processo evolutivo come suo fondamento.

Nella sua introduzione a *The Entropy Law*, dopo aver affermato che ogni essere vivente può abbassare il processo di degradazione, solo attingendo entropia dall'ambiente che lo circonda (cosicché, comunque vada, il saldo entropico è positivo), scrive "Un essere vivente può evadere solo il degrado entropico della sua struttura. Non può prevenire l'aumento di entropia dell'intero sistema, consistente della sua struttura e del suo ambiente. Al contrario, da quello che possiamo dire ora, la presenza della vita provoca un incremento dell'entropia di un sistema più rapido di quanto sarebbe altrimenti. La verità dell'ultimo punto è evidente soprattutto nel caso della specie umana. Attualmente, nulla si può aggiungere per farci vedere che

anche la lotta economica è solo sulla bassa entropia e che la natura del processo economico considerato nella sua interezza, è puramente entropico. Tuttavia fra i maggiori economisti, solo Alfred Marshall intuì che la biologia e non la meccanica è la vera Mecca dell'economista. E anche se la tendenza antimeccanicista di Marshall si rifletteva principalmente nelle sue famose analogie biologiche, dobbiamo imputare a loro la sua importante scoperta della irreversibilità della tabella dell'offerta di lungo periodo. Sfortunatamente l'insegnamento di Marshall non provocò un'influenza duratura e il fatto che l'irreversibilità è una caratteristica generale di tutte le leggi economiche non ricevette alcuna attenzione”²⁰. Georgescu-Roegen conosceva bene i dibattiti che si svolgevano all'interno delle scienze biologiche ed affermava che doveva a Schumpeter la tesi che l'evoluzione nel processo economico non è di tipo darwiniano.

Le innovazioni, che sono il vero motore della trasformazione dei sistemi economici, avvengono per grandi balzi e non per piccoli passi, e il modello più che in Darwin, deve essere visto nelle tesi di Lamarck. Per certi aspetti si potrebbe pensare alla teoria degli “equilibri punteggiati” di Stephan J. Gould e Niles

²⁰ *Ibidem*, p.11.

Eldridge, se questi non avessero scritto i loro saggi qualche anno dopo le affermazioni di Georgescu-Roegen.

5. Come si è accennato, la rinuncia al meccanicismo e alla metafora della meccanica razionale da parte di Georgescu-Roegen e la sua accettazione dell'indicazione di Marshall della biologia come Mecca (cioè direzione verso cui guardare) dell'economia implica l'abbandono del determinismo e l'abbraccio di un'analisi del processo storico del sistema economico. Non solo, quindi i fenomeni economici sono irreversibili, come i processi biologici, ma vanno studiati con collocazione nel tempo e nello spazio.

Nel tempo significa che le società creano delle istituzioni adatte alla loro crescita e conservazione, vere e proprie “nicchie” di sopravvivenza. Le istituzioni sono politiche (Stato e suoi organi, difesa dai nemici esterni, difesa dai nemici interni, giustizia, ecc.), sociali (Istituzioni per la salute, per la difesa nelle situazioni di debolezza, ecc.), economiche (Mercato, moneta e finanza, imprese, tutela della proprietà, mercato del lavoro, ecc.). Tutte queste strutture vengono a interagire in un sistema sempre più complesso, ma la complessità è garanzia di sopravvivenza del sistema intero anche di fronte al collasso di una sua parte, o ad una minaccia dal

mondo esterno. Scrive Georgescu-Roegen “L’affermazione che i principi fondamentali dell’economia sono universalmente validi, può essere valida nella sua *forma*. Nel loro contenuto, peraltro, sono determinati dalla situazione istituzionale. Senza questo contenuto istituzionale, i principi non sono altro che “scatole vuote”, da cui possiamo ottenere solo vuote generalità. Questo non vuole dire che la teoria dominante opera con “scatole vuote”. Al contrario queste scatole sono riempite con contenuto istituzionale distillato dai modelli culturali di una società capitalista (...). Marshall sembra essere solo nel rimproverare gli economisti di aver prodotto le loro teorie ‘sulla tacita supposizione che il mondo era fatto di cittadini’ ”.

Dobbiamo a Georgescu-Roegen l’intuizione che l’economia doveva trasformarsi da meccanica economica a bioeconomia. La bioeconomia doveva tener conto della teoria economica, della termodinamica, della biologia, della sociologia, dell’antropologia e della scienza politica tutte insieme. Si tratta di discipline che hanno tutte la “freccia del tempo”, nel senso che i fenomeni che le riguardano sono irreversibili, e che avendo numerosi “bacini di attrazione”, sono indeterminati.

I principi fondamentali della bioeconomia stabiliscono anzitutto che l’attività economica è una parte dell’attività umana, che essa richiede un assorbimento di bassa entropia dall’ambiente, che l’attività di produzione causa un consumo di

materie prime e un deficit di entropia, che il presente condiziona il futuro. Inoltre sono caratteristiche dell'azione dei sistemi sociali l'uso degli strumenti tecnologici per risolvere i conflitti sociali, anche se essi possono essere risolti in modo permanente solo con un radicale cambiamento dei valori e nel comportamento politico e economico ²¹. Nessun economista, anche Ricardo o Walras , può essere biasimato per non aver costruito una teoria ad un tempo *rilevante e valida* per tutte le situazioni istituzionali. La società non è un' entità immutabile, ma evolve continuamente in forme senza fine che differiscono nel tempo e nello spazio. È normale, perciò che ogni grande economista abbia riempito le sue scatole analitiche con un contenuto istituzionale ispirato dai modelli culturali della società che conosceva e in cui viveva” ²². Nello spazio significa che l'ambiente, entro il quale una società ha saputo adattare le proprie caratteristiche e la propria specificità storica, subisce un processo continuo di modificazione, non necessariamente di miglioramento, che può condizionare fortemente lo sviluppo delle società umane. Anzi, per Georgescu-Roegen l'analisi delle interrelazioni fra ecosistema e società diventa l'aspetto fondamentale dello studio del sistema economico, e l'ecosistema è

²¹ T.R.Berard, G.A.Lozada, *Economics, Entropy and the Environment*, Cheltenham, 1999, pp.120-121.

²² N.Georgescu-Roegen, *Analytical Economics, cit.*, p.110.

una realtà in cui vi è un continuo impoverimento (dispersione) delle risorse naturali, ovvero delle materie prime ²³.

Georgescu-Roegen ipotizza qui una quarta legge della termodinamica che sulla scia della seconda, affermerebbe che anche la materia, come l'energia è soggetta ad un continuo processo di degrado ²⁴. Ma se è così, non basta più l'ipotesi di uno stato stazionario, che pure un suo allievo, Herman Daly, aveva immaginato: "Per ottenere questo sogno, egli scrive, dobbiamo iniziare con un programma bioeconomico minimo che tenga conto non solo del destino dei nostri contemporanei, ma anche delle future generazioni. Gli economisti hanno predicato troppo a lungo che dovremmo massimizzare i nostri presenti margini. È tempo che la gente capisca che la condotta più razionale è minimizzare i nostri rimorsi" ²⁵.

6. Per Georgescu-Roegen l'esigenza di occuparsi del problema della natura non nasce tanto dalla preoccupazione per il continuo degrado dell'ambiente causato dai rifiuti del processo produttivo, o dalle conseguenze dell'inquinamento dell'aria o

²³ N.Georgescu-Roegen, "Bio-Economic Aspects of Entropy", in J.Zeman, *Entropy and Information in Science and Philosophy*, Amsterdam, 1975, pp.125-142.

²⁴ N.Georgescu-Roegen, "The Steady State and Ecological Salvation: A Thermodynamic Analysis", *Bioscience*, 27, 1977, p.270.

²⁵ Ivi.

del suo surriscaldamento. Il problema della natura origina dallo stesso processo entropico, è una conseguenza logica di una legge della fisica. In altri termini, Georgescu-Roegen non è un economista dell'ambiente, è, come lui stesso si autodefinisce, un bioeconomista. Egli afferma infatti che il processo produttivo ha come fondamento la dissipazione di energia, e cioè “esso non crea né consuma materia o energia, trasforma solamente bassa entropia in alta entropia”²⁶.

Come si è detto, per riaffermare il carattere irreversibile della dispersione della materia e il degrado dell'ambiente, Georgescu-Roegen, ipotizza l'esistenza di una quarta legge della termodinamica, per la quale il processo di degrado e di dispersione investe anche la materia. In altri termini, l'utilizzo delle materie prime le fa disperdere nell'ambiente in modo irreversibile, poiché per poterle riaccorpere per un nuovo utilizzo occorrerebbe un consumo (entropico) di energia molto maggiore. Dunque il processo di entropia è irreversibile sia nell'energia che nella materia e nessuna tecnologia può produrre un'entropia uguale a zero. È stato osservato che la quarta legge non godrebbe della necessaria generalità e che, almeno teoricamente, sarebbe possibile concepire una tecnologia che, utilizzando

²⁶ N.Georgescu-Roegen, *Energy and Economic Myths*, New York, 1976, p.9.

parte dell'energia che si disperde continuamente nell'universo, si potrebbe ottenere neghentropia nella materia.

Ma anche se questa legge non avesse una validità assoluta è pur tuttavia vero che si dovrebbe tenerne conto nel processo di produzione. In altri termini le materie prime non sono disponibili in quantità infinita ed il processo produttivo tende inevitabilmente a renderle inutilizzabili. Naturalmente ciò non avveniva nel processo produttivo fino al Settecento, dato che si utilizzavano quasi soltanto materie prime rinnovabili (legno, creta, terra, colori naturali e, ovviamente, lana, cotone, seta, lino, canapa, juta) eccetto i pochi metalli impiegati nella metallurgia, e fonti energetiche rinnovabili (cibo, acqua, vento, animali da tiro ecc.). Ciò che è avvenuto con la rivoluzione industriale è stato un enorme e crescente utilizzo di fonti energetiche e di materie prime non rinnovabili, che hanno prodotto una grande accelerazione del processo entropico.

Proprio su questa problematica egli ebbe i dibattiti più accesi con studiosi con cui pur condivideva l'impostazione di fondo. A Eugen Odum e Robert Costanza, che avevano posto l'energia al centro della vita economica e che avevano persino ipotizzato che un'abbondanza di energia rinnovabile avrebbe risolto il problema dell'esaurimento delle materie prime, Georgescu-Roegen aveva opposto che la

materia è importante, e che nessuna macchina lavora senza una materia prima da trasformare ²⁷. Inoltre l'uso della materia prima ha come conseguenza una sua usura, una dispersione, in altri termini, un consumo dovuto alla imperfezione delle macchine. Infine, la considerazione che il sistema sociale è inserito nel più ampio ecosistema e non lo si può estrarre da questo, né, tanto meno, dall'intera natura. Un economista agrario quale Martinez-Alier, condivide le teorie di Georgescu-Roegen e afferma che il calcolo ecologico spesso si distacca dal calcolo economico, in quanto il primo “studia, da un approccio riproduttivo, le condizioni (sociali, temporali e spaziali) sotto le quali l'economia (che assorbe risorse ed espelle rifiuti) è collocata all'interno gli ecosistemi in evoluzione. Da un approccio allocativo, l'economia ecologica studia la valutazione dei servizi prestati dall'ecosistema al subsistema ecologico pervenendo alla conclusione che tali valori non si possono misurare su una singola scala (monetaria) di valore” ²⁸.

²⁷ C.J.Cleveland and M.Ruth, “When, Where and By How Much Do Biophysical Limits Constrain the Economic Process? A Survey of Georgescu-Roegen’s Contribution to Ecological Economics”, *Ecological Economics*, 22, 1997, pp.208-223.

²⁸ J.Martinez-Alier, “Some Issues in Agrarian and Ecological Economics, in Memory of Georgescu-Roegen”, *Ecological Economics*, 32, 1997, p.232.

7. Le obiezioni di Robert Ayres a Georgescu-Roegen sono state le più decise ²⁹.

Ayres contesta la quarta legge della termodinamica di Georgescu-Roegen e, soprattutto, il problema dell'esaurimento delle materie prime. Per Ayres l'entropia e la morte termica sono un problema di un futuro lontano miliardi di anni, e quindi non rilevante per il genere umano. Per quanto riguarda le materie prime Ayres si riferisce all'ipotesi di Solow e Stiglitz di una perfetta sostituibilità di capitale e lavoro alle materie prime e cioè, per dirla con Daly, che si può fare una buona torta senza uova, zucchero e farina, aumentando il lavoro dei cuochi e le attrezzature della cucina. Per Ayres questo non è un paradosso, se si considera la possibilità che il progresso tecnologico porti ad una progressiva riduzione dei manufatti prodotti, a favore dei servizi. Inoltre il progresso tecnologico potrebbe ridurre ulteriormente il consumo di materiali allungando la vita degli strumenti già esistenti.

Naturalmente Ayres condivide la tesi che l'utilizzo di combustibili fossili esauribili può costituire un problema per le prossime generazioni, ma ciò è dovuto al relativo basso prezzo della produzione di queste materie energetiche e infatti non

²⁹ R.U.Ayres, "Eco-thermodynamics: Economics and the Second Law", *Ecological Economics*, 26, 1998, pp.189-209.

mancano le tecnologie per l'utilizzo dell'energia solare che ora viene sfruttata solo in minima parte.

In realtà le obiezioni di Ayres appaiono inconsistenti sia storicamente, sia scientificamente. Sotto il profilo storico non pare proprio che gli ultimi dieci anni (dalla data dell'articolo di Ayres) siano stati caratterizzati da un uso decrescente di materie prime e di combustibili fossili. Anzi, la prospettiva dell'avvio di un processo di industrializzazione di una popolazione che potrebbe moltiplicare per cinque il numero di quella che già fa un uso indiscriminato di risorse naturali, rende ancora più drammatica l'angoscia di trovarsi quanto prima di fronte ad uno strangolamento del processo produttivo. In questo senso non ci si sta certo avvicinando all'età dell'oro di Ayres in cui la produzione industriale prescinderebbe dalle materie prime. Anzi, nella misura in cui ci si allontana in tutto il mondo dai vecchi sistemi produttivi pre-industriali e ci si avvicina a quelli moderni, l'uso di energia non rinnovabile e materie prime sta crescendo in modo esponenziale.

Ma non meno rilevante è l'errore di prospettiva scientifica di Ayres. Ciò che caratterizza la rivoluzione di Georgescu-Roegen, e che ha la sua pietra angolare nel Secondo principio della Termodinamica, è il passaggio da una concezione dell'economia come sistema aritmomorfo, ad una concezione evolutiva. Stabilito

che in natura avviene un continuo processo evolutivo, cui sono soggetti tutti gli organismi viventi (e non solo), ne consegue che la scienza che studia i processi economici non può non essere non reversibile ed evolutiva. Per una tale scienza il problema ecologico è soltanto una conferma che il processo evolutivo iniziato nel Settecento ha preso una strada che lo sta portando verso l'autodistruzione. Poco importa se questa avverrà fra cinquanta anni (come sostiene Gorge Stiglitz) o fra duecento anni. Il problema è che tanto più ci si inoltra sulla via intrapresa, tanto più sarà difficile e costoso cambiare strada (dato che il processo è comunque irreversibile e quindi non è possibile tornare indietro).

Ma una scienza umana evolutiva deve avere due caratteristiche fondamentali. Anzitutto analizzare dei sistemi complessi dissipativi e aperti, in secondo luogo analizzare dei processi cognitivi, dato che la struttura dei sistemi viventi è essenzialmente cognitiva.

Georgescu-Roegen non entrò in questo campo di ricerche. Ma sul solco aperto dall'economista rumeno fecero alcuni passi due economisti: Kenneth Boulding e Frederyck Hayek. Di loro si vedrà più oltre. Qui è sufficiente ricordare brevemente alcune ipotesi che emergono dallo studio dei sistemi viventi. Anzitutto il problema della complessità, delle interazioni che intervengono

quando in un sistema le singole parti non sono valutate per la loro quantità, ma per la loro funzione. In secondo luogo l'impossibilità di prevedere lo sbocco dei fenomeni. In terzo luogo gli effetti di autopoiesi, ben noti agli studiosi degli organismi umani. Ed ancora il problema della difficoltà di valutare le conseguenze di un fenomeno esterno, anche minimo (effetto farfalla). Ed altri ancora.

Ma il vaso di Pandora, aperto da Georgescu-Roegen riserverà molte altre difficili questioni a quegli economisti che non pensano di risolvere con una "elegante" formula matematica, i complessi problemi del processo economico.

CAPITOLO II

UNA VISIONE BIOLOGICA DELL'ECONOMIA: UNA LUNGA INCUBAZIONE

1. Il problema della “economia della natura” non nasce con Georgescu-Roegen.

È già presente nel Cinquecento e verrà fortemente riaffermato con l'opera monumentale di Carl Linnaeus. nel Settecento. Per tre secoli, durante i quali l'economia cercherà di riaffermare il proprio ruolo di scienza dell'uomo, il dibattito metodologico del rapporto con le scienze fisiche rimase aperto.

Il punto di riferimento di tutte le scienze del XVIII e XIX secolo fu la versione newtoniana della legge del moto di Galilei, rielaborata e arricchita da un nuovo apparato matematico. La nuova “meccanica razionale” di Newton si fondava su alcuni principi base: a) l'esistenza di una forza, la forza di gravità che esercita un'attrazione su tutti i corpi, b) l'esistenza di uno spazio e di un tempo entro cui il moto della materia si esercita, c) la matematizzazione delle leggi del moto, d) l'individuazione di processi di causa-effetto determinati, e) la scomposizione dei

fenomeni in elementi singolari. È vero che i principi newtoniani non si prestavano ad essere trasferiti facilmente all'analisi dei processi del mondo vivente, ed ancor più delle società umane, ma il metodo scientifico di Newton trovò una quasi unanime accoglienza sia nel mondo della scienza, sia nel più ampio contesto della filosofia dominante. Figure come Eulero, Lagrange, Laplace, Hamilton, Jacobi e Poincaré si possono annoverare fra i seguaci di Newton insieme a molti altri scienziati.

In Gran Bretagna il maggiore filosofo del Settecento, David Hume accettò senza riserve l'impostazione metodologica di Newton. La ricerca delle cause dei fenomeni va effettuata col metodo della induzione e della verifica e in seguito si tende a generalizzare il principio di causa-effetto per dedurre una legge avente validità generale. In opposizione al metodo dei cartesiani, Hume rivendica la validità del programma di Newton. Scrive Hume nel *Treatise of Human Nature*: "Dai fenomeni del moto si investigano le forze della natura per poi dalle forze dimostrare altri fenomeni (...). Nella filosofia naturale, l'investigazione di cose difficili col metodo dell'analisi, dovrebbe sempre precedere il metodo della composizione. Questa analisi consiste nel fare esperimenti e osservazioni e nel trarre conclusioni generali da queste per induzione. La sintesi consiste nell'assumere le cause scoperte e

determinate come principi, e da qui spiegare i fenomeni che seguono da loro”¹.

Hume conosceva bene i lavori di Newton, talchè nella *History of England* rilevò che Newton, mentre svelò alcuni misteri della natura, tuttavia mostrò anche i limiti del meccanicismo². Hume trasferì in un breve saggio sulla moneta la sua concezione deterministica della natura stabilendo quella strettissima relazione consequenziale fra moneta e prezzi che sarebbe rimasta basilare in tutti gli scritti dei monetaristi fino ai nostri giorni.

Hume influenzò moltissimo il più giovane amico filosofo Adam Smith che, dopo aver scritto a 36 anni il suo *The Theory of Moral Sentiments*, si dedicò agli studi economici e, diciassette anni dopo, pubblicò *The Wealth of Nations*. Smith era allievo di Francis Hutcheson, un filosofo di Glasgow che aveva studiato e promosso il metodo di Newton. Certamente conosceva gli scritti di Newton quando elaborò un breve trattato sulla *Storia dell'Astronomia* ed altri appunti minori sul suono e sull'elettricità. Questo piccolo saggio giovanile consentì a Smith di venire a contatto con la grande rivoluzione newtoniana. E Smith lesse con avidità le opere di Newton e, soprattutto ne accolse lo spirito e il metodo. Scriveva Smith: “Il genio

¹ Cit. in N. Capaldi, *David Hume. The Newtonian Philosopher*, Boston, 1975, p.64.

² M. Schabas, *The Natural Origins of Economics*, Chicago, 2005, p.66.

superiore e la sagacità di Sir Isacco Newton, fece il più felice, e possiamo ora dire, il più grande e più ammirevole progresso che fosse mai stato fatto in filosofia, quando scopri che poteva unire insieme i movimenti dei Pianeti con un principio di connessione così familiare, che rimosse completamente tutte le difficoltà che l'immaginazione aveva frapposto (...). Tale è il sistema di Sir Isacco Newton, un sistema in cui tutte le parti sono più strettamente connesse di quelle di ogni altra filosofia”³.

Per Smith il sistema newtoniano era riuscito a coordinare i principi che la natura aveva messo sia nel movimento degli astri, che nelle regole del moto in terra. E questi principi venivano connessi da una forza unica, la forza gravità. Scrive ancora Smith: “La filosofia è la scienza della connessione dei principi della natura. La natura, secondo la grande esperienza che l'osservazione comune può acquisire, pare abbondare di eventi che appaiono solitari e incoerenti fra di loro (...). La filosofia, rappresentando la catena invisibile che lega insieme tutti questi oggetti separati, cerca di mettere ordine in questo caos”⁴. Negli anni seguenti Smith non userà con frequenza metafore newtoniane per illustrare i propri principi di economia, ma terrà

³ N.S.Hetherington, “Isaac Newton’s Influence on Adam Smith’s Natural Laws in Economics”, *The Journal of the History of Ideas*, XLIV, 1983, p.502.

⁴ *Ibidem*, p.502.

sempre presente la lezione metodologica di Newton che eleverà a proprio metodo scientifico. Nella sua libreria c'erano i volumi di Galileo, Huygens, Hooke, Gassendi, Newton, Malpighi, Spallanzani, Linneo e Buffon.

Smith cercò di trasferire il concetto newtoniano di gravità al caso di prezzi di mercato. In questo senso il “prezzo naturale” fungerebbe da attrattore dei prezzi che tendono a gravitare su di esso. Per Smith quindi le forze di natura tendono a prevalere nel tempo e a creare un equilibrio stabile. Tuttavia Smith non è alieno dall'accogliere alcuni suggerimenti di Linneo ed anche di Buffon. Nella *Theory of Moral Sentiments*, a proposito della economia della natura, scriverà che “l'autoconservazione e la propagazione della specie sono i grandi fini che la Natura sembra aver proposto alla formazione di tutti gli animali”⁵.

Smith visse profondamente il dibattito fra il meccanicismo dei fisici e il vitalismo dei biologi che proprio nel Settecento avrebbe conosciuto il suo punto più alto. E non fu insensibile a suggerimenti e analogie che i biologi ipotizzavano. Così l'economia politica è il carburante che dà energia al corpo sociale, il sistema economico è come un corpo munito di distinte funzioni, un corpo che va tenuto

⁵ Cit. in *Ibidem*, p.81.

vivo, in cui il “sistema di libertà naturale” è una condizione importante, ma non l’unica necessaria perché il corpo si sviluppi.

Per Smith il corpo sociale è un tutto unico, che non può essere sezionato in singole parti, e lo studio del comportamento degli esseri viventi si viene ad esplicitare nella “economia animale”⁶. Il fatto che Smith usi abbondantemente un linguaggio fisiologico, per descrivere il sistema economico indica che questo sistema non può essere studiato in termini di meccanicismo, ma come un organismo vitale, un sistema vivente, capace di trovare il suo sviluppo e la sua evoluzione con le proprie energie. In tal modo Smith riesce a sottrarre il sistema economico a condizionamenti esterni, come i governi o i sovrani, e a determinare con le proprie forze interne il proprio operare. L’armonia creata nel sistema economico dalla “mano invisibile” non è un artificio retorico, ma la spiegazione di come la legge di natura opera nel corpo sociale. Unendo il meccanicismo del metodo newtoniano con il vitalismo della realtà economica, Smith riesce a rappresentare un universo credibile, un universo in cui le leggi naturali operano a prescindere dall’intervento delle singole unità economiche.

⁶ C.Packham, “The Physiology of Political Economy: Vitalism and Adam Smith’s *Wealth of Nations*”, *Journal of the History of Ideas*, LXIII, 2002, pp.465-482.

C'era, insomma, un ampio scambio di idee fra la scuola di Glasgow, quella di Uppsala e quella di Parigi, sul problema delle leggi di natura e del metodo, anche se i francesi rimasero per buona parte del Settecento più favorevoli all'impostazione metodologica di Cartesio e solo verso la fine del secolo aderirono alla metodologia scientifica newtoniana.

Oeconomia Naturae è il titolo del trattato di Carl Linnaeus del 1749. Il testo è così pervaso dall'idea di un ordine naturale, che potrebbe essere in alcune parti affiancato alla “mano invisibile” di Smith. Scrive Linneo: “Ogni cosa sistemata dall'onnipotente Creatore nel nostro globo è organizzata con un ordine così meraviglioso che non c'è cosa che non dipenda per la sua esistenza dal sostegno di un'altra...La terra diventa il cibo della pianta, la pianta del verme, il verme dell'uccello e l'uccello spesso del predatore. L'uomo che raccoglie ogni cosa per le sue necessità, spesso diviene a sua volta il cibo della bestia, o dell'uccello o del pesce predatore o del verme sulla terra”⁷. Per Linneo morale e natura sono la stessa cosa.

⁷ Citato in *Ibidem*, p.30. Più avanti Linneo ribadisce “chiunque dirige la sua attenzione a quelle cose che occupano il globo terracqueo, ammetteranno infine, che è necessario che tutte sono sistemate in tale ordine e in tale mutua connessione che ambiscono allo stesso fine. Cosicché le cose naturali possono porsi in un serie continua in cui le ha poste l'Essere più alto, tale che tutti gli esseri viventi lavorano sempre per la produzione di nuovi individui, e che tutti i corpi naturali danno una mano in

A Linneo fanno riferimento i naturalisti francesi della prima metà del Settecento, ed anche gli economisti che vennero chiamati Fisiocratici. Questi accolsero la premessa dominante nel Settecento, e cioè che la natura avesse delle leggi che la governavano e che governavano anche le società umane e che compito dei naturalisti e dei filosofi fosse quello di scoprire queste leggi e di uniformarsi per aderire al grande ordine della natura.

Già nei Fisiocratici francesi del Settecento è presente l'idea che uno stesso ordine, governato dalle stesse leggi, regoli i rapporti fra l'uomo e la natura. I Fisiocratici tentarono di portare la stessa metodologia di Newton all'interno dei processi viventi, affermando che la matematica è il linguaggio corretto che eleva le scienze naturali allo stesso livello delle scienze fisiche.

Il determinismo newtoniano viene assunto come strumento di analisi. “Il grande libro della natura” si apre per tutte le specie e parla lo stesso linguaggio per tutti. La legge naturale si divide, tuttavia, in legge fisica e legge morale. “Per legge fisica si intende il corso ordinato di tutti gli avvenimenti fisici più vantaggiosi per il genere umano. Questa è la legge che il Creatore ha ordinato per l'operazione dell'universo.

aiuto del loro vicino, per la conservazione della specie, cosicché ciò che serve alla distruzione e alla rovina di uno di loro serve al consolidamento di altri”. Citato in S Muller-Wille, “Nature as a Marketplace: The Political Economy of Linnean Botany”, in M.Schabas and N.De Marchi, *Oeconomics in the Age of Newton*, Durham, 2003, p.164,

È la legge che governa le cose dell'agricoltura, l'allevamento di animali, la distribuzione della ricchezza, le operazioni di commercio e industria. Quando gli uomini seguono fedelmente questa legge essi si assicurano il massimo beneficio materiale possibile. (...) Quesnay credeva ottimisticamente che ogni cosa lavorasse propriamente per i migliori interessi materiali dell'umanità. Tutto ciò che l'uomo doveva fare era comprendere la legge e lavorare in armonia con essa. La legge fisica è matematicamente esatta nel suo operare. L'uomo è libero di violarla, naturalmente, ma facendo ciò, lavora a suo danno. Queste leggi fisiche possono essere ridotte a una scienza. Quesnay credeva che Newton avesse sintetizzato tutte le leggi raccolte dai suoi predecessori per spiegare nei suoi *Principia* come funzionava l'universo”⁸.

D'altra parte in Francia nel Settecento le scienze naturali si stavano rapidamente trasformando. Già verso la metà del secolo si affermava che la natura vivente era composta di materia organizzata e le varie specie viventi erano diverse solo per il diverso grado di organizzazione raggiunto. In cima alla scala della natura ci stava la

⁸ T.P.Neill, “The Physiocrats’ Concept of Economics”, *The Quarterly Journal of Economics*, 63,1949,p.547. Si noti che, sia pur con un intento più pratico, anche in Toscana nel Settecento e nell'Ottocento si svolgono numerose e importanti ricerche sulle leggi della natura presso l'Accademia dei Georgofili. Si vedano ad esempio le relazioni di Gaetano Palloni e di Pietro Mucchi in *Accademia dei Georgofili, Memorie dei Georgofili(1753-1853) rilette oggi*, Firenze, 1995, pp.127-212 e 579-598.

specie meglio organizzata, cioè l'uomo, ma questi non era diverso dal resto della natura vivente per la sua composizione materiale. Lo stesso rapporto fra l'uomo e l'ambiente naturale in cui viveva, era tale da generare un flusso continuo di stimoli tali da condizionare culturalmente le popolazioni che vivono in un certo territorio.

Riferendosi proprio a questo periodo, scrive Barsanti “la dimensione natura (l'ambiente fisico) determina sì in certa misura, e in prima istanza, le particolari connotazioni della dimensione cultura (l'ambiente morale) e ciò attraverso la determinazione di certi (e non altri) bisogni, e il conseguente instaurarsi di certe (e non altre) abitudini, ma la dimensione cultura, è tanto poco meccanicamente condizionata dai fattori ambientali da produrre un certo tipo di risposte che sono sì ancora funzionali al “milieu” umano globalmente considerato, ma hanno la prerogativa d'essere relativamente imprevedibili e di arrivare talora a volgersi contro le proprie stesse cause, promuovendo una profonda trasformazione dell'ambiente naturale nel quale pur s'erano originate”⁹.

2. L'immagine evolucionistica della natura, che appare nei naturalisti del Settecento, da Georges-Louis Leclerc de Buffon a Erasmus Darwin a Jean-Baptiste

⁹ G.Barsanti, *Dalla storia naturale alla storia della Natura*, Milano, 1979, p.117.

de Lamarck è la prima avversaria che contesta il determinismo nelle scienze del vivente. E questo si manifesterà nel pensiero economico in Adam Smith, e più ancora in Robert Malthus e David Ricardo.

Malthus legò la sua immagine ad una grande intuizione giovanile: l'idea che c'è un collegamento stretto fra le risorse alimentari che una società può utilizzare e il totale delle bocche da sfamare. Da questa constatazione, che peraltro era ben evidente a chiunque analizzasse il comportamento della popolazione fin verso la fine del Settecento, Malthus ricavò una teoria: e cioè che “al gran tavolo della natura” non c'era posto per tutti, e quindi che ciascuno doveva lottare per conquistarsi il posto, e che questa conquista veniva ottenuta dal più capace.

Ovviamente l'ipotesi di Malthus, derivata dall'esame dell'esperienza americana, che aveva visto aumentare rapidamente la sua popolazione nel Seicento e nel Settecento, non resistette alle critiche che da più parti le furono portate. La natura non ammette espressioni matematiche così stringenti (aumento in progressione geometrica della popolazione, contro aumento in progressione aritmetica delle risorse alimentari). Malthus non mandava soltanto un messaggio, sia pur importante, e cioè che la popolazione non poteva continuare a crescere all'infinito, e che le risorse erano comunque limitate, ma compiva un'operazione culturale più

duratura nella storia del pensiero. Malthus metteva l'umanità alla stregua di ogni altra specie vivente, ricordando che le leggi di natura valgono per tutti ¹⁰. Per Malthus, la società non viene considerata in equilibrio statico, ma è partecipe di una continua evoluzione in cui, per effetto delle leggi immutabili della natura, la specie umana è portata continuamente a crescere, ma che, per effetto di un'altra legge di natura, trova sempre di fronte a sé la scarsità delle risorse ¹¹. Malthus ricorda all'umanità che i limiti della biologia valgono anche per lei, e che essa è padrona del suo futuro solo se riesce con un atto di imperio a dominare la sua natura e a contenere i propri istinti ¹².

Il contributo di Malthus alla formulazione della legge di sopravvivenza di Darwin, è fondamentale. Darwin ricorda nella sua Autobiografia “Nell'ottobre 1838, cioè quindici mesi dopo che avevo cominciato la mia ricerca, mi capitò di leggere per divertimento Malthus su La popolazione, e essendo ben preparato ad apprezzare la lotta per l'esistenza, che procede ovunque, da una lunga osservazione

¹⁰ J-M., Poursin, G.Duby, *Malthus*, trad.it, Bari, 1974, pp.22-38.

¹¹ *Ibidem*, p.30. Si veda anche T.R.Malthus, *Saggio sul principio di popolazione*, trad.it, Torino, 1945; T.R.Malthus, *Primo saggio sulla popolazione*, trad.it, Bari, 1976.

¹² J.Stassart, *Malthus et la population*, Liegi, 1957, p.64 e sgg. Si veda D. Demarco, “Le teorie della popolazione in Occidente prima di Malthus”, in G.Gioli (ed), *Le teorie della popolazione prima di Malthus*, Milano, 1987, pp.18-46; B.Stapleton, “Malthus: The Origin of the Principle of Population”, in M.Turner (ed), *Malthus and His Time*, New York, 1986, pp.19-34.

delle abitudini degli animali e delle piante, mi colpì che sotto queste circostanze, variazioni favorevoli tendessero a conservarsi e quelle sfavorevoli a distruggersi. Il risultato di ciò sarebbe la formazione di un'altra specie. Così finalmente avevo ottenuto una teoria con la quale lavorare”¹³.

Nel 1868 Darwin scrive ancora “Appena ebbi pienamente realizzato questa idea (del potere della selezione), io vidi, leggendo Malthus sulla Popolazione, che la Selezione Naturale era il risultato inevitabile del rapido incremento di tutti gli esseri organici”¹⁴.

Dunque Malthus fornì alle ricerche di Darwin l'idea che la scarsità delle risorse attiva la lotta fra le specie, e con essa il meccanismo della selezione naturale. D'altra parte nella sua “Origine della specie” del 1859, scrive “Nel prossimo capitolo verrà trattata la lotta per l'Esistenza fra tutti gli esseri organici nel mondo, che segue inevitabilmente dalla loro alta potenza geometrica di incremento. Questa è la dottrina di Malthus, applicata all'intero mondo animale e vegetale”¹⁵. Nello stesso anno scrive a Wallace “Hai ragione che dallo studio delle produzioni addomesticate sono venute alla conclusione che la selezione è il principio di

¹³ R.M.Young, “Malthus and the Evolutionists: The Common Context of Biological and Social Theory”, in G.M.Hodgson (ed), *Economics and Biology*, Brookfield, 1995, p.126.

¹⁴ *Ibidem*, p.127.

¹⁵ *Ibidem*, p.127.

cambiamento. Quindi, leggendo Malthus, vidi subito come applicare questo principio”¹⁶.

Malthus ebbe un’influenza molto grande, non solo su Darwin, ma anche su altri importanti biologi evoluzionisti dell’Ottocento: così su Charles Lyell, una delle fonti di ispirazione di Darwin, e così su A.R.Wallace che scriveva “Forse il libro più importante che ho letto è stato “I Principi della Popolazione” di Malthus, che ho grandemente ammirato per il sommario magistrale dei fatti e la logica indicazione delle conclusioni”¹⁷.

Da quanto emerge dagli scritti di Darwin, questi aveva maturato una posizione evoluzionista, acquisita sia da Erasmus Darwin che da Charles Lyell, ma l’ispirazione per la formulazione della teoria della sopravvivenza del più adatto e, soprattutto del perché avviene questa lotta continua per sopravvivere, tutto questo glielo fornì Malthus. Fino alla sua lettura di Malthus, Darwin riteneva che le variazioni delle specie dipendessero o da cause ambientali (variazioni del clima, cambiamenti delle condizioni chimico-fisiche esterne) o da cause interne agli organismi (abitudini di vita, riproduzione, organizzazione), e la sua posizione non

¹⁶ *Ibidem*, p.129.

¹⁷ *Ibidem*, p.129. Si veda anche, W.Petersen, *Malthus*, Cambridge (Mass), 1979, p.219; S.Gordon, “Darwin and Political Economy: The Connection Reconsidered”, in *Journal of the History of Biology*, 22, 1989, p.447.

era molto dissimile da quella di Lamarck ¹⁸. Dopo Malthus, Darwin ebbe la teoria pronta: la scarsità di risorse attiva la lotta per la sopravvivenza che favorisce i più adatti a sopravvivere, quelli che hanno le caratteristiche genetiche migliori per difendersi e riprodursi ¹⁹.

La dinamica dei processi naturali appare anche in altri economisti classici. Infatti, un accenno al problema dell'entropia si può trovare anche in Davide Ricardo. La sua legge dei rendimenti decrescenti in agricoltura coglie il depauperamento del suolo e quindi i limiti allo sfruttamento delle risorse naturali e la storicità dei processi economici. Pur in un quadro riduzionista e metodologicamente newtoniano, Ricardo manifesta una notevole sensibilità all'esame delle condizioni naturali in cui si verifica il processo produttivo ²⁰.

Come si è visto, Adam Smith aveva ritenuto di trovare nella “mano invisibile” il meccanismo che la natura aveva posto per creare un sistema auto-funzionante perfetto. In questo senso occorre solo che le forze che entravano nel mercato fossero libere di muoversi liberamente, perché si potesse stabilire un punto centrale

¹⁸ S.Herbert, “Darwin, Malthus and Selection”, in *Journal of the History of Biology*, 4, 1971, pp.212-217.

¹⁹ L.B.Jones, “Schumpeter versus Darwin: in re Malthus“, in G.M.Hodgson, *Economics and Biology*, *cit.*, pp.221-230.

²⁰ J.T.Young, “Entropy, Scarcity and Neo-Ricardianism”, *Journal of Post-Keynesian Economics*, 6, 1993, p.82-88.

in cui il fluire spontaneo delle forze avesse creato l'equilibrio di tutto il sistema economico.

Per Smith “la società umana, quando la contempliamo in una certa luce astratta e filosofica, appare come una grande, immensa macchina, i cui regolari ed armoniosi movimenti producono migliaia di effetti piacevoli”²¹. Nella *Teoria dei Sentimenti Morali*, Smith afferma “Nel meccanismo di una pianta, o di un corpo animale, noi ammiriamo come ogni cosa è progettata per il perseguimento di due grandi propositi della natura, il sostegno dell'individuo e la propagazione della specie”²². Ed ancora, “L'auto-conservazione e la propagazione delle specie sono i grandi fini che la Natura pare essersi proposta nella formazione di tutti gli animali”²³. Se è vero che Smith non ignora i principi della scienza della natura del Settecento e li applica anche alle “scienze morali”, è pur vero che la sua idea delle leggi di natura lo porta a concepire leggi semplici e deterministiche e cioè a pensare alla natura, come Newton, come ad una grande macchina retta da leggi universali²⁴. Appare qui l'eredità newtoniana sui filosofi inglesi (e scozzesi) del Settecento, e

²¹ A.Smith, *Theory of Moral Sentiments*, Dover, 1965, II, p.321.

²² E.L.Khalil, “Beyond Natural Selection and Divine Intervention: The Lamarckian Implication of Adam Smith's Invisible Hand”, in *Evolutionary Economy*, 10, 2000, pp.386-387.

²³ *Ibidem*, p.387.

²⁴ S.Cremaschi, “Leggi di natura e scienza economica”, in *Quaderni storici*, 2000, pp.707-725.

cioè la visione della natura in un'ottica meccanicistica, che per l'economia significa che la formazione di un prezzo corrisponde al prezzo naturale verso cui gravitano gli altri prezzi che vengono portati dalle forze della natura verso un punto di equilibrio determinato dalle forze stesse ²⁵. Armonia economica di Smith ed armonia fisica di Newton sono due concetti paralleli, ciascuno posto alla base di due diverse discipline, ma ambedue scaturenti dall'assunzione di una generale armonia della natura.

Benché l'idea di natura sia in Karl Marx profondamente diversa e tutto il processo economico sia centrato sul ruolo del lavoro umano, prevale in lui un'idea evolucionistica della storia, per molti aspetti simile a quella della Scuola Storica Tedesca, e cioè il succedersi dei modi di produzione, come caratterizzazione di una società e della sua divisione in classi, dal modo di produzione antico a quello feudale, da questo a quello capitalistico, fino al successo del modo di produzione

²⁵ M.Nistri, "L'influenza di Newton sul Pensiero Economico di Adam Smith", *La Nuova Critica*, I, 1971, p.54. G.M.Hodgson, *Economics and Evolution*, Oxford, 1993, osserva "Si noti che c'è un ripetuto uso della parola "libertà naturale", "prezzo naturale", e così via. Contrariamente a quanto viene spesso attribuito a Smith il termine "naturale" non deve essere identificato con "ottimale". Il suo significato ha più a che fare con l'opposto di "artificiale" o "designato". Inoltre l'uso della parola "naturale" da parte di Smith non implica alcuna avversione alla concezione meccanicistica del mondo. Infatti, il concetto di ordine "naturale" era vicino e ispirato dall'idea Newtoniana di equilibrio meccanico" (p.56). Si veda anche, A.D.Megill, "Theory and Experience in Adam Smith", *Journal of the History of Ideas*, XXXVI, 1975, pp.79-94.

socialistico: ciò costituisce un collante che unisce il progresso della società umana e il suo sviluppo. Non è casuale la grande attenzione che Marx porta all'opera di Darwin, e nemmeno l'accostamento di Engel fra Marx e Darwin e il grande influsso che i due studiosi ebbero sullo sviluppo delle scienze umane nell'Ottocento ²⁶.

Nella sua teoria Marx destinò un posto importante alla evoluzione tecnologica, affermando che la selezione operata dal mercato fa emergere alla fine la tecnologia migliore in un processo non dissimile da quello darwiniano. Secondo Marx nel processo produttivo le macchine sono paragonabili agli organi delle piante e degli animali ²⁷.

Tuttavia per Marx l'affermazione della centralità del fattore lavoro nella determinazione del valore delle merci consente di sostenere che una materia prima acquisisce valore solo quando viene utilizzata col lavoro. Una foresta non vale nulla fino a quando il lavoro non ne abbatte gli alberi. Sfugge completamente a Marx il valore dell'ambiente e il modo in cui questo condiziona le relazioni sociali. L'antagonista del lavoro è solo il capitale e la natura appare come un terreno su cui

²⁶ I.B.Cohen (ed), *The Natural Sciences and the Social Sciences*, Dordrecht, 1994, pp.34-35. Si noti, tuttavia, che un notevole influsso sul pensiero scientifico contemporaneo fu esercitato anche da Herbert Spencer. Questo filosofo con forti interessi per la biologia, cercò di adattare lo schema Lamarckiano al processo evolutivo. Questa tesi venne accolta da gran parte degli studiosi contemporanei, compreso, come si vedrà, Alfred Marshall.

²⁷ G.M.Hodgson, *Economics and Evolution*, cit., p.75.

i due fattori della produzione si avventano per sfruttarlo al massimo. “Secondo Marx, gli esseri umani prendono le risorse dall’ambiente e le trasformano in merci e servizi utili”, “Egli si oppone alla natura come una delle proprie forze, mobilitando le forze naturali del suo corpo per appropriarsi delle produzioni della Natura in una forma adatta ai suoi desideri”²⁸.

Nulla di più lontano dall’ idea di armonia naturale che si manifesta nella “mano invisibile” di Smith, così come vi è una grande lontananza dalla meccanica economica di Jevons. In Marx il processo dialettico è determinante, anche se questa idea porta con sé un’ipotesi necessariamente evolutiva dell’economia. La natura rimane soggetto passivo della storia.

Ma un giovane seguace di Marx, Sergei Podolinski, pubblicava su *Die Neue Zeit* nel 1883 un importante articolo che si proponeva di fornire un’ipotesi sulla possibilità di attribuire un valore energetico alla produzione e al consumo dei generi alimentari²⁹. Podolinski conosceva la seconda legge della termodinamica e il processo di dissipazione e trasformazione dell’energia. In esso le piante agiscono da accumulatrici di energia e gli animali da dissipatori. Se l’attività delle piante supera

²⁸ R.Kaufmann, “Biological and Marxist Economics: Learning from each other”, *Ecological Economics*, 38, 1987, p.92.

²⁹ J.Martinez-Alier, “A Marxist Precursor of Energy Economics: Podolinski”, *The Journal of Peasant Studies*, 9, 1982, pp.207-224.

quella degli animali, lo stock di energia disponibile aumenta, in caso contrario diminuisce. Tutta l'energia viene dal Sole, sia quella quotidiana (acqua corrente, vento o geotermica) sia quella fossile. "La Terra riceve incredibili quantità di forze fisiche dal Sole che possono dar luogo alle più diverse trasformazioni: tutti i fenomeni fisici e biologici sono espressione di tali trasformazioni". Podolinski calcola in circa 1 milione le kilocalorie consumate da ogni uomo in un anno. Calcola poi in circa 2.300.000 di kilocalorie il prodotto ligneo accumulato da un ettaro di foresta, in 7.900.000 kilocalorie il prodotto di un pascolo naturale, in 9.400.000 le kilocalorie prodotte da un prato seminato, in 8.100.000 le kilocalorie prodotte da un ettaro seminato a grano (con una produzione piuttosto bassa di 8 quintali per ettaro). Calcolando il consumo di calorie per giornata di lavoro umano, Podolinski ottiene che per ogni caloria spesa si producono 22 calorie. Se si considera l'uomo come una macchina termica Podolinski calcola il suo "coefficiente economico" pari a un decimo, comprendendo la quota di popolazione non in età lavorativa e le esigenze extra-alimentari delle popolazioni.

Per Engels i calcoli di Podolinski confermano che il lavoro umano può tenere l'energia solare più a lungo sulla terra. Qui basterà osservare che egli stesso usa tre concetti tuttora fondamentali: l'uso del flusso di energia per misurare l'efficienza

della produzione di alimenti, la produttività del lavoro come funzione della quantità di energia consumata e il rapporto fra energia immessa nel processo e energia prodotta ³⁰. Ma il suggerimento di Podolinski non produsse frutti nel campo della teoria marxiana del valore e il suo sforzo per richiamare l'analisi ad una misura energetica del lavoro doveva attendere cento anni per essere rielaborata.

3. Attorno alla metà degli anni Settanta dell'Ottocento un nuovo paradigma emerge nella teoria economica. I maggiori teorizzatori della nuova economia sono W.Stanley Jevons e Léon Walras e, più tardi, Irving Fisher e Vilfredo Pareto. Questi autori si propongono di formulare una scienza economica che sia legata, come metodo e come concetto, alle scienze fisiche, ed in particolare alla meccanica. Come la meccanica essa dovrà esprimere in forma matematica le sue teorie.

Il mondo della fisica era stato dominato per oltre duecento anni, dai primi decenni del Seicento alla metà dell'Ottocento, dalla meccanica di Galileo e di Newton. I suoi principi generali si fondavano su alcune premesse, l'idea di forza, e più tardi la forza di gravità di Newton, la concezione di un decorso obiettivo degli avvenimenti nello spazio e nel tempo, la possibilità di conoscere questa realtà

³⁰ C.J.Cleveland, *Biophysical Economics*, cit, p.52.

obiettiva attraverso un procedimento di riduzione ad elementi semplici delle forme complesse con cui la natura si presenta e di un uso dello strumento matematico per rendere il processo di causazione meglio determinato ³¹. Le leggi della natura che così sarebbero state indicate, valevano sia per la terra che per il cielo. Questo modello di analisi sarebbe stato applicato a tutti i processi conoscitivi che, utilizzando questo metodo, sarebbero divenuti elementi di conoscenza scientifica.

Attorno alla metà dell'Ottocento la fisica cominciò ad orientarsi verso gli studi sull'energia, che ben presto divennero il nuovo centro di elaborazione della fisica teorica: in primo luogo la prima legge della termodinamica (la legge della conservazione dell'energia) e la seconda legge della termodinamica. Soprattutto quest'ultima, con il principio di irreversibilità dei fenomeni fisici, poneva un grosso problema alla coerenza della meccanica classica, fino a quando alla fine del secolo

³¹ L'uso della matematica divenne ben presto determinante per le scienze fisiche. Già Galileo aveva affermato che "la natura parla il linguaggio della matematica" e Newton, insieme a Leibniz detengono il merito di avere elaborato l'analisi infinitesimale. Per essa un processo dinamico viene rappresentato sotto la forma di un sistema di equazioni differenziali; la derivata prima indica la velocità di movimento di un punto nello spazio e la derivata seconda indica la sua accelerazione. Più tardi, nell'Ottocento, Hamilton avrebbe costruito un sistema di integrazioni in grado di determinare la scelta ottimale fra le varie posizioni di equilibrio di un sistema.

Henry Poincaré ne dimostrò la non integrabilità, e quindi l'impossibilità di risolvere il problema dei tre corpi³².

In numerosi saggi, confluiti nel volume *More Heat than Light*, Paul Mirowski sostiene che gli economisti neo-classici pensavano a Newton, ma in realtà assumevano i concetti delle teorie energetiche degli anni 1840-1880. La teoria della conservazione dell'energia (la quantità di energia nell'Universo non aumenta né diminuisce, ma solo si trasforma) pareva fornire un buon supporto alla teoria della produzione come trasformazione di materia. Ugualmente la teoria dei campi magnetici forniva una buona metafora del problema della formazione dei prezzi in un mercato in cui concorrono due forze. Scriveva Jevons, "la nozione di valore sta alla nostra scienza come l'energia sta alla meccanica"³³. Conferma Mirowski,

³² Scrivono I. Prigogine e I. Stengers, *Order out of chaos*, New York, 1984, pp.74-76, "I sistemi integrabili sono stati il modello per eccellenza dei sistemi dinamici, e i fisici hanno cercato di estendere le proprietà di ciò che è attualmente una speciale classe di equazioni Hamiltoniane a tutti i processi naturali...con il fascino sempre associato ad un sistema chiuso capace di porre tutti i problemi, purchè questi non vengano definiti senza significato. La dinamica è un linguaggio tale che, essendo completo, è per definizione coestensivo del mondo che descrive. Esso assume che tutti i problemi, sia semplici che complessi, si assomigliano poiché si possono sempre porre nella stessa formula generale. Così la tentazione di concludere che tutti i problemi si assomigliano, dal punto di vista della loro soluzione è che nulla di nuovo può apparire come risultato della maggiore o minore complessità della procedura di integrazione. È questa intrinseca omogeneità che ora noi sappiamo essere falsa".

³³ A.D. Walker, "Economics as Social Physics", *Economic Journal*, 101, 1991, pp.616-617. Nel suo *Theory of Political Economy*, Jevons afferma "Come tutte le scienze fisiche hanno le loro basi più o meno ovviamente nei principi generali della meccanica, così tutti i rami e le loro divisioni della

“L’essenza della economia neoclassica è l’appropriazione del concetto fisico di campo e la sua elezione al centro della teoria del valore. La nozione di campo è un concetto molto flessibile e possiede una parte di regolarità strutturale che, se assente, mina la sua logica integrità ”³⁴.

Così come la meccanica newtoniana aveva costituito una solida base su cui costruire l’economia politica, la fisica dell’energia, anche se male compresa dagli economisti, servì di base per la nuova scienza; l’economica³⁵. E non fu solo un problema di cambio di nomi. Molti concetti verranno trasferiti: forza (utilità marginale) energia (utilità) lavoro (disutilità) spazio (merce)³⁶. Walras aggiunge, “la pura teoria dell’economia è una scienza che assomiglia alla scienza fisico-

scienza economica debbono essere pervasi da certi principi generali. È all’investigazione di tali principi- al tracciare la meccanica dell’auto interesse e della utilità, che questo saggio è stato dedicato- lo stabilimento di una tale teoria è un preliminare necessario a ogni delinearli della sovrastruttura della scienza aggregata” (pp.XVII-XVIII), cit. in M.Schabas, “From Political Economy to Market Mechanics: the Jevonian Moment in the History of Economics”, in I.B.Cohen, *The Natural Sciences*, cit, p.245.

³⁴ P. Mirowski, *More Heat than Light*, Cambridge, 1989, p.272. Si veda anche IDEM, “The Rise and Fall of the Concept of Equilibrium in Economic Analysis”, *Recherches Economique de Louvain*, 55, 1989, pp.447-468; IDEM, “Macroeconomic Instability and the ‘Natural’ Processes in Early Neoclassical Economics”, *The Journal of Economic History*, 44, 1984, pp.345-354; IDEM, “Energy and Energetics in Economic Theory: A Review Essay”, *Journal of Economic Issues*, 22, 1988, pp.811-830.

³⁵ P.Mirowski, *More Heat*, cit.,p.217.

³⁶ *Ibidem*, pp.220 e 224.

matematica in ogni senso”³⁷. La base teorica di questa impostazione resisterà per tutto il XX secolo fra gli economisti, fino a perfezionarsi nel modello Arrow-Debreu.

Lo studio di Mirowski è estremamente importante, sia per la storia della teoria economica, in quanto mostra la base teorica su cui si fonda l’economia neo-classica, sia per la visione di un’unità di fondo del pensiero scientifico³⁸. Ma soprattutto perché indica come gli economisti neoclassici, pur accogliendo la prima legge della termodinamica, ignorarono la seconda legge, fino agli anni sessanta del Novecento, quando, come si è visto, Georgescu-Roegen la ripropose come base per la teoria economica.

Ma a cominciare dalla fine dell’Ottocento una nuova rivoluzione avviene nella fisica. Prima Max Planck, poi Albert Einstein ed infine Werner Heisenberg e Niels

³⁷ *Ibidem*, p.219. Si veda B.Ingrao, G.Israel, *La mano invisibile*, Bari, 1987, p.90, ove si afferma “da questo punto di vista, il mercato è un luogo di forze cieche e impersonali e il valore di scambio assume carattere analogo ai fenomeni naturali. Proprio per questo l’economia si può modellare sulla concezione deterministica della meccanica classica. Le forze che regolano la determinazione dei prezzi sul mercato operano come la forza di attrazione tra i corpi che governa il moto degli astri e, per il moto degli astri, possono essere ricondotte ad alcune leggi fondamentali capaci di spiegare una miriade di fatti particolari. Le “forze naturali” che determinano il valore di scambio si governano come le forze della natura, solo obbedendo alle loro proprie leggi.”

³⁸ P.Mirowski, “Physics and the “marginalist revolution”, *Cambridge Journal of Economics*, 8, 1984, pp.361-378; IDEM, “The Probabilistic Counter-Revolution, or How Stochastic Concepts came to Neoclassical Economic Theory”, *Oxford Economic Papers*, 41, 1989, pp.217-235. Sull’affermazione della teoria energetica si veda anche B.Giusti Doran, *Dalla Concezione meccanica alla concezione elettromagnetica della natura*, Bologna,1981

Bohr pongono seri dubbi al quadro assiomatico della fisica. La meccanica quantistica, il principio di indeterminazione, la teoria del caos e della complessità, la teoria di un Universo in espansione, la relatività: tutto questo muta radicalmente il paradigma scientifico della fisica. Ma la scienza economica rimase ancorata al paradigma ottocentesco e i fenomeni economici vennero studiati sull'ipotesi della integrabilità, della linearità, della reversibilità. Anche se i modelli che venivano elaborati si allontanavano sempre più dalla realtà, quello che contava era che fossero coerenti con le premesse, elaborate in forma matematica, "eleganti".

4. L'economia, come la biologia, si occupa della materia, la costituzione e la natura interna della quale, così come la forma esterna, cambiano costantemente. In tal modo l'economia "è un ramo della biologia intesa in senso ampio"³⁹. Con queste parole Marshall prese le distanze dall'interpretazione jevonsiana dell'economia per accostarsi ad un'ipotesi che la considerava come parte della biologia. Già nella prefazione aveva scritto "La Mecca dell'economista sta piuttosto nella biologia economica che nella dinamica economica, anche se i concetti biologici sono più complessi di quelli della meccanica". Tuttavia "un volume sui

³⁹ A. Marshall, *Principii di economia*, trad, it Torino, 1955, p.737.

Fondamenti deve dare relativamente largo spazio alle analogie meccaniche”⁴⁰.

Infine, “l’economia, al pari della biologia, tratta di una materia la cui natura e costituzione interna, al pari della forma esteriore, va continuamente mutando”⁴¹.

Queste citazioni, tratte dalla quinta edizione dell’opera principale (di cui si ebbero ben otto edizioni nello spazio di trenta anni, ad indicare la cura che l’autore pose nel ripensare e riqualificare ogni singola parte), indicano la grande incertezza dell’economista di Cambridge nell’accogliere le idee dei marginalisti. Di questo disagio è testimonianza anche la ripulsa del principio della reversibilità dei processi economici e l’accoglimento della problematica dei rendimenti crescenti, un tema più confacente agli aspetti biologici che a quelli meccanici degli organismi.

Marshall fu molto influenzato dalla presenza a Cambridge di Darwin, ma ancor più dal pensiero di Herbert Spencer, che più volte citò e parafrasò. È darwiniana la riflessione che “la lotta per la sopravvivenza può impedire l’affermazione di organismi che sarebbero altrimenti molto benefici”, ma è spenceriano il concetto che “la lotta per l’esistenza fa sì che nel tempo lungo sopravvivono le razze dell’uomo in cui l’individuo ha maggiore volontà di sacrificarsi per il beneficio di

⁴⁰ *Ibidem*, p.VII.

⁴¹ *Ibidem*, p.741.

quelli che lo circondano. E che sono quindi collettivamente i più adatti a far uso del loro ambiente”. E più ancora “la dottrina che gli organismi che sono più sviluppati sono quelli più adatti a sopravvivere nella lotta per l’esistenza, è essa stessa in corso di elaborazione. Essa non è ancora completamente compresa nè nelle sue relazioni biologiche nè in quelle economiche”⁴². Ma Spencer era un lamarckiano, ed è alla metafora lamarckiana che gli economisti faranno riferimento quando esamineranno i processi evolutivi.

Per Marshall la rappresentazione dell’operare della natura con concetti meccanici era un modo primitivo di analisi. Il passaggio alla metafora biologica aveva significato una migliore possibilità di rappresentare anche i processi dinamici. Inoltre un approccio biologico era importante perché la materia viva della biologia era più vicina al materiale umano dell’economia di quanto lo fosse la materia inerte⁴³.

Marshall distingueva bene fra la rappresentazione del mondo economico come una serie di grandezze determinate che sono fra loro in equilibrio secondo una logica di tipo meccanicistico e un processo dinamico di sviluppo. In questo caso

⁴² *Ibidem*.

⁴³ N.B.Niman, “Biological Analogies in Marshall’s Work”, in *Journal of the History of Economic Thought*, 13, 1991, pp.21-23.

una rappresentazione meccanicistica prevede una distinzione fra le forze esterne che causano il movimento e le regole interne al sistema economico, che modificano l'equilibrio. Ma in una visione biologica del sistema economico le forze del cambiamento e le regole del cambiamento non sono separate, ma il sistema possiede dentro di sé il potere di cambiare. Il cambiamento non è un aggiustamento del sistema ai nuovi parametri modificati, ma è esso stesso endogeno. In una visione della società non come una macchina, ma come un organismo, questo non è più un oggetto che si muove, ma un ente che ha in sé il potere di muoversi ⁴⁴. Poiché ogni sistema economico è in continuo mutamento, un'analisi di tipo biologico porta all'emergere di grandi difficoltà nel prevedere i nuovi equilibri ma, per converso, ad analizzare meglio le cause ultime dei processi evolutivi.

Per Marshall, gli economisti classici, con i loro schemi meccanicisti avevano perso la possibilità di godere dei vantaggi delle scienze biologiche. Gli uomini che agivano nel processo economico, non erano unità da contare, ma individualità da valutare e da collocare nella produzione. Ciò significa cambiamento

⁴⁴ S.H.Gordon, "Alfred Marshall and the Development of Economics as a Science", in R.N.Giere and R. S. Westfall (eds), *Foundations of Scientific Method: The Nineteenth Century*, Bloomington, 1973, p.246.

nell'organizzazione, utilizzo della propria conoscenza, ristrutturazione dei sistemi tecnologici delle imprese.

Marshall dedica ampio spazio nelle sue opere al problema dell'organizzazione delle imprese e dei mercati: cioè al problema istituzionale. Marshall usa analogie meccaniche per l'analisi dei mercati, mentre usa metafore biologiche nell'analisi delle imprese ⁴⁵. Queste infatti si possono trasformare e riorganizzare in modo diverso al variare delle condizioni esterne e, come le specie vegetali, crearsi delle loro nicchie per le proprie produzioni. La complessità degli organismi viventi rendeva inefficace, per Marshall l'analisi economica effettuata con le leggi della meccanica. Per essi Marshall evocava principi, non leggi, considerata la maggiore aleatorietà dei fattori dell'economia. L'evoluzione economica non veniva causata da cambiamenti nella quantità delle forze in atto, ma dalla qualità e posizione delle stesse ⁴⁶.

Scriva Marshall, "Progresso o evoluzione, industriale e sociale, non è un semplice aumento o calo. È crescita organica, promossa, confinata e a volte rovesciata dall'accadere di innumerevoli fattori, ciascuno dei quali influenza ed è

⁴⁵ *Ibidem*, p.28.

⁴⁶ *Ibidem*, p.30.

influenzato da quelli che lo circondano, ed ogni influenza reciproca varia con gli stadi che i fattori rispettivi hanno già raggiunto nel loro sviluppo. Sotto questo aspetto vitale tutte le scienze della vita sono vicine l'una all'altra e sono diverse dalle scienze fisiche”⁴⁷.

Un processo meccanico, quando i dati sono corretti, conduce sempre ad un successo proporzionale alla miscela di forze introdotte. Ma Marshall conosceva troppo bene la storia per non avvertire che invece molti “progressi” o “evoluzioni” erano falliti, così come è incerto il risultato sugli organismi viventi. “La dottrina dell’ organizzazione naturale contiene più verità di grandissima importanza per l’umanità di ogni altra, ma la sua esagerazione portò molto danno specialmente a quelli cui piaceva di più”⁴⁸.

L’idea della società come organismo e dei fenomeni economici come appartenenti ad un bio-sistema, è costante in Marshall. Egli non si limita ad accennare alla “differenziazione” contrapposta all’integrazione”, alle “legge di sostituzione” delle imprese, come “legge della sopravvivenza del più adatto, ma approfondisce la metafora biologica nelle istituzioni economiche. Scrive Marshall:

⁴⁷ Cit. in *Ibidem*, p.30.

⁴⁸ Citato in G.M.Hodgson, *Economics and Evolution*, Oxford, 1993, p.105.

“Lo sviluppo dell’organismo, sia sociale che fisico, implica da un lato una crescente divisione delle funzioni fra le sue parti separate, dall’altro una più intima connessione fra le stesse. Ogni parte diviene sempre meno sufficiente, e per il suo benessere dipende sempre di più dalle connessioni strette con le altre parti”⁴⁹. Nel processo organizzativo delle imprese, la lotta per la sopravvivenza tende a far prevalere quei metodi che meglio si inseriscono nel sistema industriale presente. Le imprese che meglio si organizzano tendono a sostituire quelle che non riescono a modificarsi.

Marshall rivendicherà fortemente che in economia l’evoluzione è graduale e richiede tempi lunghi. La frase *Natura non facit saltus* che Marshall riprende dai biologi evuzionisti, non è un semplice epitaffio posto all’inizio dei suoi *Principles*, è invece un metodo che, preso dalla biologia, indica che in natura i processi evolutivi sono necessariamente lenti. Scrive ancora Marshall : “L’azione della natura è complessa: e non si ottiene nulla nel tempo lungo se si pretende che essa sia semplice e si tenta di descriverla in una serie di preposizioni elementari”,

⁴⁹ Citato in A.L.Levine, “Marshall’s *Principles* and the ‘Biological Viewpoint’: a Reconsideration”, in *The Manchester School of Economic and Social Studies*, 1983, p.284.

poiché “l’economia, come la biologia, tratta di una materia la cui natura e forma cambiano continuamente”⁵⁰

Marshall riprende la metafora biologica anche nell’analisi della natura e del comportamento delle imprese. Le imprese sono organismi che adottano una divisione delle funzioni nelle loro singole parti, e tanto più si sviluppano tanto più si creano reti di relazioni delle singole parti con il corpo centrale. Anche le funzioni vengono a diversificarsi e a specificarsi⁵¹. Per Marshall il processo di sviluppo non è una crescita indifferenziata, ma una complessificazione dell’organismo che in tal modo accresce le sue possibilità di sopravvivenza.

Egli afferma “Gli economisti debbono molto alle profonde analogie che sono state scoperte fra l’organizzazione sociale e specialmente industriale da un lato e l’organizzazione fisica degli animali più evoluti dall’altro”⁵². “E per le imprese, analogamente agli organismi viventi, la legge dei rendimenti crescenti può essere riformulata come un aumento di lavoro o capitale possa portare ad una migliore

⁵⁰ *Ibidem*, p.290.

⁵¹ G.M.Hodgson, “The Mecca of Alfred Marshall”, *Economic Journal*, 103, 1993, pp.406-13.

⁵² J.Foster, “Economic and the Self-Organization Approach. Alfred Marshall Revisited?”, *Economic Journal*, 103, 1993, pp.975-993. Si veda anche C.Limoges e C.Ménard, “Organization and the Division of Labor: Biological Methaphors et Work in Alfred Marshall’s *Principles of Economics*”, in P. Mirowski (ed), *Natural Images in Economic Thought. Markets read in Tooth and Claw*, pp.336-359.

organizzazione dell'impresa che può così ottenere rendimenti più che proporzionali”⁵³. La legge di sopravvivenza del più adatto si viene a configurare in Marshall, per quanto riguarda il sistema industriale nel moltiplicarsi di quelli più adatti, e quelli più adatti sono coloro che riescono a meglio organizzarsi nell'ambiente in cui vivono, un ambiente che, osserva Marshall si modifica continuamente. Coloro che utilizzano meglio l'ambiente probabilmente sopravvivono più a lungo, ma ciò non significa che l'ambiente stesso non ne soffra⁵⁴.

Per gran parte dell'Ottocento gli evoluzionisti, qualunque fosse la disciplina cui si erano dedicati, erano lamarckiani. Ma, mentre Spencer rimase lamarckiano fino alla fine, Marshall accolse l'ipotesi darwiniana. Peraltro il problema era tale solo per i biologi, per i quali i tempi dell'evoluzione erano lentissimi, in rapporto ai tempi di cambiamento delle società. E la vittoria di Darwin su Lamarck avvenne solo quando furono conosciuti i risultati delle ricerche di Mendel⁵⁵

⁵³ *Ibidem*, p.987. Si veda anche B.Foa, “Marshall Revisited in the Age of DNA”, *Journal of Post Keynesian Economics*,5, 1982, pp.3-16.

⁵⁴ N.Hart, “Marshall's Dilemma: Equilibrium versus Evolution”, *Journal of Economic Issues*, 37, 2003, p.1147.

⁵⁵ L.S.Moss, “Evolutionary Change and Marshall's Abandoned Second Volume”, in *Economie Appliquée*, 43, 1990, p.172.

5. Forse l'economista che più si avvicina ai principii dell'evoluzionismo è Thorstein Veblen. Scrive infatti nel suo saggio più noto: "la vita dell'uomo nella società, come la vita delle altre specie, è una lotta per l'esistenza, e perciò è un processo di adattamento selettivo. L'evoluzione della struttura sociale è stato un processo di selezione naturale di istituzioni. Il progresso, che è stato e viene fatto nelle istituzioni umane e nel carattere dell'uomo può essere grosso modo qualificato come una selezione naturale delle abitudini del pensiero più adatto e a un processo di adattamento forzato di individui ad un ambiente che è progressivamente cambiato con la crescita delle comunità e il cambiamento delle istituzioni nelle quali gli uomini sono vissuti. Le istituzioni non sono solo esse stesse il risultato di un processo selettivo e di adattamento che forma i tipi prevalenti o dominanti di attitudine spirituale; esse sono allo stesso tempo metodi speciali di vita e relazioni umane e sono perciò a loro volta efficienti fattori di selezione. Cosicché le istituzioni che cambiano producono a loro volta una ulteriore selezione degli individui dotati del temperamento più adatto, e un ulteriore adattamento del carattere individuale e abitudini all'ambiente che cambia, attraverso la formazione di nuove istituzioni"⁵⁶. Le istituzioni sono ad un tempo risultato e causa attiva

⁵⁶ T.Veblen, *The Theory of the Leisure Class: an Economic Study of Institutions*, London, 1899,

dell'evoluzione economica e sociale. Sono strutture create dalla storia, ma sono anche strutture di informazione per i popoli stessi ⁵⁷.

Veblen ascrive al metodo stesso della scienza economica la causa dei suoi limiti. Infatti, avendo adottato un metodo di relazioni causali e di sequenze quantitative, essa tende a descrivere i fenomeni, senza poter rispondere alla domanda: perché? “Vuole ridurre la soluzione di tutti i problemi in termini di conservazione di energia o di persistenza di quantità” ⁵⁸. In realtà la descrizione della sequenza meccanica dei processi non è una risposta soddisfacente allo loro giustificazione. Una risposta adeguata può sorgere solo comprendendo il processo da analizzare in un più ampio contesto, anche se gli economisti tendono ad attribuire agli uomini dei comportamenti che loro ritengono “naturalì” senza chiedersi se le motivazioni vere sono quelle che loro gli attribuiscono. In realtà questi comportamenti sono storicamente datati e corrispondono allo stato delle istituzioni nelle quali sono inserite. In questo senso, se è errato il metodo della Scuola Storica Tedesca, che prevede una semplice descrizione dei fatti, è ancora più errato quello della Scuola

p.188.

⁵⁷ G.M.Hodgson, “Thorstein Veblen and post-Darwinian economics”, *Cambridge Journal of Economics*, 16, 1992, p.288. Si veda S.Edgell, “Thorstein Veblen’s Theory of Evolutionary Change”, in *The American Journal of Economics and Sociology*, XXXIV, 1975, pp.269-273.

⁵⁸ T.Veblen, “Why is economics not an evolutionary science?”, *Cambridge Journal of Economics*, 22, 1998, p.405. Ristampato dall’edizione del 1898.

Austriaca. Questa, infatti, nel descrivere “un processo di vita”, estrae una porzione di teoria economica e lavora su questo campo limitato. In tal modo gli Austriaci sono stati incapaci di rompere con la tradizione classica per la quale l’economia è una scienza tassonomica.

Nelle parole di Veblen “la ragione del fallimento Austriaco pare giacere in una concezione errata della natura umana, errata per il presente proposito, comunque adeguata possa essere in altri casi. In tutte le formulazioni espresse dalla teoria economica, sia che provenga dagli economisti Inglesi, sia da quelli del Continente, il materiale umano che concerne la ricerca, è concepito in termini edonistici, cioè in termini di una natura umana passiva e sostanzialmente inerte e immutabile. I preconcetti psicologici e antropologici degli economisti sono stati quelli che erano accettati dalle scienze psicologiche e sociali qualche generazione fa. La concezione edonistica dell’uomo è quella di un illuminato calcolatore di piaceri e dolori, che oscilla come un omogeneo globulo di desiderio di felicità sotto l’impulso di stimoli che lo fanno scivolare, ma lo lasciano intatto. Egli non ha nè precursori nè

successori. Egli è un dato umano, isolato e definitivo, in stabile equilibrio, eccetto che per le lievi spinte delle forze che lo spostano in una direzione o in un'altra"⁵⁹.

La critica al principio edonistico introduce alla scelta che Veblen compie di considerare il comportamento umano come il risultato della sua eredità culturale, talchè la storia dell'uomo diviene la sua storia culturale all'interno dell'apparato istituzionale che si è costruito. Un'economia evolutiva è dunque "la teoria di un processo di crescita culturale determinato dall'interesse economico, una teoria di una sequenza cumulativa di istituzioni economiche stabilite in termini del processo stesso"⁶⁰. E' chiaro quindi che c'è uno jato fra la concezione dominante dell'economia e la concezione evoluzionistica. Fino a quando questa disciplina rimarrà tassonomica, non sarà in grado di comprendere i complessi processi culturali⁶¹.

⁵⁹ *Ibidem*, p.411.

⁶⁰ *Ibidem*, p.413. Si veda anche M.Rutherford, "Thorstein Veblen and the Process of Institutional Change", in *History of Political Economy*, 16, 1984, pp.335-339.

⁶¹ G.M.Hodgson, "On the Evolution of Thorstein Veblen's Evolutionary Economics", *Cambridge Journal of Economics*, 22, 1998, p.425. Si veda anche M.Rutherford, "Veblen's Evolutionary Program: A Promise Unfulfilled", *Cambridge Journal of Economics*, 22, 1998, pp.463-477; A.Jennings and W.Waller, "The Place of Biological Science in Veblen's Economics", *History of Political Economy*, 30, 1998, pp.189-217; A.L.Harris, "Economic Evolution: Dialectical and Darwinian", *The Journal of Political Economy*, 42, 1934, pp.34-79.

Veblen esprime questi concetti verso la fine del XIX secolo, più o meno nel periodo in cui Marshall scrive i suoi *Principles*. Ambedue esprimono dissenso dalla teoria dominante elaborata da Jevons e Walras ed ambedue continueranno a approfondire le loro tesi per qualche decennio ancora nel XX secolo. Ma mentre Marshall non modificherà l'impianto generale della sua teoria, in Veblen l'eredità spenceriana e darwiniana continuerà ad esprimersi in una lunga e prudente battaglia per un'economia delle istituzioni ⁶².

6. Frederick Hayek afferma di seguire Menger nell'abbracciare un approccio "evoluzionistico" all'economia, sebbene questo sia molto più esplicito nel suo caso e non machino menzioni specifiche alla biologia ⁶³. In realtà, a cominciare dagli anni '60 del Novecento, Hayek accentua sempre più la tendenza a considerare l'evoluzionismo come componente essenziale del suo programma di ricerca, soprattutto nella versione rappresentata dalla linea Lamarck-Spencer-Veblen-

⁶² Spencer fu un filosofo ottocentesco molto attento alle problematiche della biologia evoluzionista. Benché fosse un seguace di Lamarck, in un saggio sulla popolazione accolse gran parte delle idee di Malthus e scrisse che la natura umana si trova sempre coinvolta nella lotta di due forze antagonistiche, quella che la spinge a riprodursi e quella che la aiuta a sopravvivere. L'alternare prevalere di queste due forze condiziona il comportamento umano. Si veda la bella analisi di A.La Vergata, *Nonostante Malthus*, Torino, 1990, pp.133-165.

⁶³ G.M.Hodgson, *Economics and Evolution*, cit., p.152.

Menger. Nel lavoro di maggiore impegno degli ultimi venti anni della sua vita, egli afferma che le strutture istituzionali delle società si vengono a formare secondo una continua sovrapposizione di regole che non derivano da un processo elaborato da una mente illuminata, ma da un processo storico spontaneo della società⁶⁴.

Per Hayek le regole di comportamento vengono seguite non perché sono le più efficienti, ma perché sono le più adatte a perseguire fini comuni nella società in cui l'individuo viene ad agire. Le regole sono come i geni nel DNA. Ambedue danno indicazioni e limiti nell'azione del soggetto, ambedue costituiscono un patrimonio ereditato. Ma mentre i geni hanno un comportamento determinato, anche se complesso, nel caso degli individui c'è molta maggiore libertà. Mentre i geni non hanno finalità proprie nelle norme di azione, gli individui hanno come obiettivo il proprio successo e, eventualmente, quello del gruppo ove sono inseriti. Buone regole determinano il successo delle comunità che le applica e il variare non è casuale, come nelle modificazioni genetiche, ma è frutto dell'esperienza storica di una società.

Per quanto concerne le istituzioni, queste sono il complesso delle norme che regolano una certa parte dell'attività della società e in particolare le istituzioni

⁶⁴ F.A.Hayek, *Legge, Legislazione e Libertà*, trad.it , Milano, 1982, p.10.

economiche regolano l'attività di produzione di beni e servizi. Il mercato è sia il luogo in cui le istituzioni economiche si incontrano, sia una istituzione sociale esso stesso.

Hayek affronta poi il problema dell'ordine spontaneo che pare si crei nei vari mercati, fino a trovare il punto di equilibrio. Per Hayek il processo di ordine spontaneo è associato a quello di strutture dissipative di Ilya Prigogine e cioè di un ordine al confine del caos in cui vi è l'imprevedibilità degli sbocchi successivi. Collegato con l'ipotesi delle strutture dissipative (di cui si accennerà nel prossimo capitolo) vi è il processo di diversificazione e di complessificazione delle istituzioni. Ma una società con istituzioni più complesse è anche una società più stabile.

Hayek individua correttamente la differenza fra l'evoluzione biologica e l'evoluzione delle istituzioni politiche e sociali. Egli infatti critica fortemente il Darwinismo Sociale, che concentra i propri interessi sullo studio dei caratteri delle popolazioni, più che sullo studio delle istituzioni ⁶⁵.

⁶⁵ Scrive infatti Hayek (*Legge, Legislazione e Libertà, cit.*, p.35) "L'altro grande fraintendimento che ha condotto a screditare la teoria dell'evoluzione sociale è dovuto alla credenza secondo cui tale teoria si basa sulla scoperta delle 'leggi dell'evoluzione'. Ciò può essere vero tutt'al più in un senso speciale del termine "legge", ma non è certamente vero, come spesso lo si intende, nel senso in cui "legge" significa la formulazione di una sequenza necessaria di stadi o fasi particolari attraverso cui

È questo invece il fenomeno che interessa le scienze sociali, ed è qui che il lamarckismo di Hayek riemerge. Infatti, per lo studioso austriaco le istituzioni non sono soggette ad un cambiamento casuale che modifica per sempre la situazione così come si è formata. I cambiamenti istituzionali sorgono sempre su un substrato storico e su di esso agiscono secondo l'azione di molteplici soggetti mossi da fini propri e indipendenti gli uni dagli altri. L'ipotesi che una mente organizzatrice possa agire su un sistema sociale costruendo una struttura precedentemente elaborata (modello che era presente nel sistema classico dell'economia), confligge con la stessa ipotesi di come funziona il processo mentale di apprendimento-decisione.

Hayek modifica radicalmente l'iter della formazione della conoscenza e delle decisioni dei singoli attori, prospettato da Adam Smith ed accolto praticamente intatto dagli economisti classici e neoclassici. Per questi ultimi infatti il processo di conoscenza è un processo di razionalizzazione in cui l'uomo, a conoscenza, tramite il mercato, di tutte le opzioni di scelta, sceglie la più conveniente ("ottimizza" le

deve passare il processo di evoluzione, e dalla cui formulazione si può giungere per estrapolazione a fare delle predizioni sul corso futuro di tale processo. Propriamente la teoria dell'evoluzione non fornisce che un resoconto di un processo, il cui esito dipende da un numero troppo grande di fatti particolari perché noi li si possa conoscere nella loro interezza, e pertanto essa non può condurre a fare previsioni circa il futuro del processo medesimo". Si veda anche M.Boccaccio, *Hayek: teoria della conoscenza e teoria economica*, Bari, 1996, pp.29-31.

scelte). In questo senso la formazione della volontà è illuminata da una pre-scienza praticamente perfetta e la scelta non può non essere quella più razionale.

In Hayek invece, che conosce la teoria della mente elaborata nel XIX secolo, la mente viene a conoscenza del mondo reale attraverso la sua esperienza diretta conseguita durante la vita; un'esperienza limitata e imperfetta, che gli fornisce un'immagine della realtà molto particolare⁶⁶. A mano a mano che la mente mette in memoria le esperienze che ha vissuto, acquisisce strumenti per regolarsi nel proprio comportamento in situazioni che possono apparire simili.

Nel caso in cui la situazione non sia riconducibile ad esperienze incorporate nella memoria di lungo periodo, intervengono complesse relazioni che possono portare a sbocchi molto diversi. Il processo conoscitivo diviene dunque un percorso molto individuale e per nulla oggettivo. Ogni soggetto giudica secondo la propria esperienza, e in questo senso la libertà di decisione è il portato di questo processo di conoscenza. In questo rapporto fra mente e ambiente esterno sta la vitalità di ogni sistema, determinato da scelte diverse che alimentano una molteplicità di azioni economiche. Un mercato in cui tutte le scelte fossero identiche, in quanto

⁶⁶ S.Rizzello, *L'economia della mente*, Bari, 1997, pp.44-55.

determinato da un identico processo di conoscenza-razionalità, non sarebbe nemmeno un mercato paralizzato, sarebbe un mercato impossibile.

Per Hayek un sistema sedimentato e condizionato da un'eredità storica, e comunque in lenta e continua evoluzione, e una moltitudine di soggetti, ciascuno dei quali agisce liberamente e autonomamente, possono convivere soltanto se danno luogo ad una struttura organizzata. L'organizzazione è infatti, lo strumento che trasforma la conoscenza in cultura. La conoscenza organizzata, che è un attributo del gruppo, è l'elemento che porta l'ordine nella società. Hayek riesce dunque a salvare l'esistenza di una società complessa, in cui domina l'auto-organizzazione, il caos, la retroazione, ed insieme una evoluzione ordinata della stessa, attraverso i processi conoscitivi organizzati. Per l'economista austriaco gli organismi viventi sono sistemi conoscitivi organizzati e in questo senso essi si avvicinano, attraverso l'entropia, ai sistemi dinamici dissipativi di Ilya Prigogine ⁶⁷.

7. Un'ipotesi non meccanicistica ha lungamente convissuto nel pensiero economico, insieme alla teoria dominante. Si è sopra accennato a come le metafore della fisica, sia della meccanica razionale che della teoria dei campi

⁶⁷ G. M. Hodgson, *Economics and Evolution*, cit. p.178.

elettromagnetici, avesse fortemente influenzato tutta la ricerca scientifica del Settecento e dell'Ottocento. Questa visione del mondo, che era stata la prima che aveva consentito di esplorare la natura, portando la conoscenza su aspetti fino ad allora completamente ignorati, aveva ottenuto risultati eccezionali che giustificavano gli entusiasmi degli scienziati. E se Newton, Laplace, Lagrange potevano affermare di avere in mano la chiave della conoscenza di tutti i fenomeni, non meno impegnati erano i filosofi della scienza. Questi avevano individuato nel riduzionismo, la scomposizione della realtà complessa nelle sue parti elementari, il metodo scientifico certo. I matematici, a loro volta che con Leibniz e Newton stesso avevano dato un enorme contributo alla meccanica razionale, avevano cercato con Gauss, Fournier e Poincaré di introdurre nelle scienze un elemento di razionalizzazione, individuando nel determinismo il principio stesso di razionalità. Su questi tre pilastri, meccanicismo, determinismo, riduzionismo, la scienza aveva creato la torre d'avorio della propria verità, una verità che aveva fronteggiato vittoriosamente quella aristotelico-scolastica, dominante fino al Cinquecento.

La reazione era arrivata, prima dell'emergere dell'evoluzionismo, in Buffon, Lamarck, Lyell, Darwin, Haeckel, i quali avevano contestato l'ipotesi di immutabilità della natura vivente, poi nelle leggi della termodinamica che avevano

riscoperto il valore del tempo. Infine la scienza del XX secolo avrebbe dato colpi pesanti alla costruzione granitica del XVIII secolo. Prima la rivoluzione della fisica che con Planck, Einstein e Heisenberg avevano abbattuto le certezze di un mondo fisico dominato da leggi meccaniche, poi la matematica, in cui prima Bernard Riemann e poi Kurt Goedel avevano smontato il sistema logico di certezza creato attorno alla scienza. Infine con Edwin Hubble e con Norbert Wiener, la terra e il cielo assumono l'immagine di un complesso in movimento. Insomma, tutte le scienze fisiche del Novecento divengono indeterminate ed evolucionistiche.

Solo la scienza economica (dopo che l'antropologia e la sociologia si erano rapidamente adeguate al nuovo paradigma) era rimasta sulle vecchie posizioni stabilite da Jevons, Walras e Pareto. L'economia come "meccanica dei processi economici" riafferma il suo dominio nel XX secolo. Non mancarono voci dissidenti, anche se erano in larga minoranza, ma in Malthus, Marshall, Veblen e Hayek l'idea dello studio dell'economia come analisi di un sistema in evoluzione rimase fortemente presente. Fu questa la via che avrebbe portato, nella seconda metà del XX secolo a nuovi importanti studi nel campo della teoria dell'impresa, della teoria dei sistemi istituzionali, dei sistemi ecologici e dei sistemi dinamici.

CAPITOLO III

L'ECONOMIA DELLA NATURA: UNA VISIONE SISTEMICA

1. I processi evolutivi, propri di tutti gli esseri viventi, sono processi di modificazione della loro organizzazione. Come afferma Edgar Morin, ciò che evolve non è la vita, ma la sua organizzazione ¹. La vita è fissa, anzi nella permanenza delle sue strutture fenotipiche trova la forza per sopravvivere. Il mutamento organizzato avviene proprio per salvaguardare la propria sopravvivenza. Il mutamento può avvenire sia casualmente per un fatto interno, sia in risposta ad una variazione dell'ambiente esterno. In ogni caso, il mutamento organizzativo porta ad una diversificazione dei soggetti e alla nascita di nuovi fenotipi.

La vita, come affermò Schroedinger, è assunzione di bassa entropia dall'esterno e emissione di alta entropia. Così un mutamento delle condizioni esterne ha un riflesso immediato su ogni organismo. Ciò che vale per il singolo organismo vale anche per una intera comunità.

¹ E. Morin, "Il divenire del divenire", in *Metamorfosi*, 2, 1986, p.7 e sgg.

Il cammino evolutivo, sia se determinato da circostanze interne al soggetto, sia da circostanze esterne (l'ambiente agisce sia nel favorire l'evoluzione, sia nel favorire la selezione naturale del più adatto), non può essere pre-determinato. Questo genera grande sconcerto negli studiosi che individuano la prova della scientificità di una teoria proprio nella possibilità di prevedere il futuro. Ma nel mondo del vivente, al contrario della meccanica, ciò non è possibile. Anzi un sistema vede nella flessibilità e nella diversità della risposta una migliore possibilità di sopravvivenza. Solo i sistemi chiusi possono essere deterministici e prevedibili. In essi a condizioni di partenza uguali, corrispondono risultati uguali. Ma i sistemi viventi sono sistemi aperti e quindi non prevedibili. Essi sono quindi caratterizzati da flessibilità, instabilità, creatività: la diversificazione è la conseguenza e la condizione della loro esistenza ².

“Tutti gli oggetti chiave della fisica, della biologia, della sociologia, dell'astronomia, atomi, molecole, cellule, organismi, società, astri, galassie, costituiscono sistemi. Fuori dei sistemi, vi è soltanto la dispersione particellare. Il nostro mondo organizzato è un arcipelago di sistemi nell'oceano del disordine...La

² N.Clark, “Evolution, Complex Systems and Technological Change”, in *Review of Political Economy*, 2, 1990, pp.26-42.

vita è un sistema di sistemi di sistemi, non soltanto perché l'organismo è un sistema di organi che sono sistemi di molecole che sono sistemi di atomi, ma anche perché l'essere vivente è un sistema individuale che prende parte a un sistema di riproduzione, perché l'uno e l'altro partecipano a un ecosistema, il quale è parte della biosfera”³.

Le parole di Edgar Morin rendono conto del grande cambiamento avvenuto nelle scienze, in tutte le scienze, nel corso del XX secolo. L'idea di natura è passata da un'immagine di entità individuale a un'immagine sistemica. In altri termini, si concepisce oggi la natura come un insieme di organismi strutturati. Anzitutto la fisica. Dalla fisica newtoniana del Settecento che vedeva la materia come massa che si muove nel tempo e nello spazio, si passa nell'Ottocento ad una fisica che rappresenta la realtà come insiemi di campi continui, in cui ogni particella esiste solo se inserita in un sistema. Ugualmente, per la chimica le molecole sono viste come modelli dinamici complessi. E in biologia gli organismi non sono masse di cellule, ma complessi strutturati in sotto-sistemi.

³ E. Morin, *Il metodo: la natura della natura*, trad.it., Milano, 2001, pp. 111-112.

I sistemi sociali sono anch'essi sistemi organizzati, con un'importante caratteristica: sono organizzati in forma gerarchica ⁴. La gerarchizzazione è un grande vantaggio, perché consente ai sistemi stessi di evolversi. L'evoluzione è molto più frequente nei sistemi gerarchizzati, che nelle strutture non-gerarchiche.

Gli organismi si adattano infatti al loro ambiente attraverso una modificazione della loro organizzazione e ciò avviene con l'assorbimento di energia dall'ambiente in cui vivono. Inoltre possiedono sistemi di auto-regolazione, ovvero omeostasi, per i quali mantengono il loro equilibrio anche nel mutare delle condizioni esterne. Lo strumento con cui compiono queste funzioni è il sistema cognitivo. Tanto più esso è complesso, tanto più è in grado di organizzarsi utilizzando energie esterne. Naturalmente in un processo di crescita, il flusso di energia in entrata è maggiore di quello in uscita e il processo segue una sua traiettoria prestabilita.

⁴ E. Laszlo, *Introduction to Systems Philosophy*, New York, 1972, p. 48 e sgg. Scrive ancora E. Laszlo, "Ludwig von Bertalanffy and Claude Lévi-Strauss: Systems and Structures in Biology and Social Anthropology", in W. Gray and N. D. Rizzo (eds), *Unity Through Diversity*, London, 1972, p. 147, "Le leggi teoretiche dei sistemi si applicano ugualmente bene agli organismi biologici, come alle società. Pienezza, crescita, ordine gerarchico, relazioni di dominio, subordinazione, controllo, competizione, e molte altre, sono leggi o regolarità di fenomeni di complessità organizzata che vanno dal livello dell'ameba unicellulare alla ecologia sovra-organica e socio-culturale. Ugualmente la direzione generale dell'evoluzione biologica e sociale sono entrambe analizzabili come un aumento generale di entropia negativa, usata come misura di complessità organizzazionale. La teoria dei sistemi generali è quindi il tentativo di formulare un insieme di concetti, matematici, cibernetici, di informazione, gioco, decisione".

Le società si comportano spesso in modo simile agli organismi. Mentre alcuni parametri rimangono costanti, altri cambiano, così come cambiano gli ecosistemi in cui sono inseriti. L'ambiente è sistemico per natura. L'ambiente sociale non è mai stazionario. I suoi motori sono le culture, le personalità, gli organismi. E anche se le società hanno strumenti di controllo che consentono di mantenere fino ad un certo punto i parametri delle strutture esistenti, tuttavia, essendo immerse in un mare in continua agitazione, possono avviarsi ad un processo di cambiamento progressivo, alimentato da *feed-back* positivo. Nel tempo i sistemi sociali possono differenziarsi profondamente, compiendo percorsi del tutto autonomi in quanto animati da processi di sviluppo che seguono dei percorsi alimentati da forze diverse. Abbiamo così storicamente la convivenza di società primitive e società moderne ed altre ancora in cui si passa da sistemi di parentele a strutture sociali organizzate e differenziate, con poteri distribuiti e istituzionalizzati ⁵.

Chi per primo ha collegato la teoria dei sistemi all'entropia è stato Ludwig von Bertalanffy ⁶. Egli osserva che le leggi della termodinamica operano solo in un

⁵ *Ibidem*, p.108.

⁶ L.von Bertalanffy, *Teoria generale dei sistemi*, trad, it, Milano, 1971, pp.76-78. L'impostazione di questo autore fu al centro di un importante dibattito fino dai suoi primi scritti negli anni Trenta del Novecento. Nel 1955 si formò una Society for General Systems Research che diede vita ad una rivista *General Systems* che sotto la direzione di von Bertalanffy ha pubblicato numerosi studi. Per

sistema chiuso (sia pur ampio come l'Universo). In particolare il Secondo principio della termodinamica stabilisce che in un sistema chiuso l'entropia, cioè il disordine, cresce fino ad un massimo che coincide con l'equilibrio termico. Ma i sistemi viventi sono necessariamente sistemi aperti, cioè sistemi che ricevono energia e materia e scaricano entropia e rifiuti. Mentre per i sistemi chiusi il risultato finale verrà raggiunto in relazione alla situazione di partenza, per i sistemi aperti lo stesso risultato può venire raggiunto in modi molto diversi. I primi sono sistemi il cui esito è predeterminato, i secondi sono sistemi complessi, al limite del caos. Inoltre i primi sono sistemi deterministici, i secondi sono evolutivi, e lo sono in quanto le modificazioni nei processi non sono mai prevedibili. Ma se i processi complessi non aumentano il disordine, non c'è forse una contraddizione con la legge dell'entropia? L'apparente contraddizione scompare se si pensa che gli organismi viventi, per costruire i loro processi complessi, debbono produrre entropia. Perciò di fronte ad un processo di creazione di ordine dentro gli organismi (neghentropia) c'è un processo di aumento di entropia all'esterno dovuto all'utilizzo di energia e materia

una ricostruzione del pensiero di von Bertalanffy si veda R. Morchio "Gli organismi biologici come sistemi aperti stazionari nel modello teorico di L. von Bertalanffy", Suppl al vol XII, serie X di *Il Nuovo Cimento*, 1959, pp.100-119. Una critica molto severa alla teoria dei sistemi e agli scritti dei suoi maggiori protagonisti in R. Lilienfeld, *The Rise of Systems Theory*, New York, 1991, che peraltro è un tenace difensore del determinismo e del riduzionismo.

per costruire e mantenere il sistema vivente. Anche in questo caso l'entropia generale cresce ⁷.

Ciò che consente di creare gli organismi complessi è l'organizzazione. Mentre una visione riduzionista della materia tende a isolare le singole parti di un fenomeno da analizzare, una visione olistica tenderà a unificare quelle parti e quei processi, inserendoli nell'insieme sociale e naturale da cui provengono e in cui operano.

L'organizzazione dei sistemi complessi è l'oggetto di studio della teoria dell'organizzazione. Questa è un'estensione della matematica: è essa stessa una scienza sociale. Infatti studia la struttura sociale delle organizzazioni o il comportamento dei membri delle organizzazioni. Sono rami della teoria delle

⁷ Scrive E.Laszlo, "Ludwig von Bertalanffy", *cit*, p.151, "Von Bertalanffy definisce gli organismi biologici come 'sistemi aperti in uno stato stazionario'. Essi si mantengono nel loro ambiente stabilendo un 'equilibrio dinamico' (non in senso termodinamico) fra il loro 'fantasticamente improbabile' (squilibrato termodinamicamente) stato e il mondo circostante. Gli organismi costituiscono dei sistemi, cioè insiemi funzionanti costituiti da relazioni delle loro parti, e fin quando questi sistemi scambiano continuamente materiali, informazione e energia con l'ambiente, gli organismi sono sistemi aperti. La loro condizione di sussistenza è uno stato di bilancio dinamico fra loro stessi e il loro ambiente".

Nel 1962 von Bertalanffy pubblicò un' importante analisi di quale fosse stato l'apporto della Teoria Generale dei Sistemi all'analisi dei sistemi biologici e sociali in cui stilò un bilancio di 15 anni di ricerche. Si veda L.von Bertalanffy, "General System Theory. A Critical Review", *General Systems*, 7, 1962, pp.1-20.

organizzazioni: la cibernetica, la topologia (matematica delle relazioni), la teoria delle decisioni, la teoria dell'informazione e la teoria dei giochi ⁸.

I sistemi organizzati comprendono gli organismi. Questi sono esaminati nei loro aspetti strutturali evolutivi e di funzionamento. Ma questi aspetti dipendono dal processo cognitivo. Ogni sistema vivente ha un processo cognitivo, senza il quale non potrebbe vivere. In questo senso la cibernetica che è la scienza che studia il controllo della comunicazione, è centrale al processo cognitivo. Ogni essere vivente ha capacità di vivere e trasformarsi a seconda della quantità di informazioni che riesce a incorporare ⁹. In tal modo entropia, sistemi dinamici aperti e organizzazione vengono collegati strettamente fra loro.

2. Dobbiamo a Ilya Prigogine quello che è a tutt'oggi il maggiore contributo alla teoria dei sistemi dinamici aperti (ovvero, come lui stesso li chiama, “sistemi dissipativi”). Fin dalla sua tesi di dottorato del 1945 Prigogine dirige la sua attenzione sui sistemi dissipativi, un tema su cui pubblicherà nel 1947 un primo

⁸ A. Rapoport, W.J.Horvath, “Thoughts on Organization Theory”, *General Systems*, 4, 1959, pp.73-75.

⁹ A. Rapoport, “Foreword”, in W.Buckley (ed) , *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Chicago, 1968, pp.XVII-XX. Si veda anche I.Prigogine e I.Stengers, “Organizzazione”, in *Enciclopedia Einaudi*, Torino, vol.VXII, pp.180-196.

saggio e su cui lavorerà per altri trenta anni, fino a quando, nel 1977, riceverà il premio Nobel per la chimica e pubblicherà il suo saggio fondamentale: *Le strutture dissipative*¹⁰. Qualche anno più tardi, pubblicherà un terzo volume sulla complessità e i sistemi dissipativi¹¹. Ma la sua produzione, fino alla sua morte, sarà veramente sterminata, anche se, negli ultimi anni, si preoccuperà soprattutto di illustrare la ricaduta generale della sua teoria sulla filosofia e la storia della scienza.

In *Le strutture dissipative* Prigogine, partendo dalle leggi della termodinamica approfondisce la matematica dell'auto-organizzazione fino a pervenire alla termodinamica dei processi evolutivi e degli ecosistemi. Scrive Prigogine: “Nella termodinamica, la seconda legge è formulata secondo il principio di Carnot-Clausius. Essa appare essenzialmente come la legge di evoluzione della disorganizzazione continua, cioè della scomparsa della struttura introdotta dalle condizioni iniziali. In biologia o in sociologia, l'idea di evoluzione è, al contrario,

¹⁰ I.Prigogine e G.Nicolis, *Le strutture dissipative. Auto-organizzazione dei sistemi termodinamici in non-equilibrio*, trad. it, Firenze, 1982; I.Prigogine, *Introduzione alla termodinamica dei processi irreversibili*, trad.it, Roma, 1947. Sulla teoria dei sistemi si veda anche la voce “Sistema”, di I.Prigogine e I.Stengers, in *Enciclopedia Einaudi*, vol.12, pp.993-1023.

¹¹ G. Nicolis e I. Prigogine, *La complessità*, trad it, Torino, 1991.

strettamente associata ad un aumento di organizzazione che dà origine alla creazione di strutture sempre più complesse¹².

I processi che Prigogine studia sono quelli in non-equilibrio. Come egli stesso afferma, sono tali i processi chimici, biologici e parte di quelli fisici. Dunque solo una piccola parte dei processi naturali sono in equilibrio. Ma questa non era l'opinione di gran parte degli scienziati della fine dell'Ottocento: per essi le leggi dell'Universo erano deterministiche e reversibili¹³, ma esse valgono solo per i sistemi conservativi in cui l'evoluzione viene determinata dalle condizioni iniziali che, insieme alle leggi del moto, determinano fin dall'inizio il cammino e la destinazione dei fenomeni. Tutti i sistemi conservativi sono strutturalmente stabili. Nei sistemi dissipativi il processo diviene irreversibile, e la seconda legge della termodinamica si può applicare ai sistemi isolati: il processo di avvicinamento alla morte termica è monotona e irreversibile.

I sistemi conservativi integrabili sono solo quelli a due corpi. I sistemi a tre corpi e i sistemi dissipativi non sono integrabili. Appare qui da un lato la

¹² P.Glansdorff e I.Prigogine, *Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations*, London, 1976, p.287.

¹³ *Ibidem*, pp.5 e 18; I.Prigogine, "Structure, dissipation and life", in M.Marais (ed.), *Theoretical Physics and Biology*, North Holland, 1969, pp.23-25.

eccezionalità dei sistemi integrabili e l'artificio che per integrare i sistemi occorre considerare solo due variabili per volta.

I sistemi biologici, avendo moltissime variabili, non sono sistemi integrabili e sono quindi sistemi che presentano insieme elementi di ordine ed elementi di caos. I sistemi biologici sono sistemi dissipativi al limite del caos, sono, cioè, sistemi complessi. I comportamenti caotici dei sistemi viventi non sono dovuti ad imperfezioni, ma sono incorporati nella loro stessa natura. I sistemi complessi, proprio per i fenomeni caotici che incorporano, sono irreversibili, e i sistemi dinamici dissipativi, in quanto complessi, portano a una produzione di entropia positiva¹⁴. Ma Prigogine richiama la filosofia generale della scienza che scaturisce dalle sue ricerche in alcuni saggi che indicano che, dalla termodinamica alla complessità e ai sistemi dissipativi, la nuova impostazione contribuisce ad una migliore conoscenza delle leggi della natura¹⁵.

¹⁴ *Ibidem*, pp.73-229. Si veda anche I.Prigogine, "Irreversibilità e instabilità nei sistemi complessi", in P.Bisogno (ed), *Termodinamica, energia: il nuovo paradigma*, Milano, 1986, pp.13-36; I.Prigogine, G.Nicolis, A.Batloyantz, "Thermodynamics of evolution", *Physics Today*, nov.1972, pp.23-28, e dic.1972, pp.38-44; I.Prigogine, "Irréversibilité et corrélations", *Revue de Métaphisique et de la Morale*, 1962, pp.228-236.

¹⁵ Si veda, I. Prigogine e I. Stengers, *La nuova alleanza*, trad it, Torino, 1982; I.Prigogine e I. Stengers, *Tra il tempo e l'eternità*, trad it, Torino, 1989; I.Prigogine, *Le leggi del caos*, trad. it. Bari, 1993; I Prigogine, *La nascita del tempo*, trad. it., Roma, 1988; I.Prigogine, *La fine delle certezze*, trad. it., Torino, 1997; I Prigogine, *Il futuro è già determinato?*, trad. it., Roma, 2003.

Il punto di partenza di Prigogine è che nella natura gran parte dei fenomeni sono irreversibili e lontani dall'equilibrio. E questo è determinato dalle leggi della fisica che si riconoscono nella termodinamica. Mentre la prima legge della termodinamica è una legge di equilibrio, la seconda legge invece presuppone una dinamica, e cioè l'irreversibilità (come si è visto nel primo capitolo, il tentativo di Maxwell di ridurre la seconda legge a una legge di equilibrio è stato contestato dalla fisica del Novecento)¹⁶.

Come afferma Prigogine “la natura realizza le strutture più delicate e più complesse proprio grazie ai processi irreversibili associati alla freccia del tempo. La vita è possibile solo in un universo lontano dall'equilibrio”¹⁷. Se non ci fosse stato il caos, l'irreversibilità, l'entropia, la complessità e tutti quegli elementi che caratterizzano la vita sulla Terra, questa sarebbe deserta come la Luna. Per Prigogine fu il matematico francese Poincaré che, alla fine del XIX secolo, introdusse la nozione di sistema dinamico non integrabile, dimostrando che i sistemi dinamici possono essere integrabili solo in condizioni tanto particolari che, di fatto, nella natura esse non si verificano mai. Ma la non integrabilità dei sistemi

¹⁶ I. Prigogine, *La nascita del tempo*, cit., p.79 e sgg.

¹⁷ I. Prigogine, *La fine delle certezze*, cit., p.29.

complessi comporta la mancanza di una soluzione. Scrive Prigogine: “I sistemi dinamici hanno la proprietà fondamentale di non poter essere compresi se non in modo globale. Questa regola ammette una sola eccezione: i sistemi integrabili, fra i quali si collocano in prima fila i sistemi lineari. A parte queste situazioni particolarissime, la ricerca delle cause o l’analisi delle conseguenze di un evento singolo ci trascina molto presto in un labirinto non assoggettabile a calcolo di cui si rimane prigionieri, se non ci si vuole rassegnare ad ammettere che nessuna influenza è così piccola da poter essere trascurata e che il minimo impulso rimette in discussione il corso dell’universo”¹⁸. Il segreto del successo della scienza newtoniana fu l’assunto che la forza di gravità era l’unica forza agente sulla massa e quindi l’equazione era funzione di due variabili: la massa e la distanza fra loro. Su questa base era stata costruita la scienza del XVIII e XIX secolo. Ne veniva di conseguenza la possibilità matematica e reale della reversibilità dei fenomeni, caratteristica fondamentale della dinamica¹⁹.

Per Galileo e Newton la scienza può esprimere una visione unitaria della natura.

La natura è omogenea e, quindi, le sue leggi valgono per tutto il mondo fisico, sia in

¹⁸ I.Prigogine, I.Stengers, *Tra il tempo e l’eternità, cit.*, p.111.

¹⁹ I.Prigogine e I.Stengers, *La nuova alleanza, cit.*, pp.17-25.

Terra che nel cielo, sia per esseri viventi che non viventi. La legge dell'entropia rompe questa simmetria. Essa comunica l'esistenza di una direzione del tempo, di un mondo fisico che ha una storia e il cui punto d'arrivo non è predeterminato dalla posizione di partenza e dalla sua prevedibile traiettoria, ma dalla sua struttura, dal suo modificarsi nel tempo, dal mondo esterno. L'esistenza di situazioni di biforcazioni che portano a possibili alternative, ambedue ugualmente probabili, statuiscano il principio di irreversibilità e configurano il cammino di una crescente diversità. Un mondo Newtoniano è un mondo identico a se stesso, senza storia, senza materia vivente.

Il mondo vivente di Prigogine è un mondo dal continuo moltiplicarsi di diversità e di impossibilità di prevedere il destino futuro²⁰. Il mondo vivente di Prigogine è anche il mondo in cui gli oggetti viventi si debbono organizzare. Gli organismi che nascono sono finalizzati a due scopi. Sono in grado di sopravvivere per un certo periodo e per sopravvivere come specie debbono riprodursi. Ma l'organizzazione prevede la necessità di un trasferimento di informazioni, ed infatti tutti gli esseri

²⁰ I. Prigogine, *Il futuro è già determinato?*, cit., p.38 e sgg. Si veda anche E. Gagliasso, "Il mutamento in Natura: dal caos, all'errore, all'evento. Riflessioni su riduzionismo e vitalismo alla luce delle teorie evolutive", in *Metamorfosi*, 2, 1986, pp.99-105; R. Ayres, "Evolutionary Economics and Environmental Imperatives", in *Structural Change and Economic Dynamics*, 2, 1991, pp.255-271.

viventi, dalla cellula all'ecosistema sono tutte strutture informative. Le società sono sistemi in grado di trasmettere informazioni e in grado di utilizzarle tramite le proprie istituzioni ²¹.

3. Anche se dobbiamo a Prigogine una razionalizzazione del problema del processo evolutivo dei sistemi dissipativi (o, come vengono più generalmente chiamati, sistemi dinamici aperti), tuttavia i presupposti da lui enunciati trovano ormai ampia accoglienza nel campo degli studi biologici.

Scrivono Edgar Morin, “la biologia moderna dà vita all'idea di sistema distruggendo in un medesimo tempo l'idea di materia vivente e quella di principio vitale che anestetizzavano entrambe l'idea sistemica compresa nella cellula e nell'organismo” ²².

²¹ Si veda R.Artigiani, “Revolution and Evolution: Applying Prigogine's Dissipative Structures Model”, in *Journal of Social Biological Structures*, 10, 1987, pp.252-253. Scrivono Artigiani: “Per comprendere pienamente il significato di evoluzione, è necessario apprezzare che le strutture dissipative sono fenomeni complessi le cui parti sono controllate dalla comunicazione di informazione. Una struttura dissipativa è auto-organizzante agisce come uno schema che modella l'energia dell'ambiente e la materia in esempi auto-replicanti. Le società funzionano nello stesso modo, riproducendo in generazioni successive i modelli comportamentali più vicini possibili all'originale...L'informazione è in grado di ispirare il comportamento delle società umane perché viene comunicata attraverso valori che incamerano energia in strutture culturali e catalizzano l'azione”.

²² E.Morin, *La natura della natura*, cit., p.111. Per un approfondimento del dibattito fra i biologi sul meccanismo dell'evoluzione si veda: B.H.Weber e D.J.Depew, “Does The Second Law of

In biologia la termodinamica è divenuta il motore del processo evolutivo. Come si è visto, il processo di organizzazione degli esseri viventi avviene con l'arrivo di energia e la dispersione di entropia nell'ambiente. Gli esseri viventi non sono caotici, ma sono ordinati e organizzati. Il loro ordine deriva da entropia. Tuttavia l'energia incorporata è ben minore di quella ricevuta. La differenza fra le due è l'entropia inviata all'ambiente. Così come l'entropia, anche gli esseri viventi producono un processo evolutivo irreversibile. L'evoluzione, che nel mondo fisico significa entropia, nel mondo biologico è associato a complessità, specializzazione, organizzazione. Tutte queste caratteristiche nascono in presenza di assorbimento di energia ²³. Complessità, organizzazione e specializzazione (o biodiversità) avvengono nei sistemi lontani dall'equilibrio, cioè nei sistemi aperti.

L'evoluzione produce le gerarchie, le gerarchie fra gli esseri viventi nascono infatti dalla divisione in specie diverse. Ma anche gli organismi hanno parti che sono gerarchicamente maggiori. Lo strumento attraverso cui l'energia passando

Thermodynamics Refute the Neo-Darwinian Synthesis?", in B.H.Weber and D.J.Depew (eds), *Evolution at a Crossroads: The New Biology and The New Philosophy of Science*, Cambridge, 1998, pp.51-75; J.Olmsted, "Observations on Evolution", in B.H.Weber and D.J.Depew, *op.cit*, pp.243-261; J.S.Wicken, "Thermodynamics, Evolution, and Emergence: Ingredients for a New Synthesis", in B.H.Weber and D.J.Depew, *op.cit*, pp.139-169, J.H.Campbell, "Evolution as Nonequilibrium Thermodynamics Halfway There?", in B.H.Weber and D.J.Depew, *op.cit*, pp.275-384; J.Collier, "The Dynamics of Biological Order", in B.H.Weber and D.J.Depew, *op.cit*, pp.227-242.

²³ D.R.Brooks and E.O.Wiley, *Evolution as Entropy*, Chicago, 1987, p.34 e sgg.

attraverso gli esseri viventi li organizza, è l'informazione. Ma l'organismo mantiene la sua identità nel tempo perché l'informazione è un sistema chiuso.

I sistemi viventi, “sia gli organismi, sia le specie sono strutture dissipative individualizzate, che esibiscono informazione e coesione determinata, che si mantengono attraverso la dissipazione irreversibile della materia e dell'energia, che esistono nei sistemi energetici aperti...L'evoluzione biologica non è un processo teleologico, nè è un processo che ci richiede di affermare che le mutazioni più adatte avvengono a caso e sono selezionate per la loro efficienza funzionale in un dato ambiente. Piuttosto la proprietà più importante degli esseri viventi come sistemi entropici è storicamente l'evoluzione strutturale limitata, senza riguardo all'ambiente. L'evoluzione è la sopravvivenza dell'adatto, non del più adatto”²⁴.

I sistemi lontani dall'equilibrio incorporano la loro storia e con essa la gerarchia delle relazioni evolutive, e tendono verso uno stato di minimo di entropia.

Dunque la natura ha costruito fin dall'inizio della vita sulla Terra un sistema estremamente complesso che va dalle particelle che costituiscono gli atomi, alla complessità delle molecole e delle cellule, fino alla grandissima complessità dell'ecosistema di Gaia, in cui ogni gradino non è più complesso perché più grande

²⁴ *Ibidem*, pp.70-71

(si pensi alla estrema complessità della mente umana), ma perché le interazioni fra le parti degli organismi sono sempre più complesse e gli organismi formano società estremamente complesse. Il triangolo su cui si gioca la natura è: sistema-organizzazione-interazioni. La scoperta dell'importanza dell'organizzazione nella natura è uno dei principali risultati delle ricerche di Prigogine. Scrive Frank Capra “il funzionamento degli organismi è guidato da modelli ciclici di flusso di informazione, noti come anelli di retroazione...La concezione propria della teoria dei sistemi chiarisce che i geni non determinano in modo unico il funzionamento di un organismo nello stesso modo in cui ingranaggi e ruote determinano il funzionamento di un orologio. I geni sono piuttosto interagenti di un tutto ordinato e si conformano alla sua organizzazione sistemica”²⁵. Gli organismi hanno fenomeni di retroazione che impediscono sia la crescita delle parti oltre certi limiti, sia la riparazione degli organismi, sia un generale equilibrio del sistema. È questo il risultato dell'autorganizzazione che è possibile solo in organismi cognitivi e che emettono entropia, cioè organismi in cui l'energia che entra viene organizzata per produrre ordine, tramite sistemi cognitivi che sanno come incanalare la forza e che espellono rapidamente entropia sotto forma di calore e di movimento.

²⁵ F. Capra, *Il punto di svolta*, trad.it., Milano, 1984, p.224.

I sistemi cognitivi sono un elemento fondamentale nella organizzazione della struttura degli esseri viventi. Ad essi hanno rivolto l'attenzione le ricerche di Varela e Maturana ²⁶. Per i due autori tutti i sistemi viventi sono organizzati come il sistema nervoso. E il sistema nervoso è un sistema chiuso e autoreferenziale. Pertanto "i sistemi viventi sono sistemi cognitivi, e la vita in questo processo è un processo di cognizione" ²⁷. D'altra parte il prodotto dei sistemi viventi è proprio la loro organizzazione. Questa, quindi, acquisisce una posizione centrale in tutti i sistemi viventi.

Poichè anche le società e gli ecosistemi sono sistemi viventi, ancora una volta l'oggetto principale di conoscenza non è la loro dimensione, il loro sviluppo, lo sviluppo di alcune parti, ma la loro organizzazione sistemica. Questa, come sostengono Maturana e Varela, è chiusa. Ma il sistema è aperto, solo che lo scambio di energia e materia con l'esterno non determinano un cambiamento dell'organizzazione. Essa è strutturalmente determinata e non ne viene modificata. Questo spiega la grande stabilità degli esseri viventi, nonostante le differenti situazioni in cui si trovano ad operare. Scrive Capra, "Quando Maturana e Varela

²⁶ H.R.Maturana, F.J.Varela, *Autopoiesi e cognizione*, trad.it. Venezia, 1985.

²⁷ *Ibidem*, p.59.

descrivono lo schema della vita come una rete autopoietica, pongono l'accento soprattutto sulla chiusura organizzativa dello schema. Al contrario, quando Ilya Prigogine descrive la struttura di un sistema vivente come dissipativa, pone l'accento soprattutto sull'apertura di una tale struttura al flusso di energia e materia. Quindi un sistema vivente è aperto e chiuso allo stesso tempo: è strutturalmente aperto, ma organizzativamente chiuso. La materia fluisce di continuo attraverso il sistema e tuttavia esso mantiene una forma stabile, e lo fa in modo autonomo per mezzo dell'auto-organizzazione”²⁸.

Le interazioni fra un organismo vivente, non importa se vegetale o animale, sono cognitive, ossia mentali. Quindi la vita è un processo mentale e la mente non è un fatto materiale, ma un processo. Ciò che distingue la natura umana dalle altre specie è un diverso funzionamento, più sofisticato, più complesso e quindi più efficiente di questo processo mentale, e non la quantità di materia contenuta nel cervello. Se in tutti gli esseri viventi, come si è visto, il processo cognitivo si identifica con la vita stessa, allora la vita si dematerializza e diventa processo.

In questo caso Darwin e Lamarck vengono entrambi ridiscussi. Infatti, le informazioni non vanno dai geni al fenotipo, come suppone Darwin, nè dal fenotipo

²⁸ F. Capra, *La rete della vita*, trad.it, Milano, 1998, p.189.

ai geni, come suppone Lamarck, ma dall'uno all'altro attraverso un processo non lineare, ma a rete ²⁹. In altri termini: i sistemi al confine del caos, come sono i sistemi viventi, presentano una estrema complessità di comportamento. I processi evolutivi che vi si instaurano sono irreversibili e fenomeni di auto-organizzazione e di retroazione rendono assolutamente imprevedibili i risultati. Questo processo vale per gli organismi, come gli animali, le piante, l'uomo. Ma vale anche per le combinazioni di popolazioni animali e piante (ecosistemi) e di piante animali e uomini tutti insieme (società).

4. L'applicazione della seconda legge della termodinamica ai sistemi economici e sociali ricevette, dunque, un impulso decisivo dalla teoria delle strutture dissipative di Ilya Prigogine. Questa teoria afferma che l'auto-organizzazione e la neghentropia dei sistemi viventi lontani dall'equilibrio aumentano quando questi assumono energia dall'esterno e aumentano l'entropia dall'ambiente circostante. In tal modo il concetto di entropia viene esteso ai processi del cambiamento e dell'evoluzione dei sistemi aperti. Si viene così a fornire un fondamento fisico alla

²⁹ F.M.Wuketits, "Organism, Vital Forces and Machines: Classical Controversies and the Contemporary Discussion 'Reductionism vs Holism' ", in P.Hoyningen-Huene and F.Wuketits (eds), *Reductionism and System Theory in The Life Sciences*, Dordrecht, 1992, p.21.

affermazione che nel campo degli esseri viventi i fenomeni sono tutti evolutivi e irreversibili e che se vi fossero leggi di natura, esse andrebbero ricercate nel campo della storia, non dell'equilibrio temporale. Lontano dall'equilibrio i sistemi possono vivere solo dissipando energia e materia prelevati dall'ambiente circostante e quindi aumentando l'entropia generale del sistema.

Un sistema è tanto più complesso, quanto più vi è contenuta informazione. La complessità cresce all'aumentare degli elementi che sono inseriti nel sistema, in quanto crescono le relazioni fra gli stessi. All'opposto, l'ordine è il cristallizzarsi delle strutture di un sistema e indica un arrestarsi del flusso di informazioni, un calo di entropia, un attenuarsi della sua dinamica. Se si trasferisce questa problematica al sistema "Gaia" di James Lovelock, questi, è un sistema chiuso che scambia energia e non materia con l'Universo. L'arrivo di energia dal Sole compensa l'entropia del sistema.

La capacità dei sistemi viventi cresciuti nella Terra consentì di catturare più energia e quindi di aumentare l'entropia. Il sistema si allontanò dall'equilibrio iniziale e aumentò la propria complessità. L'evoluzione creò nuove strutture più efficienti e con maggiore informazione potenziale le quali a loro volta aumentarono, con un processo di retroazione, la complessità del sistema naturale.

Il processo che si instaura è l'incremento della entropia generale del sistema in un mondo che tende a diminuire la complessità specifica dei singoli organismi del sistema. L'incremento di efficienza di questi può portare ad un calo di entropia in un sistema che si evolve ed aumenta la propria biomassa. È la selezione naturale a favorire gli organismi che minimizzano la produzione di entropia. Così i sistemi dissipativi tendono ad evolvere verso la più efficiente produzione di entropia, attraverso la diversificazione delle singole specie e l'aumento della biomassa³⁰.

Per quanto riguarda la società umana, ad una situazione di sostanziale stabilità è subentrato un processo in cui, essendo fortemente aumentata la produzione di entropia, grazie alla introduzione di innovazioni tecnologiche caratterizzate da un forte consumo di energia, è stato necessario utilizzare fonti di energia non rinnovabili. Questo ha portato ad uno squilibrio che ha causato un generale danneggiamento dell'ecosistema. Si sta producendo sia l'esaurimento delle risorse rinnovabili, sia un degrado dell'ecosistema, e cioè l'effetto serra, la deforestazione, la riduzione delle specie viventi, l'aumento dell'inquinamento della biosfera.

³⁰ M.Binswanger, "From microscopic to Macroscopic Theories: Entropy Aspects of Ecological and Economic Processes" in *Ecological Economics*, 8, 1993, pp.209-234.

L'inserimento dell'entropia, della complessità e dell'organizzazione nell'interpretazione del processo storico, implica il riconoscimento dell'importanza del cambiamento tecnologico e dell'informazione nei sistemi aperti. Infatti, mentre un sistema chiuso raggiunge lo stato stazionario nel massimo di entropia, cioè di disordine, un sistema aperto tende ad organizzarsi e ad utilizzare nuove tecniche per diminuire l'entropia specifica e quindi a raggiungere il massimo ordine. È ancora l'informazione e la tecnologia che possono consentire in un sistema aperto di lasciare il vecchio stato di equilibrio per raggiungere una nuova e più efficiente situazione. In questo senso il rapporto fra lo stato interno del sistema aperto e il suo ambiente esterno, è decisivo ³¹. L'ambiente esterno non è solo l'ambiente naturale, ma anche, e non in modo marginale, l'ambiente istituzionale in cui la struttura opera. In questo senso c'è una importante differenza fra i processi evolutivi dei sistemi ecologici e quelli dei sistemi sociali ³².

Nei primi, infatti, un cambiamento esterno provoca un'evoluzione della organizzazione ambientale che trova nella selezione la sua via alla sopravvivenza e alla modificazione. Nei secondi è la capacità autorganizzativa che premia i sistemi

³¹ P.P.Saviotti, "Systems Theory and Technological Change", in *Futures*, 18, 1986, pp.773-786.

³² G.M.Hodgson, "The Evolution of Evolutionary Economics", in *Scottish Journal of Political Economy*, 42, 1995, pp.469-488.

più efficienti e marginalizza quelli incapaci di trasformarsi. In questo senso lo stesso cammino della storia umana potrebbe venire ripensato in una diversa prospettiva ³³.

5. Un approccio decisamente riferito ad una metafora biologica viene formulato da Alchian in un saggio del 1950. In esso l'economista americano afferma che la sua impostazione "incorpora i principi della evoluzione biologica e della selezione naturale interpretando il sistema economico come un meccanismo adattivo che sceglie fra soluzioni esplorative generate dal perseguimento di 'successo' o 'profitto' " ³⁴. Gli elementi che portano al successo sono: il cambiamento e la capacità di adattarsi ai mutamenti dell'ambiente esterno. Naturalmente nella possibilità di sopravvivere giocano un ruolo il caso e la fortuna. L'importanza degli eventi casuali non implica l'impossibilità di perseguire una qualunque azione, ma che le risorse e l'organizzazione vanno continuamente adattate al cambiamento delle condizioni esterne. In questo senso nè la conoscenza del passato, nè una capacità di prevedere gli avvenimenti futuri sono sufficienti ad indicare una via

³³ R.Artigiani, "Social Evolution: a Non equilibrium Systems Model", in E.Laszlo, (ed.) *The New Evolutionary Paradigm*, cit. pp.93-128.

³⁴ A. Alchian, *Economic Forces at Work*, Indianapolis, 1977, p. 15.

sicura, quando il caso interviene. È invece necessario che l'impresa tenga presente alcuni comportamenti generali, quali l'attenzione a molti fattori, la loro incertezza, l'indisponibilità di un processo di controllo degli errori, l'inesistenza di criteri generali di decisione. Alchian introduce nell'analisi dell'impresa gli elementi che la biologia riscontra nel comportamento degli esseri viventi: l'incertezza, il rischio e l'indeterminazione sono i parametri della nuova concezione evuzionistica dell'impresa.

Questi suggerimenti per una teoria biologica dell'impresa vengono raccolti, come si è visto, da Nelson e Winter ³⁵. Ambedue gli autori, tuttavia, superano questa problematica, ipotizzando che lo stesso processo di sviluppo economico sia un processo evolutivo, in molti aspetti assimilabile ai processi di sviluppo degli

³⁵ Scrive Nelson, "questi modelli comprendono generalmente, tre differenti specie di 'routines' aziendali. Primo, ci sono quelle che potrebbero essere chiamate 'procedure operative standardizzate', quelle che determinano come e quanto una impresa produce sotto varie circostanze, dato il suo stock di capitale e altri limiti alla sua azione che vengono fissati nel breve tempo. Prima fra queste sono le tecnologie. Secondo, ci sono routines che determinano il comportamento nell'investimento dell'impresa, le equazioni che governano la sua crescita e il declino (misurato in termini dell'ammontare del suo capitale) come funzione dei suoi profitti, e forse altre variabili. Terzo, i processi deliberativi dell'impresa, quelli che comprendono la ricerca delle vie migliori per fare le cose, sono ugualmente visti come guidati da routines. Mentre in linea di principio fra questi modelli l'atteggiamento di ricerca potrebbe essere focalizzato su ciascuna delle routines prevalenti nell'impresa, -le sue tecnologie, o le altre procedure operative consuete, le sue regole di investimento, o anche le sue procedure di ricerca prevalenti- in pratica in tutte queste, la ricerca si assume venga orientata per scoprire nuove tecniche di produzione o migliorare quelle prevalenti. (R.R.Nelson, "Recent Evolutionary Theorizing about Economic Change", *Journal of Economic Literature*, 33, 1995, p.69).

esseri viventi. In particolare nello sviluppo economico esercitano una funzione fondamentale l'innovazione tecnologica e lo sviluppo delle istituzioni. Come una nuova tecnologia è in grado di migliorare la produzione di una azienda, così l'aumento di produttività delle aziende in generale, misurato dal cambiamento tecnologico, favorisce lo sviluppo economico.

Lo sviluppo tecnologico nei singoli settori industriali agisce come un meccanismo che tende ad eliminare dal mercato le imprese più piccole e concentrare la produzione in imprese che impiegano sempre maggiori capitali, creando così crescenti barriere all'entrata di nuove imprese.³⁶ Più le tecnologie diventano complesse, più è necessario il supporto della scienza, e in questo caso diviene necessario un legame con le Università. Alla ricerca universitaria occorre accompagnare la creazione di infrastrutture fisiche e giuridiche.

Il processo evolutivo, che parte dalle innovazioni tecnologiche, si estende alle istituzioni, fino al punto che, secondo Douglass North, la differenza nello sviluppo

³⁶ *Ibidem*, p.77. Si veda anche IDEM, "The Coevolution of Technology and Institutions as The Driver of Economic Growth", in J.Foster and J.S. Metcalfe, *Frontiers of Evolutionary Economics*, Chaltenham, 2001; S.G.Winter, "Economic 'Natural Selection' and The Theory of The Firm", *Yale Economic Essays*, p.273 e sgg; R.R.Nelson and S.G.Winter, "Evolutionary Theorizing in Economics", *Journal of Economic Perspectives*, 16, 2002, pp.23-46.

economico fra i vari paesi è correlato alle differenze nello sviluppo e nel funzionamento delle istituzioni.

Come afferma Nelson “in qualche modo, nelle nazioni industriali avanzate, si sono avuti meccanismi, che hanno prodotto la coevoluzione di tecnologia, organizzazione industriale e istituzioni, e l’hanno orientata in direzioni che hanno condotto ad un progresso economico sostenuto”³⁷.

6. L’istituzionalismo moderno, per i suoi caratteri di teoria che analizza i processi evolutivi delle istituzioni economiche, si presenta come uno dei filoni fondamentali per lo studio dell’economia come processo evolutivo. In ciò si innesta, come si è visto, nel Lamarckismo di Veblen e nel Darwinismo dei biologi. Per Veblen l’economia è un processo evolutivo in cui si possono introdurre concetti derivati dalla biologia come variazione, ereditarietà, selezione. Tuttavia gli interessi di Veblen non si concentrano sull’evoluzione biologica, ma su quella economica, e in questo si discosta da Spencer che vede nell’evoluzione sociale il ripetersi dei processi naturali³⁸. Scrive Veblen “Le istituzioni sono i prodotti dei processi

³⁷ R.R.Nelson, “Recent Evolutionary Theorizing”, *cit.*, p.83.

³⁸ G.M.Hodgson, “Darwinism and Institutional Economics”, *Journal of Economic Issues*, 37, 2003, pp.88-90.

passati, adattati alle passate circostanze e non sono perciò mai in pieno accordo con le attese del presente...Queste istituzioni che sono state così ben create, questi modi di pensare, questi punti di vista, attitudini mentali sono esse stesse un fattore conservatore. È il fattore della inerzia sociale, dell'inerzia psicologica, del conservatorismo”³⁹. Ma le istituzioni cambiano continuamente e si sviluppano e portano con sé lo sviluppo della società⁴⁰.

Ma quali sono i principi dell'istituzionalismo ? Per esso la società è un insieme di sistemi istituzionali, e le istituzioni sono “un in insieme di modelli correlati di comportamenti socialmente prescritti”⁴¹. L'istituzionalismo è olistico perché studia le relazioni fra le parti e il tutto, è sistemico perché le parti compongono un insieme articolato e coerente, è evolutivo perché i cambiamenti delle relazioni sono rapportati all'ambiente sociale in cui si inseriscono⁴². Sono queste caratteristiche unite alla centralità dell'organizzazione e del potere e alla scarsa importanza attribuita al comportamento razionale, che lo distinguono dall'impostazione neoclassica dell'economia. L'istituzionalismo è soprattutto un modo di ricercare

³⁹ *Ibidem*, p.89.

⁴⁰ U.Pagano, “Bounded Rationality, Institutionalism and The Diversity of Economic Institutions, F.Louca, M.Perman (eds), *Is Economics an Evolutionary Science?*, cit., p.106.

⁴¹ P.D.Bush, “The Theory of Institutional Change”, *Journal of Economic Issues*, 21, 1987, p.1076.

⁴² C.K.Winter e R.S.Harrison, “The Methodological Basis of Institutional Economics: Pattern Model, Storytelling and Holism”, *Journal of Economic Issues*, XII, 1978, pp.71-73.

negando l'esistenza di leggi universali nel comportamento dei soggetti economici, ma focalizzando l'attenzione sulle strutture dell'economia come sistema di interdipendenza generale. "Piuttosto che dire che si comprende o si spiega qualcosa quando lo si può predire, si dice che c'è una spiegazione di qualcosa quando si comprende il suo posto nell'insieme"⁴³. In altri termini "l'economia è parte di un ambiente naturale incorporato in un sistema di relazioni sociali e affetto da cambiamento tecnologico". Il sistema è aperto nel senso che in esso c'è un flusso di materia e energia in entrata e in uscita⁴⁴. Lo studio delle istituzioni economiche implica l'abbandono dell'ipotesi di considerare gli individui e i prodotti come unità di una massa indifferenziata.

Il corpo dello studio diventa il sistema economico: un sistema dinamico, aperto, non determinato, un sistema che sta al confine fra ordine e caos.

7. Fra i primi ad intuire l'importanza della Teoria Generale dei Sistemi per lo studio delle scienze economiche fu Kenneth Boulding. In realtà sia von Bertalanffy

⁴³ *Ibidem*, p.81.

⁴⁴ G.M.Hodgson, "What is the Essence of Institutional Economics?", *Journal of Economic Issues*, 34, 2000, p.323. Si veda anche, IDEM; "Economic Evolution: Intervention contra Pangloss", *Journal of Economic Issues*, 25, 1991, pp.527-528. IDEM, "The Approach of Institutional Economics", *Journal of Economics Literature*, 36, 1998, pp.166-170.

nel campo degli studi metodologici, sia Talcott Parsons e Thomas Merton nella sociologia, sia Prigogine nelle scienze fisiche, ed altri, avevano verificato quali risultati poteva portare questa teoria nel proprio campo di ricerche. Ma già negli anni Cinquanta del secolo scorso Boulding era parte attiva nella General Systems Society.

Per Boulding i sistemi hanno un diverso grado di complessità⁴⁵. Il primo livello è quello delle strutture statiche. Vi appartengono i modelli degli elettroni nell'atomo, gli atomi nella molecola, gli atomi in un cristallo, l'anatomia del gene, le cellule, le piante, l'animale, la Terra, il Sistema Solare, l'Universo. Vi è poi il livello dei sistemi dinamici semplici, i cui movimenti sono predeterminati. Tali sono il sistema solare, le macchine, gran parte delle strutture delle scienze fisiche, chimiche e dell'economia. Questi sistemi tendono ad una posizione di equilibrio. In caso contrario possono esplodere o implodere. Il terzo livello è quello della cibernetica, con controlli dei sistemi, ma anche con fenomeni di omeostasi. Il quarto livello è quello dei sistemi aperti cui appartengono i sistemi viventi, a cominciare dalle cellule: sono sistemi in grado di mantenersi e di riprodursi. Il quinto livello è

⁴⁵ K.E.Boulding, "General Systems Theory. The Skeleton of Science", *Management Science*, 2, 1956, pp.202-205.

quello delle piante, in cui le cellule sono differenti a seconda che siano collocate nelle radici, nel fusto, o nelle foglie. Alcune funzioni elementari sono percepite, come la differenza fra la luce e il buio, il caldo e il freddo, ecc.

Il livello successivo è quello del regno animale in cui vi è il movimento dei singoli organismi, l'autocoscienza, il possesso di organi per la vita, l'udito e la possibilità di assorbire informazioni. Vi è il sistema nervoso e il cervello e quindi la possibilità di organizzare immagini e di rispondere agli stimoli che queste immagini conferiscono. Queste facoltà sono diverse a seconda delle varie specie che dalle amebe arrivano fino ai primati. Il livello superiore è quello degli esseri umani, cioè di quegli animali che hanno l'autocoscienza. Sono capaci di parlare, hanno coscienza del tempo, delle relazioni sociali, della storia e della morte. Vi è poi il livello dell'organizzazione sociale che è talmente connaturata all'uomo, che l'uomo solitario praticamente non esiste. La società è un insieme di regole legate da un canale di comunicazioni. Infine c'è il livello trascendentale che è metafisico, e cioè al di là del mondo fisico. Vi sono cose non spiegabili, non conoscibili.

Naturalmente, come tutte le classificazioni, anche questa è discutibile, non fosse altro perché cinquanta anni di ricerca scientifica hanno modificato molte certezze

che allora venivano ritenute acquisite. Ad esse si è brevemente accennato quando si è parlato della mente.

Venti anni più tardi Boulding scrive un saggio in cui esplicita le sue idee sui sistemi e sull'evoluzione della società⁴⁶. Per Boulding l'origine dell'Universo con la teoria del Big-Bang è la conferma della legge dell'entropia e dell'esistenza di una freccia del tempo. Il processo evolutivo è solo l'inveramento nella materia di questa grande legge della natura. Ma l'evoluzione è un processo di cognizione. Lo sviluppo umano è un'estensione del modello di sviluppo che opera attraverso la mutazione e la selezione. La selezione crea nicchie e altre ne distrugge, ma il futuro non è prevedibile con esattezza. "La teoria evolutiva vede la storia come una rete interagente di specie e di relazioni di molte specie differenti, e non c'è veramente nessun "fattore guida" all'avanguardia. A volte, i cambiamenti di tecnologia sono i principali sviluppi delle mutazioni e creano nicchie per i cambiamenti sociali di varie specie. Altre volte, tuttavia, movimenti spirituali o intellettuali prendono la guida e creano nicchie per nuovi manufatti e tecnologie; talvolta cambiamenti climatici dominano la scena; o talvolta dominano le mutazioni biologiche come i batteri epidemici che causano le grandi pestilenze. La visione evolutiva non è

⁴⁶ K.E.Boulding, *Ecodynamics. A New Theory of Societal Evolution*, Beverly Hills, 1976.

favorevole al semplice riduzionismo o al materialismo. Essa vede l'essenza del processo evolutivo nel campo dell'informazione, del *know-how*, delle istituzioni programmate, e così via, e portano la specie umana alla consapevolezza e una grande espansione della conoscenza attraverso lo sviluppo del *know-what* che è conoscenza consapevole. Nel tempo si sono sviluppati sistemi di crescente complessità e quelli più complessi non possono essere descritti nei termini dei meno complessi. Ogni tentativo di ridurre le proprietà complesse degli organismi biologici o dei sistemi nervosi o dei cervelli umani a semplici sistemi fisici o dinamici, è folle”⁴⁷. Ci sono stati tre grandi processi evolutivi, quello fisico (la formazione della materia), quello biologico e quello della società. Gli ultimi due sono processi nel campo della complessità dell'informazione, e coinvolgono tre fattori, la conoscenza, l'energia e la materia⁴⁸. Ma la crescita della conoscenza è il fattore principale dello sviluppo umano. I processi cognitivi sono per Boulding nella stessa matrice della vita, nel DNA e lo sono anche nello sviluppo sociale. Qui si chiamano, organizzazione, istituzioni, tecnologia. L'interazione di tutti i fattori, compresi l'integrazione e lo scambio, l'energia e i materiali, forniscono l'elemento

⁴⁷ *Ibidem*, pp.19-20.

⁴⁸ *Ibidem*, pp.29-33.

dinamico della storia, e sono mescolati insieme in un intreccio che non si può sciogliere⁴⁹.

Nel 1985 Boulding riprende la vecchia classificazione a lui cara di tanti anni prima, approfondendone i concetti⁵⁰. Ma questa volta i sistemi sono essenzialmente tre: il sistema fisico, il sistema biologico e il sistema umano. Quest'ultimo è poi diviso in: sistema sociale, sistema economico, sistema politico, sistema comunicativo e sistema valutativo. Naturalmente l'interesse di Boulding è rivolto verso questi ultimi sistemi, ma è interessante seguire quali aspetti del sistema biologico sono rilevanti per il sistema umano. Anzitutto il concetto di nicchia. Ogni specie si afferma nel momento in cui trova una nicchia in cui poter nascere. In seguito tenderà a crescere occupando tutti gli spazi della nicchia, fino a quando i limiti esterni non ne fermeranno la crescita. Questi limiti sono climatici, fisici e genetici. Essi condizionano l'evoluzione della specie e, nel caso di eventi particolarmente catastrofici, anche la sua estinzione.

Invero, l'analisi dei sistemi umani di Boulding non è particolarmente rilevante, tolta l'enfasi con cui reitera l'aspetto della complessità dei sistemi sociali, l'incertezza dei sistemi economici e il rilievo dato al processo cognitivo nei sistemi

⁴⁹ *Ibidem*, pp.211-224.

⁵⁰ K.E.Boulding, *The World as a Total System*, Beverly Hills, 1985, pp.55-76.

valutativi e comunicativi. Anzi, sono proprio questi ultimi due sistemi la novità che Boulding introduce nell'analisi economica, almeno per quanto concerne i sistemi economici.

Boulding critica fortemente l'uso della matematica nell'analisi del sistema economico (“Un'algebra Cartesiana e un calcolo e una meccanica Newtoniana sono così appropriati al sistema sociale come la geometria Euclidea lo è alla fisica e alla cosmologia Einsteiniana” ⁵¹), così come nega la possibilità di fare previsioni accurate anche in presenza di sistemi ottimali di calcolo.

Anche Herbert Simon nega la possibilità di poter fare previsioni nei sistemi viventi. Ma il percorso con cui conduce l'esame del comportamento di questi sistemi, è diverso da quello di Boulding. Nelle moderne teorie evoluzioniste, afferma Simon, la sopravvivenza dei sistemi organizzati viene assicurata da due meccanismi: la variazione e la selezione ⁵². Così come in natura le variazioni genetiche fanno nascere nuovi organismi e la selezione naturale fa crescere quelli più adatti, così la razionalità umana fa nascere nuove soluzioni per i processi sociali e sceglie quelli più adatti a risolvere i problemi.

⁵¹ K.E.Boulding, *Towards a New Economics*, London, 1993, p.79.

⁵² H.A.Simons, *Reason in Human Affairs*, Oxford, 1983, p.39 e sgg.

Accanto ai processi evolutivi dei sistemi organizzati c'è un analogo percorso dei modelli culturali, poiché una società in cui vi è una forte capacità di trasmettere cultura può elaborare modelli più complessi e più efficienti, sia nella sopravvivenza (comportamenti sociali) sia nella crescita (comportamenti riproduttivi).

Una cultura che ha memoria ed è il prodotto di un lungo processo evolutivo, spesso acquisisce flessibilità e con ciò la capacità di un più rapido cambiamento e di una maggiore adattabilità ai perturbamenti esterni, e con ciò la possibilità di avere successo anche a spese delle altre società. Mentre nei sistemi biologici questo processo avviene secondo meccanismi casuali ("darwiniani"), nei sistemi sociali l'evoluzione culturale è tipicamente lamarckiana. Ogni società è impegnata a perseguire un accrescimento della conoscenza (cioè della scienza), e un miglioramento della tecnologia. E questo nella competizione per sopravvivere può essere un vantaggio importante. Così come un vantaggio è avere istituzioni politiche, sociali e economiche stabili. Ciò favorisce la possibilità di avere un ambiente circostante che ci dà garanzie di un comportamento prevedibile e quindi rende possibile un comportamento dei soggetti più razionale.

Simon si sofferma anche sul problema della gerarchia nei sistemi complessi, rilevando che essi si trovano indifferentemente sia nei sistemi fisici, che in quelli

chimici, biologici e sociali. La loro caratteristica è che la loro stessa esistenza all'interno dei sistemi facilita l'evoluzione e la sopravvivenza della complessità⁵³.

Anzi, la complessità prende la forma della gerarchia e gran parte dei sistemi complessi esistenti in natura possiedono strutture gerarchiche⁵⁴.

Anche se in Simon è presente un forte richiamo ad una visione evuzionistica del processo sociale, non vi è mai una critica alla costruzione neoclassica, in particolare alla negazione di un problema dell'informazione, che è centrale a tutti gli esseri viventi, e che viene proposto come "tutti hanno perfetta conoscenza" oppure "il mercato incorpora nel processo della merce tutte le conoscenze". La differenza fra lo schema neoclassico e l'economia evuzionista si presenta così come contrapposizione in tutta una serie di ipotesi. Mentre Boulding identifica negli operatori economici una perfetta conoscenza delle informazioni, per Simon l'informazione è limitata e imperfetta; mentre per il primo le istituzioni sono limiti alle libere forze del mercato, per gli evuzionisti sono strumenti per lo sviluppo e il cambiamento tecnologico. Ed ancora, i neoclassici cercano l'equilibrio della forza del mercato come convergenza fra le parti in un punto unico, mentre gli economisti

⁵³ H.A.Simon, *Models of Discovery*, Dordrecht, 1988, p.245-6.

⁵⁴ H.A.Simon, "The Architecture of Complexity", *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106, 1962, pp.467-482.

evoluzionisti intendono il processo economico in situazioni lontane dall'equilibrio; la tecnologia è per i neoclassici misurata come investimento in capitali, per i secondi è un sistema; il processo di determinazione delle entità è un sistema chiuso e completo per i neoclassici, è invece un sistema aperto e indeterminato per gli evoluzionisti⁵⁵.

Per quanto riguarda l'informazione, per i neoclassici è una entità astratta, presente nel mercato, a costo zero, accessibile a tutti e di cui tutti hanno un totale possesso. Per gli evoluzionisti l'informazione è la natura stessa degli esseri viventi, ottenibile con uso di energia e capace di produrre esiti non prevedibili. La tecnologia, che è uno dei risultati principali del processo informativo, è un elemento residuale nella funzione di produzione neoclassica (dopo il lavoro o il capitale), è invece fattore principale nei processi evolutivi, che possono essere descritti come "flussi di informazione". E questa è certamente una delle differenze principali nelle due visioni dei sistemi economici.

⁵⁵ N.Clark, "Some New Approaches to Evolutionary Economics", in *Journal of Economic Issues*, 22, 1988, pp.511-531.

8. Come scriveva Mirowski in una lunga recensione al saggio di R.R.Nelson e S.G.Winter, *An Evolutionary Theory of Economic Change*⁵⁶, questo rappresentò un “distacco epocale dalla teoria ortodossa”⁵⁷. Infatti era “il primo libro a rivelare la grande complessità e le potenziali ricchezze dell’applicazione della metafora della selezione naturale alla teoria economica”⁵⁸. I due autori dichiararono apertamente l’assunzione di tre idee base della biologia, come la “selezione naturale”, la “genetica organizzativa” e la “teoria evoluzionistica”⁵⁹.

La teoria ortodossa (“neoclassica”) prevede che le imprese operino nei mercati anzitutto cercando di massimizzare i profitti e in secondo luogo di agire in un mercato in equilibrio, cioè in un mercato in cui i prezzi siano non superiori ai costi di produzione. Queste ipotesi non tengono conto di due possibilità del mercato, e cioè che nuovi prodotti possano destabilizzare l’equilibrio nel settore in cui opera

⁵⁶ Cambridge (Mass), 1982.

⁵⁷ P.Mirowski, “An Evolutionary Theory of Economic Change: A Review Article”, *Journal of Economic Issues*, 17, 1983, p.757. Peraltro la recensione è fortemente negativa, e verso la fine smentisce anche questa affermazione iniziale. Questo saggio era stato preceduto da una serie di articoli dei due autori. Fra questi sono particolarmente rilevanti: R.R.Nelson e S.G.Winter, “Neoclassical vs Evolutionary Theories of Economic Growth: Critique and Prospectus”, *The Economic Journal*, 84, 1974, pp.886-905; IDEM, “Alla ricerca di una valida teoria dell’innovazione”, in C.Freeman et al. *Paradigmi Tecnologici: Saggi sull’economia del processo tecnico*, trad.it., Milano, 1986, (ma il saggio è del 1975).

⁵⁸ *Ibidem*, p.765.

⁵⁹ R.R.Nelson e S.G.Winter, *An Evolutionary Theory*, cit., p.9.

l'impresa o in un settore tale che comunque modifichi la domanda dell'impresa stessa, oppure che l'innovazione tecnologica renda rapidamente obsoleto il processo produttivo precedente ⁶⁰.

Nel formulare la loro *Evolutionary Theory* Nelson e Winter assumono liberamente molte ipotesi dalla teoria dello sviluppo economico di Schumpeter. Anzi, come essi stessi affermano, "l'influenza di Joseph Schumpeter è così pervasiva, nel nostro lavoro, che richiede qui una menzione particolare. Infatti, il termine "neo-schumpeteriano" sarebbe una attribuzione appropriata al nostro intero approccio, così come quella di "evoluzionistica". Più precisamente sarebbe ragionevole dire che noi siamo teorici evoluzionistici perché siamo neo-schumpeteriani, perché le idee evoluzioniste prevedono un approccio praticabile al problema di elaborare e formalizzare l'idea Schumpeteriana del capitalismo come una macchina di cambiamento progressivo" ⁶¹.

I concetti su cui si fonda la "teoria evoluzionista del cambiamento economico" si può sintetizzare in alcuni punti fondamentali. Anzitutto la capacità manageriale a produrre ciò che si intende produrre e ad organizzare l'impresa allo scopo. Si tratta,

⁶⁰ *Ibidem*, pp.5-33.

⁶¹ *Ibidem*, p.39.

in questo caso, di lavoro di *routine* che riguarda la gestione normale dell'azienda. In secondo luogo l'azienda opera, come nell'ipotesi neo-classica, in un mercato statico. Si noti che questi concetti corrispondono, in biologia, a quelli di "organismi funzionanti" e di "nicchie".

In questo mercato stazionario si introduce una situazione dinamica che modifica l'equilibrio. In biologia si parlerebbe, in questo caso, di un mutamento nelle condizioni esterne dell'ambiente che provocano un mutamento genetico. Le imprese che riescono a modificare le tecniche di produzione o i loro prodotti (geni) sopravvivono, quelle che non ci riescono falliscono e scompaiono. Le imprese sono organizzazioni complesse e in continua trasformazione e la loro analisi si presenta altrettanto complessa. Il problema della previsione diventa molto difficile poiché non si possono formulare ipotesi *sic stantibus rebus*. Le "cose" non stanno mai, ma si evolvono sempre. Come scrivono Nelson e Winter "Nella nostra analisi scompare il concetto di ottimo sociale. Invece occupano una posizione centrale le nozioni che la società dovrebbe impegnarsi in esperimenti, e che l'informazione e il ritorno da

questa sperimentazione sono la preoccupazione principale nel guidare l'evoluzione del sistema economico”⁶².

Il processo di sviluppo economico si viene a conformare al meccanismo di selezione lamarckiano, per cui solo chi sa trasformarsi sopravvive. Naturalmente le possibilità di cambiamento sono molte e la scelta di quella corretta non può avvenire con certezza del risultato. Sul mercato sono spesso disponibili tecnologie alternative e non sempre quella che sembra la scelta migliore nel tempo breve è quella vincente nel tempo lungo. Ma questo non si può sapere prima. Il giudice della sopravvivenza è il mercato e lo strumento che consente alle imprese il cambiamento genetico è la ricerca. L'ambiente circostante l'azienda non è solo il mercato, ma anche il complesso delle istituzioni politiche, economiche e sociali.

Queste tendono a fornire all'impresa sia un mercato ben regolato e libero, sia una forza lavoro con una cultura e una capacità di proporre continuamente ipotesi di possibili innovazioni, sia, infine, un mercato dei capitali, una disponibilità di materie prime, un sistema di trasporti e un sistema di comunicazioni, tali da mettere le imprese in condizioni di esplicare la loro attività nel modo migliore.

⁶² *Ibidem*, p.402.

Per mercato non si deve intendere il termine nel suo stretto significato. Esso infatti è collegato ai centri di ricerca scientifica e di nuove tecnologie, ai centri di creazione di nuove leggi che producono una maggiore efficienza economica. Un mercato “reale” non scaturisce da un sistema di leggi, ma si forma da un insieme di interessi politici, ed economici che influenzano la formazione delle leggi. “E’ chiaro che comunque, nelle nazioni industriali avanzate, si sono formati meccanismi che hanno fatto sì che una coevoluzione di tecnologia, organizzazione industriale e istituzioni si siano mosse in direzioni che hanno portato ad un progresso economico sostenuto. Azioni private che hanno portato all’ “auto-organizzazione” sono state parte della storia, ma lo è stata anche l’azione collettiva (...). Tuttavia pare che ci siano forze che formino o girino attorno a direzioni particolari della evoluzione delle istituzioni, forze che se agissero per lungo tempo sarebbero disastrose. Forti cambiamenti nelle necessità di gruppi grandi e potenti vengono seguiti da cambiamenti nella direzione della evoluzione istituzionale verso quelle che meglio riflettono il cambiamento delle loro necessità”⁶³.

⁶³ R.R.Nelson, “Recent Evolutionary Theorizing about Economic Change”, *Journal of Economic Literature*, 33, 1995, p.83.

Nelle parole di Nelson emerge ad un tempo la posizione cruciale del problema istituzionale nel processo di sviluppo economico ed anche la grande difficoltà di studiare con i metodi dell'economia classica i fenomeni complessi. E tuttavia l'evoluzione del sistema istituzionale sta comunque al centro del processo di sviluppo dell'economia.

9. Una interpretazione del principio di sopravvivenza del più adatto, ovvero della selezione naturale, suggerisce che i comportamenti e le istituzioni che sopravvivono e si affermano nella società sono in quanto tali i più adatti: cioè la loro stessa sopravvivenza è la prova della capacità a sopravvivere. Queste paiono essere le conclusioni di economisti come Milton Friedman e Friederick Hayek o anche di istituzionalisti come Douglass North e Oliver Williamson.

In realtà la natura è un sistema molto complesso e non è lecito ridurre il suo comportamento a una "legge". Anzitutto il determinismo settecentesco, quello Laplaciano, ha affermato una metodologia che nell'Ottocento ha permeato tutte le scienze fisiche. Ma nelle scienze biologiche nel XX secolo è gradualmente prevalsa l'ipotesi evuzionista. Gran parte dei comportamenti della natura sono caotici e, come tali non ne è prevedibile l'esito. Inoltre, anche se alcuni fenomeni danno

luogo per qualche tempo a comportamenti prevedibili e non caotici, in ogni momento si può pervenire ad una biforcazione , il cui esito è impossibile da prevedere. Naturalmente alle difficoltà di previsione si aggiunge la difficoltà di delineare un comportamento razionale unitario. Come si è accennato, all'ipotesi di un uomo che agisce razionalmente per il proprio interesse, si è sostituito un meccanismo di conoscenza e di giudizio più complesso in cui entrano in gioco i fondamenti biologici ereditari, la propria esperienza storica, l'ambiente entro cui il soggetto vive. Tutto questo, unito ad una "razionalità limitata" fa sì che ogni individuo abbia una propria razionalità e che quindi le sue azioni non siano predeterminabili. Anche l'oggetto del conoscere ha una notevole indeterminazione. L'evoluzione delle società porta con sé un processo che ha fenomeni di retroazione, ha sbocchi casuali, ha impatti imprevedibili sull'ambiente.

Nella complessità della natura la scienza, a cominciare dal XVII secolo, ha cercato di far luce attraverso l'atomismo e il riduzionismo. Con il primo principio ha cercato di analizzare le particelle elementari della materia vivente, i geni, per ottenere risposte valide per tutto l'organismo. Questo è, ad esempio, il significato del lavoro di due biologi come Richard Dawkins e John Maynard Smith. Per essi non è il fenotipo a decidere il comportamento dell'organismo, ma il gene stesso.

All'obiezione che non è la somma delle particelle a costruire un certo organismo, ma la loro posizione e la loro funzione, si è ricorsi al riduzionismo. Per esso si sono ridotte le possibilità di scelta a due diverse ipotesi, cosicchè è stato possibile, creando un sistema di equazioni a due variabili, porre l'intero processo in un insieme pre-ordinato di movimenti lineari e integrabili.

Un processo analogo è stato effettuato per l'analisi del sistema economico. Scrive Hodgson, "l'intrusione della teoria del caos nell'economia ha messo in crisi l'idea generale che l'economia può procedere semplicemente col criterio delle "corrette predizioni". Con modelli non-lineari, i risultati sono molto sensibili alle condizioni iniziali e perciò predizioni attendibili sono impossibili per quanto riguarda periodi di tempo lontani. In particolare, la teoria del caos ha confuso i teorici delle aspettative razionali mostrando che anche dove molti agenti conoscono la struttura di base del modello economico, in generale non possono derivare previsioni attendibili dei risultati e perciò di significative "aspettative razionali" sul futuro"⁶⁴.

⁶⁴ G.M.Hodgson, *Economics and Evolution, cit.*, p.239.

La complessità dei sistemi viventi è tale, che, mentre è possibile studiare singoli casi specifici, non è possibile formulare una teoria generale.⁶⁵ Come affermano i biologi, il fatto che i sistemi viventi siano sistemi organizzati implica che la stessa entità collocata in diversa posizione abbia una diversa caratteristica ed agisca, una volta assemblata, con diversi risultati. In altri termini, la complessità dei fenomeni viventi è tale che una loro riduzione a sistemi meccanici, quindi dal risultato prevedibile, non è possibile. La natura è talmente ricca di diversità che non la si può ridurre a processi semplificati.

Le istituzioni costituiscono un momento fondamentale nella formazione del sistema della società umana. Sono lo strumento principale per la conoscenza dei fenomeni e per la trasformazione della formazione in conoscenza. Ad esempio, una massa di persone può divenire una classe sociale, o un corpo militare, o un corpo elettorale, o un partito politico, o una massa di tifosi di una squadra di calcio, non in relazione alla loro quantità, ma all'istituzione cui fanno riferimento. Così una massa

⁶⁵ *Ibidem*, p.241. "Per stabilire le dimensioni delle difficoltà analitiche, ci si rivolga al caso 'meno complesso' del problema dei tre corpi nella meccanica. Mentre questo problema è stato risolto per due corpi, le equazioni differenziali che risultano applicando queste leggi ai tre corpi, sono così complicate che una soluzione generale non è stata trovata. Invece, soluzioni parziali sono state ottenute rivolgendosi ad approssimazioni o limiti di varie specie, così come l'assunzione che un corpo ha una massa trascurabile. Dunque le soluzioni matematiche non possono essere trovate a configurazioni del primo livello di complessità, che riguarda i tre corpi".

di denaro può divenire denaro contante, o risparmio, o capitale, a seconda della istituzione finanziaria cui fa riferimento. In altri termini è l'istituzione che conferisce all'oggetto la sua qualificazione. Senza l'istituzione i fenomeni economici non hanno significato, ed è dunque di estremo interesse il tipo di istituzioni che si sono create in una società, così come lo scheletro è decisivo nella configurazione della natura di un vertebrato.

Le istituzioni sono strutture sociali storiche. Come tali sono in continua evoluzione. Ma sono anche gli elementi che riescono a organizzare e collocare i fenomeni caotici che ogni giorno avvengono. Senza istituzioni non vi è mutamento economico, nè vi è mutamento tecnologico. Così ogni società sarebbe paralizzata in continue convulsioni. Lo stesso fenomeno informativo che è all'origine della vita degli organismi come delle cellule, non potrebbe divenire conoscenza. E il sistema sociale non acquisirebbe alcun processo di crescita.

Anche l'unità elementare del processo produttivo moderno, l'impresa, è un'istituzione: un'istituzione inserita in un contesto istituzionale. Essendo l'impresa un organismo sociale, è provvista di strumenti di ricezione di informazioni, di elaborazione e di perseguimento di obiettivi. Questi sono ovviamente la sopravvivenza, ma vi sono anche altri obiettivi propri del tessuto istituzionale in cui

sono inseriti. Lo studio dell'impresa nei suoi aspetti istituzionali è quindi elemento fondamentale dello studio dell'economia.

CAPITOLO IV

BIOECONOMIA: UN'ECONOMIA PER L'ECOSISTEMA

1. “Abbiamo definito Gaia come un'entità complessa, comprendente la biosfera della Terra, l'atmosfera, gli oceani e il suolo, l'insieme costituendo una retroazione (*feedback*) o un sistema cibernetico che cerca un ambiente fisico ottimale per la vita su questo pianeta. Il mantenimento di condizioni relativamente costanti mediante una regolazione attiva può essere adeguatamente descritto con il termine di “omeostasi”...Se Gaia esiste, il suo rapporto con l'uomo - che è la specie animale dominante nel complesso sistema vivente - nonché l'equilibrio suscettibile di spostamento, sono questioni di ovvia importanza”¹. Così scriveva Lovelock nel 1979, in quegli anni settanta che sono stati così importanti per le teorie che hanno portato ad una migliore comprensione della natura. La Terra appare come un sistema aperto, evolutivo, (come viene identificato da Prigogine), in cui per la legge di entropia il costo di ogni attività biologica o economica è maggiore del suo

¹ J.E., Lovelock, *Gaia. Nuove idee sull'ecologia*, trad.it, Torino, 1981, pp.24-25.

prodotto, (come scrive Georgescu-Roegen). La produzione dell'uomo non deriva dal capitale e dal lavoro, come affermano gli economisti neoclassici, ma da sistemi conoscitivi propri dell'ambiente naturale, e da materia-energia ². I sistemi conoscitivi sono di gran lunga l'elemento principale nel processo produttivo, e sono quelli che ci consentono di creare le macchine o scegliere le materie prime. Un sistema produttivo che ha visto distrutte le proprie macchine, si ricostruisce rapidamente, se conserva un fondamento di conoscenze ³. Così è successo nel caso di Germania e Giappone, dopo il 1945, ed invece non sta succedendo, per mancanza di conoscenza specifica, nella Nigeria, produttrice di petrolio e quindi abbondante di capitali. In realtà, solo chi è in grado di ottenere il massimo di energia per utilizzarlo nella competizione con altri sistemi produttivi può raggiungere maggiori livelli di produzione ⁴. Nei sistemi aperti, infatti, l'impiego di nuove macchine può generare un processo di retroazione positivo.

Alfred Lotka sostenne che la lotta per la sopravvivenza si poteva definire anche come una lotta per la cattura di una quantità maggiore di energia, che il processo

² J.A.Swaney, "Economics, Ecology, and Entropy", *Journal of Economic Issues*, 19, 1985, p.859.

³ K.E.Boulding, "The Economics of the Coming Spaceship Earth", in R.Costanza, C.Perrings, C.J.Cleveland (eds), *The Development of Ecological Economics*, Cheltenham, 1997, p.6.

⁴ P.P.Christensen, "Historical Roots for Ecological Economics. Biophysical versus Allocative Approaches", *Ecological Economics*, 1, 1989, p.18.

evolutivo con le leggi della termodinamica, trasformava tutti gli esseri viventi in trasformatrici di energia e che veniva favorito chi massimizzava il flusso di energia a proprio vantaggio ⁵. Fu proprio Alfred Lotka lo studioso che più di ogni altro, negli anni venti, trenta e quaranta del Novecento, cercò di analizzare il rapporto fra l'entropia e la formazione degli ecosistemi ⁶.

Lotka affermò con decisione che il processo evolutivo sia degli organismi che degli ecosistemi è irreversibile e che la sua direzione porta ad una crescente organizzazione, in cui questo termine significa sia aumento di diversità, sia di dimensioni, ma anche della capacità di moltiplicarsi rapidamente. La lotta per la sopravvivenza, ed anche la creazione di una nicchia, dipende molto spesso dall'energia che una specie o un ecosistema riescono a immagazzinare. Il risultato di questa lotta è dunque un aumento del flusso di energia attraverso il sistema che, a sua volta, subirà un incremento della sua massa vivente. Infatti, se supponiamo che in un certo territorio la produzione di grano improvvisamente raddoppi, ciò consentirà di alimentare il doppio di animali che aumenteranno ancora la quantità di grano prodotto. Dunque la selezione naturale incrementa la massa organica del

⁵ R.Costanza, "Introduction", in R.Costanza, C.Perrings, C.J.Cleveland, *The Development of Ecological Economics*, Cheltenham, 1997, p.12.

⁶ A.Lotka, "The Law of Evolution as a Maximal Principle", in *Human Biology*, 17, 1945, pp.170 e sgg.

sistema e il flusso di energia tende al suo massimo, compatibilmente coi limiti del sistema. In queste condizioni le specie che riescono a incorporare più energia (le piante) o ad appropriarsene in quantità maggiore (gli uomini) sono quelli che crescono di più. Come scrive Lotka, "E' con questo largo concetto, che abbiamo visto l'evoluzione della vita nel nostro pianeta come cambiamento della distribuzione della materia fra le varie specie organiche e il loro ambiente inorganico. Nessun trattamento può essere efficace se non dà un posto preminente alla competizione per il cibo e l'energia fra le diverse specie organiche, in relazione alle caratteristiche psichiche e alle proprietà dinamiche che l'organismo singolo possiede per gestire la competizione. Dobbiamo inoltre riaffermare che la formulazione della legge dell'evoluzione deve essere posta in termini di sistemi in evoluzione nella loro interezza, e che essa non può essere adeguatamente espressa con riferimento ad una sola componente come una specie singola. E' il sistema intero sotto il flusso dell'energia leggera ricevuta dal Sole che evolve. E' nelle attività collettive e negli effetti sugli organismi che dobbiamo guardare per una indicazione della direzione dell'evoluzione. Questi effetti collettivi tendono a massimizzare da un lato la cattura di energia di natura organica del Sole, e dall'altro l'uscita di energia libera dai processi dissipativi negli organismi vivi e morti.

L'effetto netto è la massimizzazione in questo senso del flusso di energia attraverso il sistema della natura organica”⁷.

Lotka ebbe una grande influenza nelle scienze biologiche del suo tempo ed in particolare su Vladimir Vernadsky. Dobbiamo infatti a questo naturalista russo sia l'inizio dell'epistemologia della complessità, sia una visione olistica della natura, sia una concezione dell'unità della biosfera⁸. Vernadsky, che anticipò di cinquanta anni l'idea di Gaia di Lovelock, concepiva la biosfera come un organismo vivente, come un tutto unico che non si poteva studiare coi sistemi della chimica tradizionale. Egli aveva una grande fiducia nella capacità della biosfera di adattarsi alle condizioni fisiche che mutavano, sia che cambiassero le condizioni climatiche, sia che agenti interni potessero provocare danni eccezionali. La vegetazione aveva lo scopo di ritardare il processo di entropia, come una massa in grado di accumulare e trasformare energia. Vernadsky descrisse l'utilizzo chimico dell'energia solare da parte delle piante, la funzione dei batteri nel mantenere in vita le piante, il ciclo dell'acqua, dell'azoto, del carbonio. Tutta la sua opera era piena di ammirazione per la complessità della natura e non cedette mai alla tentazione di esaminare

⁷ *Ibidem*, p.194.

⁸ V.Vernadsky, *La biosfera*, trad.it, Como, 1993, prima ed.Parigi, 1923.

separatamente le varie parti della natura. Come Lotka, anche Vernadsky scriveva “L’uomo, come in generale tutto ciò che è vivente, non costituisce un oggetto a sé, indipendente dall’ambiente circostante. Tuttavia perfino gli scienziati naturalisti del nostro tempo spesso non tengono conto di questo fatto e contrappongono l’uomo medesimo, e l’organismo vivente in generale, all’ambiente in cui vivono”⁹. Ma nella sua lunga ricerca sulla natura esaminò anche i problemi specifici della vita sulla Terra. Dopo Podolinski e insieme a Lotka, Vernadsky fu fra quelli che si soffermarono di più sul problema dell’importanza dell’energia nel processo di sviluppo degli ecosistemi. Da lui e da Lotka si sviluppò una scuola che avrebbe influenzato largamente il pensiero degli ecologisti.

2. Negli anni settanta, Howard T. Odum, in un saggio, riprese la tesi di Lotka e Vernadsky, affermando che l’energia è la fonte del valore delle merci, e che l’accesso alle fonti energetiche migliori fornisce un vantaggio comparativo in chi le possiede¹⁰. La teoria energetica di Odum è stata fortemente contrastata dagli

⁹ V.I Vernadsky, *Pensieri filosofici di un naturalista*, trad.it, Roma, 1994, p.5. Si veda anche, IDEM, “L’autotrophie de l’humanité”, *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 36, 1925, pp.494-502.

¹⁰ C.J.Cleveland, “Biophysical Economics: Historical Perspective and Current Research Trends”, in *Ecological Modelling*, 38, 1987, p.58.

economisti, per cui è stato sottovalutato un' importante serie di ricerche sul problema dell'energia nella vita economica, che avrebbe avuto un impatto non indifferente sulla comprensione del processo economico. La disponibilità di energia è la condizione di sopravvivenza degli esseri viventi. Senza di essa un organismo muore, diventa materia amorfa. Tutti i processi organizzativi, evolutivi, di sviluppo, cognitivi degli esseri viventi avvengono in presenza di consumo di energia, cioè di produzione di entropia. Come si è specificato nel capitolo III, il processo vitale avviene in presenza di emissione di entropia dall'energia ricevuta dall'ambiente esterno.

Gli ecosistemi sono insiemi organizzati di organismi. Essi vivono al limite del caos, come tutti i sistemi complessi aperti, ovvero dissipativi. Il processo di trasferimento energetico da una specie all'altra avviene attraverso un movimento complesso fisico-chimico. L'energia solare viene utilizzata dalle piante per assorbire anidride carbonica, che viene scissa in ossigeno e carbonio tramite l'acqua che le piante trovano al suolo, ove alcune specie di batteri fissano l'azoto. La pianta libera ossigeno nell'aria e questo serve agli animali, che a loro volta utilizzano il carbonio delle piante, per combinarlo in zuccheri che sono una delle fonti principali dell'alimentazione animale. Dalle piante gli animali prendono altre sostanze, quali i

minerali, le vitamine e le proteine. Ma gli animali erbivori vengono a loro volta utilizzati per il rifornimento di energia dagli animali predatori i quali prendono da questi l'energia necessaria. Piante e animali lasciano, come prodotti di scarto, i rifiuti che vengono utilizzati dagli animali necrofori e dai batteri che a loro volta iniziano la nuova catena alimentare. Questo circolo però non si può effettuare se non c'è un processo di immissione di energia e, come si è visto, una produzione di entropia.

In questo sistema l'arrivo dell'uomo ha avuto recentemente un impatto molto forte. Come è noto, l'uomo, a seconda del proprio peso e della propria attività consuma dalle 1.300 alle 2.500 kcal al giorno. Ma già l'introduzione del fuoco porta i consumi a 4.000 kcal. In una società agricola l'uomo consuma 12.000 kcal e in una società agricola avanzata arriva a 70.000 kcal. In una società industrializzata un uomo consuma 230.000 kcal al giorno e il consumo continua a crescere ogni anno¹¹. Su base annua il consumo di energia ha raggiunto i 32 milioni di kcal annue. In tutto, nel 1974 l'umanità consumava 3 per 10 elevato alla sedicesima potenza kcal

¹¹ Questi dati e quelli che seguono sono tratti da J.De Rosnay, *Il Macroscopio. Verso una visione globale*, trad. it., Milano, 1978, p.180 e sgg. Questo volume, difficilmente trovabile, mi fu segnalato da un mio amico l'arch. Giuseppe Pavani che è scomparso un anno fa e che voglio qui ricordare caramente anche per le numerose discussioni che avemmo sui problemi ecologici, lui che dell'ecologia aveva fatto una ragione della sua breve vita.

all'anno. Fortunatamente dal Sole ne arrivano quasi 100 volte di più. Ma il problema è come riuscire a catturarle.

Un ettaro di terreno coltivato produce 30 milioni di kcal, ben al di sopra dei 4,3 milioni di calorie consumate nella società contadina. Ma in una società industriale occorre coltivare 8 ettari di terra per mantenere un americano o un europeo.

Il problema del rifornimento energetico e della produzione di entropia è quindi il primo grande problema che deve affrontare ogni analisi dell'ecosistema. Il secondo grande problema è quello dei cicli di alcuni elementi della natura: il ciclo dell'acqua, il ciclo del carbonio, il ciclo dell'ossigeno, il ciclo dell'azoto e il ciclo dello zolfo. I cicli della natura sono i cicli stessi della condizione dell'esistenza della vita. Senza la loro continua riproduzione mancherebbe l'elemento chimico-fisico la cui presenza crea le condizioni di clima che permettono la produzione di alimenti, la vivibilità dell'atmosfera, la crescita delle piante, "il respiro della natura". Così viene definito il variare nel corso dell'anno della concentrazione dell'anidride carbonica nell'atmosfera, essa scende in estate e aumenta in inverno, con l'aumentare del consumo dei combustibili fossili (gran parte della popolazione mondiale vive nell'emisfero nord del pianeta). Ma questo "respiro" registra anche

negli ultimi due secoli l'incremento di questo gas, da 270 parti su un milione in età preindustriale a 365 parti oggi ¹².

Il ciclo dell'azoto è ugualmente importante, poiché di azoto si nutre il regno vegetale. Questo tuttavia non lo preleva dall'aria, ma lo utilizza solo nella forma di nitrati, prodotti da alcune piante come le leguminose, e fissati da alcuni batteri. Il ciclo prevede uno scambio continuo fra aria e terra di ossidi di azoto con nitrati di azoto. Il ciclo del fosforo si forma con la deposizione del fosforo nella terra attraverso le ossa, e la sua assunzione da parte degli animali attraverso gli alimenti vegetali. Il ciclo dello zolfo nasce con la produzione di ossido di zolfo da parte dei vulcani, la sua decomposizione tramite i batteri e il suo utilizzo da parte delle piante e nelle benzine ¹³. Ma l'eccesso di immissione nell'atmosfera di fosforo, zolfo e azoto ha causato nell'ultimo secolo il fenomeno delle piogge acide e ha contribuito al peggioramento della composizione dell'aria.

Il problema, come si è accennato, non è quello della presenza di questi minerali nella terra, nell'acqua o nell'aria, ma della loro quantità. Il grande aumento di

¹² J.T.Volk, *Il corpo di Gaia*, trad.it, Torino, 2001, p.18 e sgg. Gran parte dei manuali di ecologia trattano il problema dei cicli della natura. Cfr. R.E.Ricklefs, *Economia della natura*, trad.it, Bologna, 1976; S.Pignatti, B.Trezza, *Assalto al pianeta*, Torino, 2000; A.De Marchi, *Ecologia funzionale*, Milano, 1992; E.P.Odum, *Ecologia*, trad.it., Padova, 2001.

¹³ E.P.Odum, *Ecologia, cit.*, pp.127-135.

consumo che la società moderna ha portato sia nell'industria, che nell'agricoltura (soprattutto azoto e fosforo) hanno contribuito a creare un grande problema di compatibilità ¹⁴. Ma in ogni caso va tenuto presente che il sistema Gaia e i suoi vari ecosistemi sono realtà complesse, in grado di modificarsi e di avere processi di retroazione, così come si è più sopra specificato. Il dato sulla quantità di un singolo elemento non è mai di per sé decisivo, se non lo si rapporta all'ecosistema cui si riferisce. E questo rende ogni valutazione più difficile.

3. La struttura e il funzionamento di un ecosistema sono determinati dall'organizzazione dei rapporti fra gli organismi presenti e il loro ambiente. Essendo tali rapporti governati da sinergie di retroazione, essi sono non-lineari. E' la forza dell'energia solare la motrice del sistema, ma è l'abilità di auto-organizzazione a determinare la capacità a rispondere agli eventi esterni, causati dalla predazione, dall'inquinamento e dall'azione dell'uomo. L'importanza della biodiversità sta nel suo ruolo di custode della resistenza dell'ecosistema al cambiare delle condizioni esterne ¹⁵. Inoltre la diversità nell'ecosistema si accompagna alla

¹⁴ R.Molesti, *Economia dell'ambiente*, Pisa, 1988, p.9 e sgg.; R.Molesti (ed), *Economia e ecologia*, Pisa, 1995, pp.7-12.

¹⁵ C.Perrings et al. (eds), *Biodiversity Loss. Economic and Ecological Issues*, Cambridge, 1994.

presenza di alcuni gruppi di organismi che guidano il funzionamento dell'ecosistema e la cui scomparsa può portare ad una crisi profonda dell'ecosistema stesso.

Le strutture di un ecosistema sono gerarchiche, il che conferisce agli ecosistemi una diversa capacità di elasticità a seconda delle diverse funzioni delle singole parti. La diversità funzionale deriva dalle interazioni fra le strutture materiali (come piante, animali, terra, acqua, aria) e i processi ¹⁶. Questi ultimi organizzano la trasformazione della materia e dell'energia fra esseri viventi e materiali inerti, e le interazioni fra sistemi idrologici e geomorfici con la fotosintesi, la faunae la flora. Essi inoltre producono servizi a funzioni quali la fertilità del suolo, l'assimilazione dei rifiuti, l'impollinazione delle piante. La diminuzione della biodiversità è dovuta al continuo incremento di alcune specie, che hanno invaso ogni spazio, quando non l'hanno ridotto a monocoltura. La biodiversità è legata all'integrità e alla elasticità dei sistemi complessi ed è difficile misurarla.

Negli ecosistemi i cambiamenti non sono continui e gradual, ma piuttosto casuali e esterni. In essi non vi è un solo equilibrio possibile, ma vi sono vari

¹⁶ P.Nunes, J.van den Bergh, P.Nijkamp (eds), *The Ecological Economics of Biodiversity*, Cheltenham, 2003, pp.11 e sgg.

equilibri che variano nel tempo a seconda del mutare delle condizioni strutturali. Così gli ecosistemi “sono obiettivi mobili, con molte ipotesi future che sono incerte e imprevedibili”¹⁷. Anche la biodiversità gioca un ruolo a volte centrale, a volte marginale, a seconda della diversa struttura dell’ecosistema. Scrive Holling “Quantunque ogni cosa potesse infine essere connessa a ogni altra cosa, se la rete delle connessioni è sufficientemente ampia, le prime interazioni che strutturano maggiormente il sistema sembrano essere confinate ad un piccolo numero di variabili biotiche e abiotiche le cui interazioni formano la griglia o le nicchie che permettono una grande diversità di esseri viventi...Queste specie sono influenzate dall’ecosistema, ma non influenzano in misura notevole, a loro volta, l’ecosistema, almeno nei modi che i nostri relativamente grezzi metodi di misura possono riscontrare. Dunque, in ultima istanza, le specie possono essere viste o come “guidatori”, o come “passeggeri” sebbene questa distinzione debba essere trattata con cautela”¹⁸. Diverso il caso in cui una specie fondamentale viene colpita da un cambiamento radicale di un ecosistema e la trasformazione di questo in un diverso ecosistema. Quindi solo alcune specie e processi sono fondamentali nel formare la

¹⁷ C.S.Holling et al., “Biodiversity in the Functioning of Ecosystems: an Ecological Synthesis”, in C.Perrings et al., *Biodiversity Loss*, cit., p.60 e sgg.

¹⁸ *Ibidem*, p.67.

struttura e il comportamento degli ecosistemi, anche se gli ecosistemi sono composti da un grande numero di specie diverse. Si viene così a creare tutta una serie di paesaggi che sono diversi nelle dimensioni delle specie che vi trovano alloggio, nei tempi di crescita, nella loro diffusione. I gruppi di piante che vi crescono si auto-organizzano in strutture che servono a proteggerne la sopravvivenza e a sviluppare la biodiversità. Anche le specie animali che convivono con questi sistemi vegetali vengono condizionate dal variare della biodiversità che si afferma o si annulla.

Gli esseri viventi per loro natura sono processi in evoluzione. Quindi non si possono mummificare. Il processo evolutivo porta cambiamenti continui sia per cause endogene che per cause esogene. Dunque una perdita di biodiversità è inevitabile, così come la nascita di nuove specie. Il biosistema attuale, come si è venuto a creare dopo l'ultima grande estinzione di massa di 65 milioni di anni fa, ha una quantità di specie superiore a ogni altro periodo precedente. E ciò significa che il sistema stesso produce naturalmente una diversificazione superiore alle estinzioni. Ma ogni volta che una specie ha occupato uno spazio molto rilevante, questo è avvenuto ai danni di altre specie. Ciò ha significato spesso l'estinzione di molte altre specie. Si osservi lo stesso emergere della specie *homo sapiens*, che è

avvenuta dopo o insieme all'estinzione di altri primati. Ma il problema ora è che l'affermazione di questa specie non provochi l'estinzione di un numero eccessivo di altre specie, non solo fra i vertebrati, ma anche nel regno vegetale.

4. Scrivono Ayres e Kneese: “Il sistema socio-economico umano è un sistema auto-organizzato. Chiaramente non è un sistema chiuso, poiché i materiali vi si riciclano continuamente. Richiede un flusso di energia disponibile (libera). Prima della rivoluzione industriale, gran parte del lavoro impiegato nell'attività economica derivava dai muscoli umani o da quelli degli animali. La fonte era il Sole, la cui energia veniva catturata dalle piante verdi e quindi riciclate attraverso la catena alimentare. Oggi, più del 90% dell'energia utilizzata dall'industria deriva dai carboidrati fossilizzati che rappresentano l'accumulazione di milioni di anni di fotosintesi”¹⁹.

Si è detto più sopra che ogni organismo vivente è lontano dall'equilibrio, e i sistemi lontani dall'equilibrio si evolvono in direzioni che possono essere o non essere predeterminate. Inoltre sono sistemi auto-organizzati ed alimentati da energia

¹⁹ R.U.Ayres, A.V.Kneese, “Externalities, Economics and Thermodynamics”, in F.Archibugi, F.Nijkamp (eds), *Economy and Ecology Towards Sustainable Development*, Dordrecht, 1989, p.107.

e materia esterna, essendo sistemi non lineari non possono ottenere l'equilibrio. Nei sistemi economici, che appartengono a questa classe, il processo di evoluzione avviene attraverso l'innovazione tecnologica. Questa avviene tuttavia solo con utilizzo di energia. Quando dei fattori esterni limitano l'espansione di questi sistemi, resistono solo quelli che sono più efficienti nell'ottimizzare i componenti fisici, chimici e biologici, ovvero quelli che minimizzano la produzione di entropia²⁰, cioè il rapporto fra la produzione di energia e la quantità di biomassa. In questo ambito gli studi di E.Odum, sulla misura dell'efficienza energetica degli organismi, porta alla conclusione che i sistemi giovani producono molta entropia, mentre i sistemi maturi ne producono di meno. Nei termini di Lotka-Odum, "La produzione di entropia totale aumenta durante tutto l'intero sviluppo del sistema, mentre il tasso di entropia specifica aumenta inizialmente e in seguito diminuisce con l'evoluzione del sistema".

Il processo evolutivo nei sistemi non in equilibrio porta quindi alla diversificazione dei sistemi, in un processo senza fine. Così i sistemi sono sempre attratti da due forze in opposizione che portano all'aumento della complessità, cioè

²⁰ E.D.Schneider, "Thermodynamics, Ecological Succession and Natural Selection: A Common Thread", in B.H.Weber, D.J.Depew, J.D.Smith (eds), *Entropy, Information and Evolution*, Cambridge (Mass), 1988, pp.119-126.

dell'eterogeneità, e ad un incremento del flusso di energia ²¹. L'ipotesi dell'equilibrio è un mondo simmetrico con processi ciclici, vicino allo stato stazionario. L'aumento del flusso di energia ha favorito la creazione di asimmetrie, e ha stimolato uno sviluppo che ha portato ad una differenziazione sempre più marcata fra gli ecosistemi, rompendo il circolo chiuso dell'equilibrio termodinamico classico.

5. Un ecosistema è un insieme di organismi, ciascuno dotato di propri sistemi di sopravvivenza e in cooperazione-competizione con gli altri organismi. Ciascuno ha trovato una propria nicchia ove è sopravvissuto e si è moltiplicato. In un ecosistema non tutti gli organismi sono uguali, vi è una gerarchia, per cui alcuni sono più importanti ed hanno un peso e funzioni più importanti. L'interazione fra i vari organismi non produce movimenti lineari, ma fasi di esplosione e fasi di crisi, fino all'estinzione. Questa può avvenire quando l'equilibrio chimico-fisico viene compromesso. Ma normalmente fenomeni di omeostasi agiscono per tempo e tendono a riportare il sistema ad una evoluzione sostenibile. Tuttavia l'osservazione

²¹ L.Johnson, "The Thermodynamic Origin of Ecosystems: A Tale of Broken Symmetry", in B.H.Weber, D.J.Depew, J.D.Smith (eds), *Entropy, Information and Evolution*, cit, pp.76-101.

storica indica che spesso i sistemi di maggiore successo sono quelli in cui la cooperazione è maggiore. Nei sistemi dominati dalla specie umana, più che la dinamica della popolazione, l'evoluzione viene condizionata dai valori, dalle credenze, dai sistemi di informazione e da come questi vengono percepiti.

Il processo cognitivo è infatti fondamentale in tutti i sistemi viventi. Sono le informazioni quelle che indicano le possibili alternative di evoluzione: quello che “potrà essere” più di “quello che è”. Il processo informativo è una continua relazione fra l'osservazione di una realtà che cambia e una griglia di interpretazione che deriva dalle cognizioni passate. Ogni organismo fornisce a tutti gli altri, presenti nell'ecosistema, delle informazioni. E ogni sistema si organizza (non importa se darwinianamente o lamarckianamente) per sopravvivere e crescere.

Anche i sistemi economici sono sistemi aperti in continua evoluzione e in questo senso il processo è non reversibile. La conoscenza in questi sistemi è un processo che si autoalimenta con l'esperienza. Gli operatori economici non cercano una razionalità onnisciente, ma una ipotesi plausibile per il futuro. I sistemi economici non sono mai in equilibrio, ma sono senza sosta in movimento e in trasformazione. Anche il sistema economico oggi prevalente nel mondo soggiace a

questi principi. Esso è in continuo processo dinamico e il principale fattore della sua evoluzione è la crescita continua delle conoscenze ²².

La seconda caratteristica fondamentale dei sistemi economici è la loro capacità di organizzarsi. Ciò significa la possibilità di creare interconnessioni fra tutti gli organismi del sistema che scambiano risorse, informazioni e energia. Mentre gli organismi di un ecosistema non hanno obiettivi (in senso darwiniano) gli organismi dei sistemi economici si prefiggono degli obiettivi e le modificazioni dell'organizzazione viene tentata in relazione a questi obiettivi. Ma i sistemi economici hanno limiti, non solo nella conoscenza ("conoscenza limitata" di Simon) ma anche nelle risorse materiali e nelle tecnologie ²³.

Sono le tecnologie che garantiscono i processi evolutivi dei sistemi economici. Ma come si è visto, le tecnologie, così come i processi evolutivi, sono alimentati dalla bassa entropia che diventa di nuovo il fattore decisivo di ogni processo evolutivo ²⁴. Come aveva indicato Georgescu-Roegen.

²² P.M.Allen, "Knowledge, Ignorance and the Evolution of Complex Systems", in J.Foster, J.S.Metcalf, *Frontiers of Evolutionary Economics, cit.*, pp.4-13 e 313. Si veda anche I.Wallerstein, *Alla scoperta del sistema mondo*, trad.it, Roma, 2003.

²³ P.Pelikan, "Self-organizing and Darwinian Selection in Economic and Biological Evolutions: An Enquiry into the Sources of Organizing Information", in J.Foster, J.S.Metcalf (eds), *op.cit.*, pp.125-136.

²⁴ P.P.Saviotti, *Technological Evolution, Variety and the Economy*, Cheltenham, 1995, pp.30-55.

BIBLIOGRAFIA

- Acot, P., *Storia dell'ecologia*, trad.it, Roma, 1989.
- Agnati, A., "L'energia individuale partenogenetica come "variabile nascosta" della complessità nella scienza economica", in *Scritti in memoria di Eugenio Benedetti*, Padova, 2002, pp.487-503.
- Allen, P.M., "Evolutionary Complex Systems: The Self-Organization of Communities", in F.Fang, M.Sanglier (eds), *Complexity and Selforganization in Social and Economic Systems*, Berlin, 1997, pp.109-133.
- Allen, P.M., "Knowledge, Ignorance and the Evolution of Complex Systems", in J.Foster, J.S.Metcalf (eds), *Frontiers of Evolutionary Economics: Competition, Self-Organization and Innovation Policy*, Cheltenham, 2001, pp.313-349.
- Amundson, R., "Typology Reconsidered: Two Doctrines on the History of Evolutionary Biology", in *Biology and Philosophy*, 13, 1998, pp.153-177.
- Anderson, P.W., Arrow, K.J., Pines, D., (eds), *The Economy as an Evolving Complex System*, Redwood City, 1988.
- Anderson, P.W., "A Physicist Looks at Economics: An Overview of the Workshop", in P.W.Anderson, K.J.Arrow, D.Pines (eds), *The Economy as an Evolving Complex System*, Redwood City, 1988, pp.265-273.
- Archibugi, F., Nijkamp, P (eds), *Economy and Ecology: Towards Sustainable Development*, Dordrecht, 1989.
- Archibugi, F., Nijkamp, P., Soeteman, F.J., "The Challenge of Sustainable Development", in F.Archibugi, P.Nijkamp (eds), *Economy and Ecology: Towards Sustainable Development*, Dordrecht, 1989, pp.1-12.
- Arecchi, F.T., "Complexity in Science: Models and Metaphors", in B.Pullman (ed), *The Emergence of Complexity in Mathematics, Physics, Chemistry and Biology*, Vatican City, 1996, pp.129-160
- Argyrous, G., Sethi, R., "The Theory of Evolution and the Evolution of Theory: Veblen's Methodology in Contemporary Perspective", in *Cambridge Journal of Economics*, 20, 1996, pp.475-495.
- Arrow, K.J., "Limited Knowledge and Economic Analysis", in *The American Economic Review*, 64, 1974, pp.1-10.

- Arrow, K.J., "The Future and the Present in Economic Life", in *Economic Inquiry*, 16, 1978, pp.157-169.
- Arrow, K.J., "Rationality of Self and Others in an Economic System", in *The Journal of Business*, 59, 1986, pp.385-399.
- Arrow, K.J., "Workshop on the Economy as an Evolving Complex System: Summary", in P.W.Anderson, K.J.Arrow, D.Pines, (eds), *The Economy as an Evolving Complex System*, Redwood City, 1988, pp.275-281.
- Arthur, B., "Self-Reinforcing Mechanism in Economics", in P.W.Anderson, K.J.Arrow, D.Pines (eds), *The Economy as an Evolving Complex System*, Redwood City, 1988, pp.9-40.
- Artigiani, R., "Revolution and Evolution: Applying Prigogine's Dissipative Structures Model", in *Journal of Social and Biological Structures*, 10, 1987, pp.249-264.
- Artigiani, R., "Social Evolution: a Non equilibrium Systems Model", in E.Laszlo (ed), *The New Evolutionary Paradigm*, New York, 1991, pp.93-128.
- Ashby, W.R., "Principles of the Self-Organizing System", in W.Buckley (ed), *Modern Systems for the Behavioral Scientist*, Chicago, 1968, pp.108-118.
- Auyang, S.Y., *Foundations of Complex-System Theories*, Cambridge, 1998.
- Axelrod, R., Hamilton, W.D., "The Evolution of Cooperation", in *Science*, 211, 1981, pp.1390-1396.
- Ayres, R., "Evolutionary Economics and Environmental Imperatives", in *Structural Change and economic Dynamics*, 2, 1991, pp.255-271.
- Ayres, R., "Comments on Georgescu-Roegen", in *Ecological Economics*, 22, 1997, pp.285-287.
- Ayres, R. "Eco-thermodynamics: Economics and the Second Law", in *Ecological Economics*, 26, 1998, pp.189-209.
- Ayres, R.U., Kneese, A.V., "Externalities: Economics and Thermodynamics", in F.Archibugi, P.Nijkamp (eds), *Economy and Ecology: Towards Sustainable Development*, Dordrecht, 1989, pp.89-117.
- Baranzini, R., Scazzieri, R. (eds), *The Economic Theory of Structure and Change*, Cambridge, 1990.
- Baranzini, R., "Walras e l'inopportunità dell'opposizione tra economia positiva e normativa. Dal 1860 alla seconda edizione degli *Eléments*", in *Economia politica*, 10, 1993, pp.381-415.

- Barsanti, G., *Dalla storia naturale alla storia della natura*, Milano, 1979.
- Barsanti, G., *La Scala, la Mappa, l'Albero. Immagini e classificazioni della natura fra Sei e Ottocento*, Firenze, 1992.
- Beard, T.R., Lozada, G.A., *Economics, Entropy and the Environment: The Extraordinary Economics of Nicholas Georgescu-Roegen*, Cheltenham, 1999.
- Becker, G.S., *The Economic Approach to Human Behavior*, Chicago, 1976.
- Becker, G.S., "Altruism, Egoism, and genetic Fitness: Economics and Sociobiology", in *Journal of Economic Literature*, 14, 1976, pp.817-826.
- Bergh van den, J.C.J.M., Gowdy, J.M.; "Evolutionary Theories in Environmental and Resources Economics: Approaches and Applications", in *Environmental and Resources Economics*, 17, 2000, pp.37-57.
- Berti, E., "Ordre et désordre des grecs à Galilée et de Galilée aux temps modernes", in B.Pullman (ed), *The Emergence of Complexity in Mathematics, Physics, Chemistry and Biology*, Vatican City, 1996, pp.25-64.
- Binswangen, m., "From Microscopic to Macroscopic Theories : Entropy Aspects of Ecological and Economic Process", in *Ecological Economics*, 8, 1993, pp.209-234.
- Blauberg, I.V., Sadovsky, V.N., Yudin, E.G., "Some Problems of General Systems Development", in W.Gray, N.D.Rizzo (eds), *Unity Through Diversity*, New York, 1973, pp.245-270.
- Blaug, M., "No History of Ideas, Please, We're Economists", in *Journal of Economic Perspectives*, 15, 2001, pp.145-164.
- Blin-Stoyle, R.J. et al., (eds), *Turning Points in Physics*, Amsterdam, 1959.
- Blin-Stoyle, R.J., "The End of Mechanistic Philosophy and the Rise of Field Physics", in R.J.Blin-Stoyle et al. (eds), *Turning Points in Physics*, Amsterdam, 1959, pp.5-29.
- Bocchi, G., Ceruti, M. (eds), *La sfida della complessità*, trad.it., Milano, 1990
- Boland, L.A., "A Critique of Friedman's Critics", in *Journal of Economic Literature*, 17, 1979, pp.503-522.
- Boland, L.A., "The Methodology of Marshall's 'Principle of Continuity'", in *Economie Appliquée*, 43, 1990, pp.145-159.

- Bonaiuti, M., *La teoria bioeconomica, La "nuova economia" di Nicholas Georgescu-Roegen*, Roma, 2001.
- Bortis, H., "Structure and Change within the Circular Theory of Production", in M.Baranzini, R.Scazzieri (eds), *The Economic Theory of structure and Change*, Cambridge, 1990, pp.64-91.
- Boulding, K.E., "General Systems Theory. The Skeleton of Science", in *Management Science*, 2, 1956, pp.197-208.
- Boulding, K.E., *Ecodynamics. A New Theory of Societal Evolution*, Beverly Hills, 1981.
- Boulding, K.E., *The World as a Total System*, Beverly Hills, 1985.
- Boulding, K.E., "Punctuationalism in Societal Evolution", in *Journal of Social and Biological Structures*, 12, 1989, pp.213-223.
- Boulding, K.E., *Towards a New Economics. Critical Essays on Ecology, Distribution and Other Themes*, Cheltenham, 1992.
- Boulding, K.E., "The Economics of the Coming Spaceship Earth", in R.Costanza, C.Perrings, C.J.Cleveland (eds), *The Development of Ecological Economics*, Cheltenham, 1997, pp.3-14.
- Brillouin, L., "Life, Thermodynamics, and Cybernetics", in W.Buckley (ed), *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Chicago, 1968, , pp.147-156.
- Brillouin, L., "Thermodynamics and Information Theory", in W.Buckley (ed), *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Chicago, 1968, pp.161-165.
- Brooks, D.R., Wiley, E.O., *Evolution as Entropy. Toward a Unified Theory of Biology*, Chicago, 1986.
- Brown, L.R., *Eco-Economy. Una nuova economia per la Terra*, trad.it, Roma, 2002.
- Brown, V., " 'Mere Inventions of the Imagination': A Survey of Recent Literature on Adam Smith", in *Economics and Philosophy*, 13, 1997, pp.281-312.
- Bryant, K., "Commentary: Knowledge, Ignorance and the Evolution of Complex Systems", in J.Foster , J.S. Metcalfe (eds), *Frontiers of Evolutionary Economics: Competition, Self-organization and Innovation Policy*, Cheltenham, 2001, pp.351-360.
- Buckley, W. (ed), *Modern Systems for the Behavioral Scientist*, Chicago, 1968.

- Burley, P., Foster, J., *Economics and Thermodynamics: New Perspectives on Economic Analysis*, Boston, 1994.
- Bush, P.D., "The Theory of Institutional Change", in *Journal of Economic Issues*, 21, 1987, pp.1075-1116.
- Caldwell, B.J., *Beyond Positivism: Economic Methodology in the Twentieth Century*, Boston, 1982.
- Campbell, J.H., "Evolution as Nonequilibrium Thermodynamics: Halfway There?", in D.J.Depew, B.H.Weber, J.D. Smith, *Entropy, Information and Evolution: New Perspectives on Physical and Biological Evolution*, Cambridge, 1988, pp.275-284.
- Campbell, J.H., "An Organizational Interpretation of Evolution", in D.J.Depew, B.H.Weber, J.D.Smith (eds), *Entropy, Information and Evolution: New Perspectives on Physical and Biological Evolution*, Cambridge, 1988, pp.133-167.
- Capaldi, N., *David Hume., The Newtonian Philosopher*, Boston, 1975.
- Capra, F., *Il punto di svolta*, trad.it, Milano, 1984.
- Capra, F., *La rete della vita*, trad.it, Milano, 1997.
- Capra, F., *La scienza della vita*, trad.it, Milano, 2004.
- Carrà, S., *La formazione delle strutture*, Torino, 1989.
- Castle, E.N., "A Comment on Georgescu-Roegen, Daly, Solow and Stiglitz", in *Ecological Economics*, 22, 1997, pp.305-306.
- Ceruti, M., *Il vincolo e la possibilità*, Milano, 1989.
- Ceruti, M., Laszlo, E. (eds), *Physis: abitare la Terra*, trad.it, Milano, 1988.
- Charlesworth, B., Lande, R., Slatkin, M., "A Neo-Darwinian Commentary on Macroevolution", in *Evolution*, 36, 1982, pp.474-498.
- Clark, C.W., "Renewable Resources and Economic Growth", in *Ecological Economics*, 22, 1997, pp.275-276.
- Clark, N., "Some New Approaches to Evolutionary Economics", in *Journal of Economic Issues*, 22, 1988, pp.511-531.
- Clark, N., "Evolution, complex systems and technological change", in *Review of Political Economy*, 2, 1990, pp.26-42.

- Cleveland, C.J., “Biophysical Economics: Historical Perspective and Current Research Trends”, in *Ecological Modelling*, 38, 1987, pp.47-73.
- Cleveland, M. et al., *La morte di Newton. Il nuovo paradigma scientifico*, Milano, 1988.
- Cleveland, C.J., Ruth, M., “When, Where, and by How much do Biophysical Limits Constrain the Economic Process? A Survey of Nicholas Georgescu-Roegen’s Contribution to Ecological Economics”, in *Ecological Economics*, 22, 1997, pp.203-223.
- Cleveland, C.J., Costanza, R., Hall, C.A.S., Kaufmann, R., “Energy and the U.S. Economy: A Biophysical Perspective”, in R.Costanza, C.Perrings, C.J.Cleveland (eds), *The Development of Ecological Economics*, Cheltenham, 1997, pp.295-302.
- Cleveland, C.J., Stern, P.(eds), *The Economics of Nature and the Nature of Economics*, Cheltenham, 2001.
- Cohen, I.B., *The Natural Sciences and the Social Sciences*, Dordrecht, 1994.
- Collier, J., “The Dynamics of Biological Order”, in D.J.Depew, in D.J.Weber, B.H.Smith (eds), *Entropy, Information and Evolution*, Cambridge, 1988, pp.227-241.
- Common, M., “Is Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz the Important Point?”, in *Ecological Economics*, 22, 1997, pp.277-279.
- Commoner, B., *La politica dell’energia*, trad.it, Milano, 1980.
- Conlisk, J., “Why Bounded Rationality?”, in *Journal of Economic Literature*, 34, 1996, pp.669-700.
- Cooper, W.S., “How Evolutionary Biology Challenges the Classical Theory of Rationality Choice”, in *Biology and Philosophy*, 4, 1989, pp.457-481.
- Copeland, M.A., “On the Scope and Method of Economics”, in G.M.Hodgson, *Economics and Biology*, Brookfield, 1995, pp.29-47.
- Costanza, R., “Embodied Energy and Economic Valuation”, in *Science*, 210, 1980, pp.1919-1924.
- Costanza, R., Wainger, L., Folke, C., Maler, K-G., “Modelling Complex Ecological Economic Systems”, in *BioScience*, 43, 1993, pp.545-555.
- Costanza, R., “Misplaced Concreteness: Measuring Economic Success”, in R.Costanza, C.Perrings, C.J. Cleveland (eds), *The Development of Ecological Economics*, Cheltenham, 1997, pp.384-408.

- Costanza, R., Daly, H.E., “Natural Capital and Sustainable Development”, in R.Costanza, C.Perrings, C.J.Cleveland (eds), *The Development of Ecological Economics*, Cheltenham, 1997 pp.455-475.
- Costanza, C.Perrings, C.J.Cleveland, “Introduction to Chapter III, Application of Physical Principles to Economics”, in R.Costanza, C.Perrings, C.J.Cleveland (eds), *The Development of Ecological Economics*, Cheltenham, 1997, pp.260-294.
- Costanza, R. et al., *An Introduction to Ecological Economics*, Boca Raton, 1997.
- Costanza, R., Perrings, C., Cleveland, C.J., (eds), *The Development of Ecological Economics*, Cheltenham, 1997.
- Christensen, P.P., “Classical Roots for a Modern Materials-Energy Analysis”, in *Ecological Modelling*, 38, 1987, pp.75-89.
- Christensen, P.P., “Historical Roots for Ecological Economics-Biophysical versus Allocative Approaches”, in *Ecological Economics*, 1, 1989, pp.17-36.
- Christensen, P.P., “Hobbes and the Physiological Origins of Economic Science”, in *History of Political Economy*, 21, 1989, pp.689-709.
- Christensen, P.P., “Early Links between Sciences of Nature and Economics: Historical Perspectives for Ecological and Social Economics”, in C.J.Cleveland, D.I.Stern, R.Costanza (eds), *The Economics of Nature and the Nature of Economics*, Cheltenham, 2001, pp.15-33.
- Cremschi, S., “Legge di natura e scienza economica”, in *Quaderni storici*, 35, 2000, pp.697-730.
- Csanyi, V., *Evolutionary Systems and Society. A general Theory of Life, Mind, and Culture*, London, 1989.
- Csanyi, V., “Evolution: Model or Metaphor?”, in *Evolutionary Systems*, Dordrecht, 1998, pp.1-12.
- Daly, H.E., “On Economics as a Life Science”, in *The Journal of Political Economy*, 76, 1968, pp.392-406.
- Daly, H.E., “Steady-State and Growth Concepts for the Next Century”, in F.Archibugi, P.Nijkang, (eds), *Economy and Ecology: Towards Sustainable Development*, Dordrecht, 1989, pp.73-87.
- Daly, H.E., “Allocation, Distribution, and Scale: Towards an Economics that is Efficient, Just, and Sustainable”, in *Ecological Economics*, 6, 1992, pp.185-193.

- Daly, H.E., "On Nicholas Georgescu-Roegen's Contributions to Economics: An Obituary Essay, in *Ecological Economics*, 13, 1995, pp.149-154.
- Daly, H.E., "Reply to Solow/Stiglitz", in *Ecological Economics*, 22, 1997, pp.271-273.
- Daly, H.E., "On Economics as a Life Science", in R.Costanza, C.Perrings, C.J.Cleveland (eds), *The Development of Ecological Economics*, Cheltenham, 1997, pp.15-29.
- Daly, H.E., *Ecological Economics and the Ecology of Economics*, Cheltenham, 1999.
- Dardi, M., "Il mercato nell'analisi economica contemporanea", in G.Becattini (ed), *Il pensiero economico: temi, problemi e scuole*, Torino, 1990, pp.18-45.
- De Marchi, A., *Ecologia funzionale. L'ambiente e le sue dinamiche*, Milano, 1992.
- De Rosnay, J., *Il Macroscopio. Verso una visione globale*, Milano, 1978.
- Del Re, G., "Organization, Information, Autopoiesis: from Molecules to Life", in G.Pullman (ed), *The Emergence of Complexity in Mathematics, Physics, Chemistry and Biology*, Vatican City, 1996, pp.277-334.
- Delorme, R., "Theorizing Complexity", in J.Foster, J.S.Metcalf (eds), *Frontiers of Evolutionary Economics: Competition, Self-Organization and Innovation Policy*, Cheltenham, 2001, pp.80-119.
- Depew, D.J., D.J.Weber, B.H.Smith (eds), *Entropy, Information and Evolution: New Perspectives on Physical and Biological Evolution*, Cambridge, 1988.
- Depew, D.J., Weber, B.H., "Consequence of Nonequilibrium Thermodynamics for the Darwinian Tradition", in D.J.Depew, D.J.Weber, B.H.Smith (eds), *Entropy, Information and Evolution: New Perspectives on Physical and Biological Evolution*, Cambridge, 1988, pp.317-354.
- Depew, D.J., Weber, B.H., "Innovation and Tradirion in Evolutionary Theory: An Interpretative Afterword", in D.J.Depew, B.W.Weber, J.D.Smith (eds), *Entropy, Information and Evolution: New Perspectives on Physical and Biological Evolution*, Cambridge, 1988, pp.227-260.
- Depew, D.J., B.W.Weber (eds), *Evolution at a Crossroads: The New Biology and the New Philosophy of Science*, Cheltenham, 2000.
- Dillard, D., "The Institutional Principle of the Principles of Economics", in *Journal of Economic Issues*, 20, 1986, pp.355-363.

- Dopfer, K., "Kenneth Boulding: A Founder of Evolutionary Economics", in *Journal of Economic Issues*, 28, 1994, pp.1201-1225.
- Dopfer, K., "History-Friendly Theories in Economics: Reconciling Universality and Context in Evolutionary Analysis", in J.Foster, J.S.Metcalf (eds), *Frontiers of Evolutionary Economics: Competition, Self-Organization and Innovation Policy*, Cheltenham, 2001, pp.160-187.
- Dosi, G., "Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation", in *Journal of Economic Literature*, 26, 1988, pp.1120-1171.
- Dosi, G., Nelson, R.R., Winter, S.G., *The Nature and Dynamics of Organizational Capabilities*, Oxford, 2000.
- Doucouliafos, C., "A Note on the Evolution of *Homo Economicus*", in *Journal of Economic Issues*, 28, 1994, pp.877-883.
- Dragan, J.C., Steifert, E.K., Demetrescu, M.C., (eds), *Entropy and Bioeconomics*, Milano, 1993.
- Dugger, W.M., "The Transaction Cost Analysis of Oliver E. Williamson: A New Synthesis?", in *Journal of Economic Issues*, 17, 1983, pp.95-114.
- Dupuy, J-P., *Ordini e disordini. Inchiesta su un nuovo paradigma*, trad.it, Firenze, 1986.
- Edgall, S., "Thorstein Veblen's Theory of Evolutionary Change", in *The American Journal of Economics and Sociology*, XXXIV, 1975, pp.269-273.
- Ehrard, J., *L'idée de nature en France dans la première moitié du XVIII siècle*, Paris, 1963.
- Ehrlich, P.R., "The Limits to Substitution: Meta-Resource Depletion and a New Economic-Ecological Paradigm", in *Ecological Economics*, 1, 1989, pp.9-16.
- El Serafy, S., "The Environment as Capital", in R.Costanza, C.Perrings, J.Cleveland, (eds), *The Development of Ecological Economics*, Cheltenham, 1997, pp.409-415.
- Elliott, J.E., "Institutionalism as an Approach to Political Economy", in *Journal of Economic Issues*, 12, 1978, pp.91-114.
- Emery, F.E.(ed.), *La teoria dei sistemi*, trad.it, Milano, 1994.
- Faber, M., Proops, J.L.R., "Interdisciplinary Research Between Economists and Physical Scientists: Retrospect and Prospect", in *Kyklos*, 38, 1985, pp.599-616.

- Faber, M., Manstetten, R., Proops, J.L.R., "On the Conceptual Foundations of Ecological Economics: A Teleological Approach", in *Ecological Economics*, 12, 1995, pp.41-54.
- Fang, F., Sanglier, M.(eds), *Complexity and Self-organization in Social and Economic Systems*, Berlin, 1997.
- Fisher, A.C., *Environmental and Resource Economics*, Cambridge, 1981.
- Fisher, R.M., *The Logic of Economic Discovery: Neoclassical Economics and Marginal Revolution*, Brighton, 1986.
- Flowler, C., Mooney, P., *Biodiversità e futuro dell'alimentazione*, trad.it, Como, 2003.
- Foa, B., "Marshall Revisited in the Age of DNA", in *Journal of Post Keynesian Economics*, 5, 1982, pp.3-16.
- Foss, N.J., "The Suppression of Evolutionary Approaches in Economics: The Case of Marshall and Monopolistic Competition", in *Journal of the History of Economic Thought*, 1991, pp.65-71.
- Foster, J., "Economics and the Self-Organisation Approach: Alfred Marshall Revisited?", in *The Economic Journal*, 103, 1993, pp.975-991.
- Foster, J., Metcalfe, J.S. (eds), *Frontiers of Evolutionary Economics: Competition, Self-Organization and Innovations Policy*, Cheltenham, 2001.
- Foster, J., Metcalfe, J.S., "Modern Evolutionary Economic Perspectives: an Overview", in J.Foster, J.S.Metcalfe (eds), *Frontiers of Evolutionary Economics: Competition, Self-Organization and Innovation Policy*, Cheltenham, 2001, pp.1-15.
- Fourie, F.C.v.N., "The Nature of the Market: a Structural Analysis", in G.M.Hodgson , E.Screpanti (eds), *Rethinking Economics. Markets, Technology and Economic Evolution*, Cheltenham, 1991, pp.40-57.
- Gagliasso, E., "Il mutamento in natura: dal caos all'essere, all'evento. Riflessioni su riduzionismo e vitalismo alla luce delle teorie evolutive", in *Metamorfosi*, 2, 1986, pp.99-105.
- Georgescu-Roegen, N., *Analytical Economics: Issues and Problems*, Cambridge (Mass), 1966.
- Georgescu-Roegen, N., *La science économique. Ses problèmes et ses difficultés*, Paris, 1969.
- Georgescu-Roegen, N., *The Entropy Law and the Economic Process*, Cambridge (Mass.), 1971.

- Georgescu-Roegen, N., "Economics and Entropy", in *The Ecologist*, 2, 1972, n.7, pp.13-18.
- Georgescu-Roegen, N., *Analisi economica e processo economico*, trad.it, Firenze, 1973.
- Georgescu-Roegen, N., *L'economia politica come estensione della biologia*, Siena, 1974.
- Georgescu-Roegen, N., "Dynamic Model and Economic Growth", in *Economie Appliquée*, 27, 1974, pp. 529-563.
- Georgescu-Roegen, N., "Bio-economic Aspects of Entropy", in L.Kubat e J. Zeman (eds), *Entropy and Information in Science and Philosophy*, Amsterdam, 1975, pp.124-132.
- Georgescu-Roegen, N., "Energy and Economic Myths", in J.Rose, C.Bilciu (eds), *Modern Trends in Cybernetics and Systems*, Berlin,1977, pp.753-797.
- Georgescu-Roegen, N., "The Steady State and Ecological Salvation: A Thermodynamics Analysis", in *Bioscience*, 27, 1977, pp.266-270.
- Georgescu-Roegen, N., *Demain la décroissance*, Paris, 1979.
- Georgescu-Roegen, N., "Methods in Economic Science", in *Journal of Economic Issues*, 13, 1979, pp.317-328.
- Georgescu-Roegen, N., *Energia e miti economici*, trad.it, Torino, 1982.
- Georgescu-Roegen, N., "Entropy", in J.Eatwell, M.Murray, P.Newman, *The New Palgrave. A Dictionary of Economics*, vols. II, London, 1987.
- Georgescu-Roegen, N., "The Interplay Between Institutional and Material Factors: The problem and its Status", in J.A.Kregel, E.Matzner, A.Roncaglia (eds), *Barriers to Full Employment*, London, 1988, pp.297-326.
- Georgescu-Roegen, N., *Bioeconomia*, Torino, 2003.
- Giere, R.N., wesrfall, R.S. (eds), *Foundations of Scientific Method: The Nonetheenth Century*, Bloomington, 1984.
- Gioia, V., "Teorie economiche e storia nel *Methodenstreit*. Alcune riflessioni", in *Economia Politica*, 8, 1991, pp.279-299.
- Gioli, G. (ed), *Le teorie della popolazione prima di Malthus*, Milano, 1987.
- Giusti Doran, B., *Dalla concezione meccanica alla concezione elettromagnetica della natura*, trad.it, Bologna, 1981.

- Glansdorff, P., Prigogine, I., *Thermodynamic Theory of Structures, Stability and Fluctuations*, London, 1971.
- Goldberg, V.P., "Commons, Clark, and the Emerging Post-Coasian Economics", in *Journal of Economic Issues*, 10, 1976, pp.877-893.
- Goodwin, R.M., "Economic Evolution, Chaotic Dynamics and the Marx-Keynes-Schumpeter System", in G.M.Hodgson, C.Screpanti (eds), *Rethinking Economics: Markets, Technology and Economic Evolution*, Cheltenham, 1991, pp.138-155.
- Gordon, S., "Darwin and Political Economy: The Connection Reconsidered", in *Journal of the History of Biology*, 22, 1989, pp.437-459.
- Gonce, R.A., "The New Property Rights Approach and Commons's Legal Foundations of Capitalism", in *Journal of Economic Issues*, 10, 1976, pp.765-797.
- Gowdy, J.M., "Bio-Economics: Social Economy versus the Chicago School", in G.M.Hodgson (ed), *Economics and Biology*, Brookfield, 1995, pp.150-159.
- Gray, W, Rizzo, N.D. (eds), *Unity Through Diversity*, New York, 1973.
- Grene, M., "Perception, Interpretation, and the Sciences: Toward a New Philosophy of Science", in D.J.Depew, B.W.Weber (eds), *Evolution at a Crossroads: The New Biology and the New Philosophy of Science*, Cheltenham, 2000, pp.1-20.
- Grinevald, J., "La revolution carnotienne, thermodynamique, économie et idéologie", in *Revue européenne des sciences sociales*, 14, 1976, pp.39-79.
- Grinevald, J., "Le sens bioéconomique du développement humain: l'affaire Nicholas Georgescu-Roegen", in *Revue européenne des sciences sociale*, 18, 1980, pp.59-75.
- Hahn, F., "Is Economics an Evolutionary Science?", in F.Louca, M.Pearlman (eds), *Is Economics an Evolutionary Science? The Legacy of Thorstein Veblen*, Cheltenham, 2000, pp.114-123
- Hannon, B., "Total Energy Costs in Ecosystems", in *Journal of Theoretical Biology*, 80, 1979, pp.271-293.
- Harcourt, G., "A Man for All Systems: Talking with Kenneth Boulding", in *Journal of Post Keynesian Economics*, 6, 1983, pp.143-155.
- Harris, A.L., "Economic Evolution: Dialectical and Darwinian", in *The Journal of Political Economy*, 42, 1934, pp.34-79.

- Hart, N., "Marshall's Dilemma: Equilibrium versus Evolution", in *Journal of Economic Issues*, 37, 2003, pp.1139-1160.
- Hayek, F.A., "The Counter-Revolution of Science", in *Economica*, 8, 1941, pp.9-36.
- Hayek, F.A., "Scientism and the Study of Society. Part II", in *Economica*, 11, 1944, pp.27-39.
- Hayek, F.A., *The Counter-Revolution of Science. Studies on the Abuse of Reason*, Glencoe, 1952.
- Herbert, S., "Darwin, Malthus, and Selection", in *Journal of the History of Biology*, 4, 1971, pp.209-217.
- Hetherington, N.S., "Isaac Newton's Influence on Adam Smith's Natural Laws in Economics", in *The Journal of the History of Ideas*, XLIV, 1983, pp.497-505.
- Hirshleifer, J., "Competition, Cooperation, and Conflict in Economics and Biology", in *American Economic Association*, 68, 1978, pp.238-242.
- Hirshleifer, J., "Economics from a Biological Viewpoint", in G.M.Hodgson, *Economics and Biology*, Brookfield, 1995, pp.87-137.
- Ho, M-W, "Are Economic Systems Like Organism?", in P.Koslowski (ed), *Sociobiology and Bioeconomics. The Theory of Evolution in Biological and Economic Theory*, Berlin, 1999, pp.237-257.
- Hodgson, G.M., Screpanti, E., *Rethinking Economics. Markets, Technology and Economic Evolution*, Cheltenham, 1991.
- Hodgson, G.M., "Socio-political Disruption and Economic Development", in G.M.Hodgson, E.Screpanti, (eds), *Rethinking Economics. Markets, Technology and Economic Evolution*, Cheltenham, 1991, pp.153-171.
- Hodgson, G.M., "Economic Evolution: Intervention Contra Pangloss", in *Journal of Economic Issues*, 25, 1991, pp.519-533.
- Hodgson, G.M., "Thorstein Veblen and post-Darwinian Economics", in *Cambridge Journal of Economics*, 16, 1992, pp.285-301.
- Hodgson, G.M., "The Reconstruction of Economics: Is There Still a Place for Neoclassical Theory?", in *Journal of Economic Issues*, 26, 1992, pp.749-767.
- Hodgson, G.M., *Economics and Evolution. Bringing Life Back into Economics*, Cambridge, 1993.
- Hodgson, G.M., "The Mecca of Alfred Marshall", in *The Economic Journal*, 103, 1993, pp.406-415.

- Hodgson, G.M. (ed) , *Economics and Biology*, Brookfield, 1995.
- Hodgson, G.M., “The Evolution of Evolutionary Economics”, in *Scottish of Political Economy*, 42, 1995, pp.469-488.
- Hodgson, G.M. , “Why the Problem of Reductionism in Biology Has Implications for Economics?”, in G.M.Hodgson (ed), *Economics and Biology*, Brookfield, 1995, pp.326-90.
- Hodgson, G.M., “Introduction”, in *Cambridge Journal of Economics*, 22, 1998, pp.397-401.
- Hodgson, G.M., “On the Evolution of Thorstein Veblen’s Evolutionary Economics”, in *Cambridge Journal of Economics*, 22, 1998, pp.415-431.
- Hodgson, G.M., “The Approach of Institutional Economics”, in *Journal of Economic Literature*, 36, 1998, pp.166-192.
- Hodgson, G.M., *Evolution and Institutions*, Cheltenham, 1999.
- Hodgson, G.M., “What Is the Essence of Institutional Economics?”, in *Journal of Economic Issues*, 34, 2000, pp.317-329.
- Hodgson, G.M., “Darwinism and Institutional Economics”, in *Journal of Economic Issues*, 37, 2003, pp.85-97.
- Hoksbergen, R., “Postmodernism and Institutionalism: Toward a Resolution of the Debate on Relativism”, in *Journal of Economic Issues*, 28, 1994, pp.679-713.
- Holcomb, H.R., “Explaining World History: Marxism, Evolutionism, and Sociobiology”, in *Biology and Philosophy*, 13, 1998, pp.597-618.
- Holland, J.H., “The Global Economy as an Adaptive Process”, in P.W.Anderson, K.J.Arrow, D.Pines (eds), *The Economy as an Evolving Complex System*, Redwood City, 1988, pp.117-125.
- Hollander, S., “On Malthus’s Population Principle and Social Reform”, in *History of Political Economy*, 18, 1986, pp.187-235.
- Holling, C.S., “Resilience and Stability of Ecological Systems”, in *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1973, pp.1-23.
- Holling, C.S., “The Resilience of Terrestrial Ecosystem: Local Surprise and Global Change”, in R.Costanza, C.Perrings, C.J.Cleveland (eds) *The Development of Ecological Economics*, Cheltenham, 1997, pp.108-131.

- Holling, C.S. et al., "Biodiversity in the Functioning of Ecosystems: an Ecological Synthesis", in C.Perrings et al., *Biodiversity Loss. Economic and Ecological Issues*, Cambridge, 1994, pp.52-61.
- Hopf, F.A., "Entropy and Evolution: Sorting Through the Confusion", in D.J.Depew, D.J.Weber, B.H.Smith (eds), *Entropy and Information*, Cambridge, 1988, pp.263-273.
- Horgan, J., "Dalla complessità alla perplessità", in *Le Scienze*, 324, 1995, pp.80-85.
- Hotelling, H., "The Economics of Exhaustible Resources", in *The Journal of Political Economy*, 39, 1931, pp.137-175.
- Hoyningen-Huene, P., "Epistemological Reductionism in Biology: Institutions, Explications, and Objections", in P.Hoyningen-Huene, F.M.Wuketits (eds), *Reductionism and Systems Theory in the Life Sciences*, Dordrecht, 1989, pp.29-44.
- Huettner, D.A., "Economic Values and Embodied Energy", in *Science*, 216, 1982, pp.1141-1143.
- Ingrao, B., Israel, G., *La mano invisibile*, Bari, 1987.
- Ingrao, B., "From Walras's General Equilibrium to Hicks's Temporary Equilibrium", in *Recherches Economiques de Louvain*, 55, 1989, pp.365-398.
- Jacob, F., *La logica del vivente, Storia dell'ereditarietà*, trad.it, Torino, 1971.
- Jacob, F., *Il topo, la mosca e l'uomo*, trad.it, Torino, 1998.
- Jaffé, W., "Léon Walras's Role in the 'Marginal Revolution' of the 1870s", in *History of Political Economy*, 1972, pp.379-405.
- Jaffé, W., "The Birth of Léon Walras's Elements", in *History of Political Economy*, 9, 1977, pp.198-214.
- Jennings, A., Waller, W., "The Place of Biological Science in Veblen's Economics", in *History of Political Economy*, 30, 1998, pp.189-217.
- Jiang, L., Liu, X., "Economic Entropy and Its Application to the Structure of the Transport System", in pp.291-315.
- Jie, W., "Market Economy and Systematic Management", in F.Fang, M.Sanglier (eds), *Complexity and Self-Organization in Social and Economic Systems*, Berlin, 1997, pp.5-11.
- Johnson, L., "The Thermodynamic Origin of Ecosystems: A Tale of Broken Symmetry", in D.J.Depew, B.H.Weber, J.D.Smith (eds), *Entropy, Information, and Evolution*, Cambridge (Mass.), 1988, pp.75-105.

- Jones, L.B., "Schumpeter versus Darwin: In re Malthus", in *Southern Economic Journal*, 56, 1989, pp.410-422.
- Juma, C., "Economia del non equilibrio: paradigmi alternativi e politica tecnologica", in M.Cleveland (ed), *La morte di Newton: il nuovo paradigma scientifico*, trad.it, Milano, 1990, pp.7-41.
- Jurgens, H., Peitgen, H.-O., Saupe, D., "Il linguaggio dei frattali", in *Le Scienze*, 266, 1990, pp.42-49.
- Kaberger, T., Mansson, B., "Entropy and Economic Process-Physics Perspectives", in *Ecological Economics*, 36, 2001, pp.165-179.
- Kauffman, R., "Biophysical and Marxist Economics: Learning from Each Other", in *Ecological Modelling*, 38, 1987, pp.91-105.
- Kauffman, S., *The Origins of Order*, New York, 1993.
- Kaufmann, S., *A casa nell'Universo. Le leggi del caos e della complessità*, trad.it, Roma, 2001.
- Kauffman, S., *Esplorazioni evolutive*, trad.it, Torino, 2005.
- Khailov, K.M., "The problem of Systematic Organization in Theoretical Biology", in *General Systems*, 9, 1964, pp.151-157.
- Khalil, E.L., "Entropy Law and Exhaustion of Natural Resources. Is Nicholas Georgescu-Roegen's Paradigm Defensible?", in *Ecological Economics*, 2, 1990, pp.163-178.
- Khalil, E.L., "Economics and Biology: Eight Areas of Research", in *Methodus*, 4, 1992, pp.29-45
- Khalil, E.L., "Neo-classical Economics and Neo-darwinism: Clearing the Way for Historical Thinking", in G.M.Hodgson (ed), *Economics and Biology*, Dordrecht, 1995, pp.22-72.
- Khalil, E.L., "Beyond Natural Selection and Divine Intervention: The Lamarckian Implication of Adam Smith's Invisible Hand", in *Journal of Evolutionary Economics*, 10, 2000, pp.373-393.
- Kingsland, S.E., "Economic and Evolution: Economy of Nature", in P.Mirowski (ed), *Natural Images in Economic Thought: Markets Read in Thooth and Claw*, cambridge, 1994, pp.231-245.
- Klein, P.A., "American Institutionalism: Premature Death, Permanent Resurrection", in *Journal of Economic Issues*, 12, 1978, pp.251-276.

- Koslowski, P., "The Theory of Evolution as Sociobiology and Bioeconomics. A Critique of Its Claim to Totality", in G.M.Hodgson, C.Screpanti (eds), *Rethinking Economics: Markets, Technology and Economic Evolution*, Cheltenham, 1991, pp.301-328.
- Koslowski, P., *Sociobiology and Bioeconomics. The Theory of Evolution in Biological and Economic Theory*, Berlin, 1999.
- Kregel, J.A., Matzner, E., Roncaglia, A. (eds), *Barriers to Full Employment*, London, 1988.
- Krehm, W., "The Entropy Concept as a Tool of Economic Analysis", in *Economie Appliquée*, 1977, pp.65-83.
- Krugman, P., *The Self-Organizing Economy*, Melden (Mass), 1996.
- Kubat, L., Zeman, J., (eds), *Entropy and Information in Science and Philosophy*, Amsterdam, 1975.
- Kupchella, C.E., Hyland, M.C., *Environmental Science. Living Within the System of Nature*, Boston, 1989.
- Laszlo, E., *Introduction to Systems Philosophy. Toward a New Paradigm of Contemporary Thought*, New York, 1972.
- Laszlo, E., "Ludwig von Bertalanffy and Claude Lévi-Strauss: Systems and Structures in Biology and Social Anthropology", in W.Gray, N.D.Rizzo (eds), *Unity Through Diversity*, New York, 1973, pp.143-167.
- Laszlo, E., "General System Theory: Prospects and Principles", in J.Rose, C.Bilciu (eds), *Modern Trends in Cybernetics and Systems*, Berlin, 1977, pp.131-152.
- Laszlo, E.(ed). *The New Evolutionary Paradigm*, New York, 1991.
- Law Whyte, L., "The Structural Hierarchy in Organism", in W.Gray, N.D.Rizzo (eds), *Unity Through Diversity*, New York, 1973, pp.271-285.
- Lepkowski, W., "The Social Thermodynamics of Ilya Prigogine", in *Chemical and Engineering News*, 16, 1979, pp.30-33.
- Levine, A.L., "Marshall's *Principles* and the 'Biological Viewpoint': a Reconsideration", in *The Manchester School of Economic and Social Studies*, 51, 1983, pp.276-293.
- Levine, D.P., "Reconceptualizing Classical Economics", in P.Mirowski (ed), *The Reconstruction of Economic Theory*, Boston, 1986, pp.13-40.

- Lieber, P., "Constants of Nature: Biological Theory and Natural Law", in C.H. Waddington (ed), *Towards a Theoretical Biology*, Edinburgh, 1968, pp.180-205.
- Lilienfeld, R., *The Rise of Systems Theory, An Ideological Analysis*, New York, 1978.
- Limoges, C., Ménard, C., "Organization and the Division of Labor: Biological Methaphors at Work in Alfred Marshall's *Principles of Economics*", in P.Mirowski, *Natural Images in Economic Thought*, Cambridge, 1994, pp.336-359.
- Lombardini, S., "Economic versus Ecology", in F.Archibugi, P.Nijkamp,(eds), *Economy and Ecology: Towards Sustainable Development*, Dordrecht, 1989, pp.139-148.
- Lombardo Radice, L., "Clinamen. Sui rapporti fra 'caso' e 'necessità' ", in *Critica Marxista*, 6, 1982, pp.61-77.
- Liquori, A.M., "L'evoluzione concettuale della termodinamica", in *Critica Marxista*, 6, 1982, pp.51-60
- Lotka, A.J., "The Law of Evolution as a Maximal Principle", in *Human Biology*, 17, 1945, pp.167-194.
- Louca, F., Perlman, M. (eds), *Is Economic an Evolutionary Science? The Legacy of Thorstein Veblen*, Cheltenham, 2000.
- Lovelock, J.E., *Gaia. Nuove idee sull'ecologia*, trad.it, Torino, 1981.
- Lovelock, J.E., *Le nuove età di Gaia*, trad.it, Torino, 1991.
- Lozada, G.A., "A Defense of Nicholas Georgescu-Roegen's Paradigm", in *Ecological Economics*, 3, 1991, pp.157-160.
- Lozada, G.A., "Georgescu-Roegen's Defense of Classical Thermodynamics Revisited", in *Ecological Economics*, 14, 1995, pp.31-44.
- Maeler, K-G., "National Accounts and Environmental Resources" in R.Costanza, C.Perrings, C.J.Cleveland (eds), *The Development of Ecological Economics*, Cheltenham, 1997, pp.442-453.
- Malthus, T.R., *Saggio sul principio di popolazione*, trad.it, Torino, 1959.
- Malthus, T.R., *Pricipi di economia politica considerati in vista della loro applicazione pratica*, trad.it, Vicenza, 1972.
- Malthus, T.R., *Primo saggio sulla popolazione*, trad.it, Bari, 1976.

- Martinez-Alier, J., *Economia ecologica*, trad.it., Milano, 1991.
- Martinez-Alier, J., "Some Issues in Agrarian and Ecological Economics, in Memory of Georgescu-Roegen", in *Ecological Economics*, 22, 1997, pp.225-238.
- Martinez-Alier, J., Naredo, J.M., "A Marxist Precursor of Energy Economics: Podolinski", in *The Journal of Peasant Studies*, 9, 1982, pp.207-224.
- Matthews, R.C.O., "Darwinism and Economic Change", in *Oxford Economic Papers*, 36, 1984, pp.91-117.
- Maturana, H.R., Varela, F.J., *Autopoiesi e cognizione*, trad.it, Venezia, 1985.
- Mayhew, A., "The Beginnings of Institutionalism", in *Journal of Economic Issues*, 21, 1987, pp.971-998.
- Mayhew, A., "On the Difficulty of Evolutionary Analysis", in *Cambridge Journal of Economics*, 22, 1998, pp.449-461.
- Mayr, E., "How Biology Differs from the Physical Sciences", in D.J.Depew, B.W.Weber (eds), *Evolution at a Crossroads: The New Biology and the New Philosophy of Science*, Cheltenham, 2000, pp.43-63.
- McKelvey, M., "How do National Systems of Innovation Differ? A Critical of Porter, Freeman, Lundvall and Nelson", in G.M.Hodgson, C.Screpanti (eds), *Rethinking Economics: Markets, Technology and Economic Evolution*, Cheltenham , 1991, pp.117-136.
- McNeill, J.R., *Qualcosa di nuovo sotto il Sole*, trad.it, Torino, 2002.
- Megill, A.D., "Theory and Experience in Adam Smith", in *Journal of the History of Ideas*, XXXVI, 1975, pp.79-94.
- Mirowski, P., "An Evolutionary Theory of Economics Change: A Review Article", in *Journal of Economic Issues*, 17, 1983, pp.757-768.
- Mirowski,P., "Macroeconomic Instability and the 'Natural' Processes in Early Neoclassical Economics", in *The Journal of Economic History*, 44, 1984, pp.345-354.
- Mirowski, P., "Physics and the 'Marginalist Revolution'" , in *Cambridge Journal of Economics*, 8, 1984, pp.361-379.
- Mirowski, P., *The Reconstruction of Economic Theory*, Boston, 1986.
- Mirowski, P., "The Philosophical Bases of Institutional Economics", in *Journal of Economic Issues*, 21, 1987, pp.1001-1037.

- Mirowski, P., "Energy and Energetics in Economic Theory: a Review Essay", in *Journal of Economic Issues*, 22, 1988, pp.811-830.
- Mirowski, P., *More Heat than Light. Economics as Social Physics: Physics as Nature's Economics*, Cambridge, 1989.
- Mirowski, P., "The Rise and Fall of the Concept of Equilibrium in Economic Analysis", in *Recherches Economiques de Louvain*, 55, 1989, pp.447-468.
- Mirowski, P., "The Probabilistic Counter-Revolution, or How Stochastic Concepts Came to Neoclassical Economy Theory", in *Oxford Economic Papers*, 41, 1989, pp.217-235.
- Mirowski, P., *Natural Images in Economic Thought*, Cambridge, 1994.
- Mokyr, J., "Evolutionary Biology, Technological Change and Economic History", in *Bulletin of Economic Research*, 43, 1991, pp.127-149.
- Molesti, R., *Economia dell'ambiente. Per una nuova impostazione.*, Pisa, 1988.
- Molesti, R., (ed), *Economia e Ecologia*, Pisa, 1995.
- Molesti, R., (ed), *Economia dell'ambiente e Bioeconomia*, Milano, 2003.
- Morchio, R., "Gli organismi biologici come sistemi aperti stazionari nel modello teorico di L. von Bertalanffy", in *Nuovo Cimento*, suppl. 12, X, 1959, pp.100-119.
- Morin, E., "Il divenire del divenire", in *Metamorfosi*, 2, 1986, pp.7-38.
- Morin, E., *Introduzione al pensiero complesso*, trad.it, Milano, 1993.
- Morin, E., *Il paradigma perduto*, trad.it, Milano, 1994.
- Morin, E., *La natura della natura*, trad.it, Milano, 2001.
- Moss, L.S., "The History of the Theory of the Firm from Marshall to Robinson and Chamberlin. The Source of Positivism in Economics", in *Economica*, 51, 1984, pp.307-318.
- Mueller-Wille, S., Nature as a Marketplace: the political Economy of Linnean Botany", in M.Schabas and N. De Marchi, *Oeconomics in the Age of Newton*, Durham, 2003, pp.154-203.
- Myrdal, G., "Institutional Economics", in *Journal of Economic Issues*, 12, 1978, pp.771-783.
- Neale, W.C., "Institutions", in *Journal of Economic Issues*, 21, 1987, pp.1177-1205.

- Neill, T.P., "The Physiocrats' Concept of Economics", in *The Quarterly Journal of Economics*, 63, 1949, pp.532-553.
- Nelson, R.R., "Recent Evolutionary Theorizing About Economic Change", in *Journal of Economic Literature*, 33, 1995, pp.48-90.
- Nelson, R.R., "The Coevolution of Technology and Institutions as the Driver of Economic Growth", in J.Foster, J.S.Metcalf (eds), *Frontiers of Evolutionary Economics: Competition, Self-Organization and Innovation Policy*, Cheltenham, 2001, pp.19-30.
- Nelson, R.R., Winter, S.G., "Neoclassical vs. Evolutionary Theories of Economic Growth: Critique and Prospectus", in *The Economic Journal*, 84, 1974, pp.886-905.
- Nelson, R.R., Winter, S.G., *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge (Mass.), 1982.
- Nelson, R.R., Winter, S.G., "Evolutionary Theorizing in Economics", in *Journal of Economic Perspectives*, 16, 2002, pp.23-46.
- Nicolis, G., Prigogine, I., *La complessità*, trad.it, Torino, 1991
- Nightingale, J., "Solving Marshall's Problem with the Biological Analogy: Jack Dowinie's Competitive Process", in *History of Economic Review*, 20, 1993, pp.75-94.
- Niman, N.B., "Biological Analogies in Marshall's Work", in *Journal of the History of Economic Thought*, 13, 1991, pp.19-35.
- Norgaard, R.B., "Economics as Mechanics and the Demise of Biological Diversity", in *Ecological Modelling*, 38, 1987, pp.107-121.
- Norgaard, R.B., "The Case for Methodological Pluralism", in *Ecological Economics*, 1, 1989, pp.37-57.
- North, D.C., "Institutional Change and Economic Growth", in *The Journal of Economic History*, 31, 1971, pp.118-125.
- Nooteboom, B., "From Evolution to Language and Learning", in J.Foster, J.S.Metcalf (eds), *Frontiers of Evolutionary Economics: Competition, Self-Organization and Innovation Policy*, Cheltenham, 2001, pp.41-79.
- Nunes, P.A.L.D., Bergh van den, J.C.J.M., Nijkamp, P., *The Ecological Economics of Biodiversity*, Cheltenham, 2003.

- Nurmi, H., "Reflections on the Nature and Use of Systems Models in the Social Sciences", in J.Rose, C.Bilciu (eds), *Modern Trends in Cybernetics and Systems*, Berlin, 1977, pp.37-49.
- Odum, E.P., "Energy Flow in Ecosystems: A historical Review", in *American Zoologist*, 8, 1968, pp.11-18.
- Odum, E.P., "The Emergence of Ecology as a New Integrative Discipline", in *Science*, 195, 1977, pp.1289-1293.
- Odum, E.P., *Ecologia. Un ponte tra scienza e realtà*, trad.it, Padova, 2001.
- O'Hara, S.U., "The Challenger of Valuation: Ecological Economics between Matter and Meaning", in C.J.Cleveland, P.Stern (ed), *The Economics of Nature and The Nature of Economics*, Cheltenham, 2001, pp.89-107.
- O'Hara, P.A., "How Can Economics Be an Institutional-Evolutionary Science?", in F.Louca, M.Pearlman, *Is Economics an Evolutionary Science? The Legacy of Thorstein Veblen*, Cheltenham, 2000, pp.25-39.
- O'Connor, M., "Entropy, Structure, and Organisational Change", in *Ecological Economics*, 3, 1991, pp.95-122.
- Olmsted, J., "Observations on Evolution", in D.J.Depew, B.H.Weber, J.D.Smith (eds), *Entropy, Information and Evolution: New Perspectives on Physical and Biological Evolution*, Cambridge, 1988, pp.243-261.
- Opschoor, J.B., "The Hope. Faith and Love of Neoclassical Environmental Economics", in *Ecological Economics*, 22, 1997, pp.281-283.
- Ornaghi, L., "Economic Structure and Political Institutions: a Theoretical Framework", in M.Baranzini, R.Scazzieri (eds), *The Economic Theory of Structure and Change*, Cambridge, 1990, pp.23-44.
- Oster, G., Alberch, P., "Evolution and Bifurcation of Developmental Programs", in *Evolution*, 36, 1982, pp.444-459.
- Packham, C., "The Physiology of Political Economy: Vitalism and Adam Smith's Wealth of Nations", in *Journal of the History of Ideas*, LXIII, 2002, pp.465-482.
- Pagano, U., "Bounded Rationality, Institutionalism and the Diversity of Economic Institutions", in F.Louca, M., Pearlman (eds), *Is Economics an Evolutionary Science? The Legacy of Thorstein Veblen*, Cheltenham, 2000, pp.95-113.
- Pardi, F., Lanzara, G.-F., *L'interpretazione della complessità: metodo sistemico e scienze sociali*, Napoli, 1980.
- Passet, R., *L'economia e il mondo vivente*, trad.it, Roma, 1997.

- Pearce, D. (ed), *Un'economia verde per il pianeta*, trad.it, Bologna, 1993.
- Pearce, D., "Substitution and Sustainability: Some Reflections on Georgescu-Roegen", in *Ecological Economics*, 22, 1997, pp.295-297.
- Peet, J., " 'Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz'...but what is the Real Question?", in *Ecological Economics*, 22, 1997, pp.293-294.
- Pelikan, P., "Self-organizing and Darwinian Selection in Economic and Biological Evolutions: An Enquiry into the Sources of Organizing Information", in J.Foster, J.S.Metcalf (eds), *Frontiers of Evolutionary Economics: Competition, Self-Organization and Innovation Policy*, Cheltenham, 2001, pp.121-151.
- Penrose, E.T., "Biological Analogies in The Theory of The Firm", in *The American Economic Review*, 42, 1952, pp.804-819.
- Perrings, C., "Georgescu-Roegen and the 'Irreversibility' of Material Processes", in *Ecological Economics*, 22, 1997, pp.303-304.
- Perrings, C. et al., *Biodiversity Loss. Economic and Ecological Issues*, Cambridge, 1994.
- Peter, K., "Sorokin and von Bertalanffy: A Convergence of Views", in W.Gray, N.D.Rizzo (eds), *Unity Through Diversity*, New York, 1973, pp.131-141.
- Piaget, J., Garcia, R., *Psicogenesi e storia delle scienze*, trad.it, Milano, 1985.
- Pignatti, S., Trezza, B., *Assalto al pianeta*, Torino, 2000.
- Pimm, S.L., "The Complexity and Stability of Ecosystems", in *Nature*, 307, 1984, pp.321-325.
- Pines, D., "The Economy as an Evolving Complex System: An Introduction to the Workshop", in P.W.Anderson, K.J.Arrow, D.Pines, (eds), *The Economy as an Evolving Complex System*, Redwood City, 1988, pp.3-6.
- Pikler, A., "Ophélimité et Entropie", in *Scienti*, 85, 1950, pp.257-260.
- Poursin, J.-M., Dupuy, G., *Malthus*, trad.it, Bari, 1974.
- Prigogine, I., "Irréversibilité et corrélations", in *Revue de Métaphysique et de morale*, 1, 1962, pp.228-236.
- Prigogine, I., "Structure, Dissipation and Life", in *Theoretical Physics and Biology*, Amsterdam, 1969, pp.23-52.
- Prigogine, I., "Tempo, entropia, dinamica", in *Critica Marxista*, 6, 1982, pp.35-49.

- Prigogine, I., *Dall'essere al divenire*, trad.it, Torino, 1986.
- Prigogine, I., *La nascita del tempo*, trad.it, Milano, 1991
- Prigogine, I., *Le leggi del caos*, trad.it, Bari, 1993.
- Prigogine, I., *La fine delle certezze. Il tempo, il caos e le leggi della natura*, trad.it, Torino, 1997.
- Prigogine, I., *Il futuro è già determinato?*, trad.it, Roma, 2003.
- Prigogine, I., *Introduzione alla termodinamica dei processi irreversibili*, trad.it, Roma,
- Prigogine, I. et al., *Termodinamica, energia: il nuovo paradigma*, Milano, 1986.
- Prigogine, I., Stengers, I., Pahaut, S., “La dynamique, de Leibniz à Lucrèce“, in *Critique*, 35, 1979, pp.35-55.
- Prigogine, I., Stengers, I., “Le problème de l'invention et la philosophie des sciences“, in *Revue Internationale de Philosophie*, 131-2, 1980, pp.5-25.
- Prigogine, I., Stengers, I., *La nuova alleanza*, trad.it., Torino, 1981.
- Prigogine, I., Stengers, I., *Tra il tempo e l'eternità*, trad.it, Torino, 1989.
- Prigogine, I., Stengers, I., “Equilibrio/Squilibrio“, in *Enciclopedia Einaudi*, Vol.V, Torino, pp.523-564.
- Prigogine, I., Wiame, J.M., “Biologie et thermodynamique des phénomènes irréversibles“, in *Experientia*, 2, 1946, pp.451-453.
- Prigogine, I., “Energia“, in *Enciclopedia Einaudi*, vol.V, pp.412-437.
- Prigogine, I., “Organizzazione“, in *Enciclopedia Einaudi*, vol.X, Torino, pp.178-197.
- Prigogine, I., “Sistema“, in *Enciclopedia Einaudi*, vol.XII, Torino, pp.993-1023.
- Prigogine, I., “Semplice/complesso“, in *Enciclopedia Einaudi*, vol.XII, Torino, pp.715-729.
- Prigogine, I., Nicolis, G., *Le strutture dissipative*, trad.it, Firenze, 1982.
- Prigogine, I., Nicolis, G., Babloyantz, A., “Thermodynamics of Evolution“, in *Physics Today*, 25, nov, 1972, pp.23-28, dic, pp.38-44.

- Proops, J.L.R., "Ecological Economics: Rationale and problem Areas", in *Ecological Economics*, 1, 1989, pp.59-76.
- Pullman, B (ed), *The Emergence of Complexity in Mathematics, Physics, Chemistry and Biology*, Vatican City, 1996.
- Ramstad, Y., "A Pragmatist's Quest for Holistic Knowledge: The Scientific Methodology of John R.Commons", in *Journal of Economic Issues*, 20, 1986, pp.1067-1105.
- Rapoport, A., "Foreword", in W.Buckley (ed), *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Chicago, 1968, pp.13-22.
- Rapoport, A., Horvath, W.J., "Thoughts on Organization Theory", in, W.Buckley (ed) *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Chicago, 1968, pp.71-75.
- Rapoport, A., "Mathematical General System Theory", in W.Gray, N.D.Rizzo (eds), *Unity Through Diversity*, New York, 1973, pp.437-460.
- Rapoport, D.J., Turner, J.E., "Economic Models in Ecology", in *Science*, 195, 1977, pp.367-373.
- Raven, P.H., "Biological Complexity", in B.Pullman (ed), *The Emergence of Complexity in Mathematics, Physics, Chemistry and Biology*, Vatican City, 1996, pp.251-276.
- Raymond, R.C., "Communication, Entropy, and Life", in W.Buckley (ed), *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Chicago, 1968, pp.157-160.
- Redfield, R., "Levels of Integration in Biological and Social Systems", in W.Buckley (ed), *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Chicago, 1968, pp.59-68.
- Ricklefs, R.E., *Economia della natura*, trad.it, Bologna, 1978.
- Rifkin, J., *Entropia*, trad.it, Milano, 1992.
- Rizzello, S., *L'economia della mente*, Bari, 1997.
- Robbins, L., "Economics and Political Economy", in *American Economic Review*, 71, 1981, pp.1-10.
- Rose, J., Bilciu, C. (eds), *Modern Trends in Cybernetics and Systems*, Berlin, 1977.
- Rosen, R., "Organisms as Causal Systems which Are Not Mechanisms: An Essay into the Nature of Complexity", in *Theoretical Biology and Complexity*, London, 1985.

- Rutherford, M., "Thorstein Veblen and the Processes of Institutional Change", in *History of Political Economy*, XVI, 1984, pp.335-339.
- Rutherford, M., "Veblen's Evolutionary Programme: A Promise Unfulfilled", in *Cambridge Journal of Economics*, 22, 1998, pp.463-477.
- Salthe, S.N., "The Role of Natural Selection Theory in Understanding Evolutionary Systems", in G.Van de Vijver, S.N.,Salthe,M.Delpo (eds), in *Evolutionary Systems: Biological and Epistemological Perspectives on Selection and Self-Organization*, Dordrecht, 1998, pp.13-20.
- Samuels, W., "The Present State of Institutional Economics", in *Cambridge Journal of Economics*, 19, 1995, pp.569-590.
- Samuelson, P.A., "Maximizing and Biology", in *Economic Inquiry*, 16, 1978, pp.171-183.
- Saunders, P.T., "Darwinism and Economic Theory", in P.Koslowski (ed), *Sociobiology and Bioeconomics. The Theory of Evolution and Economic Theory*, Berlin, 1999, pp.259-277.
- Saviotti, P.P., "Systems Theory and Technological Change", in *Futures*, 18, 1986, pp.773-786.
- Saviotti, P P., *Technological Evolution, Variety and the Economy*, Brookfield, 1996.
- Schabas, M., "From Political Economy to Market Mechanics: the Jevonian Moment in the History of Economics", in *The Natural Sciences and the Social Sciences*, pp.235-255.
- Schabas, M., De Marchi, N., *Oeconomics in the Age of Newton*, Durham, 2003.
- Schabas, M., *The Natural Origins of Economics*, Chicago, 2005.
- Schneider, E.D., "Thermodynamics, Ecological Succession, and Natural Selection: A Common Thread", in D.J.Depew, B.H.Weber, J.D..Smith (eds), *Entropy, Information , Evolution: New Perspectives on Physical and Biological Evolution*, , Cambridge, 1988, pp.113-137.
- Schroedinger, E., "Order, Disorder, and Entropy", in W.Buckley (ed), *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Chicago, 1968, pp.143-146.
- Scott Gordon, H., "Alfred Marshall and the Development of Economics as a Science", in R.N.Giere and R.S.Westfall (eds), *Foundations of Scientific Method: The Nineteenth Century*, Bloomington, 1984, pp.230-252

- Sebba, G., "The Development of the Concepts of Mechanism and Model in Physical Science and Economic Thought", in *American Economic Review*, 43, 1953, pp.259-268.
- Seifert, J., "What is Life? On the Irreducibility of Life to Chaotic and Non-Chaotic Physical Systems", in B.Pullman (ed), *The Emergence of Complexity in Mathematics Physics Chemistry and Biology*, Vatican City, 1996, pp.339-368.
- Shogren, J.F., Nowell, C., "Economics and Ecology: A Comparison of Experimental Methodologies and Philosophies", in *Ecological Economics*, 5, 1992, pp.101-126.
- Silverberg, G., Dosi, G., Orsenigo, L., "Innovation, Diversity and Diffusion: A Self-Organisation Model", in *The Economic Journal*, 98, 1988, pp.1032-1054.
- Silvester, M.S., "The Methodology of Systems in Social Science", in J.Rose, C.Bilciu (eds), *Modern Trends in Cybernetics and Systems*, Berlin, 1977, pp.51-57.
- Simon, H.A., "The Architecture of Complexity", in *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106, 1962, pp.467-482,
- Simon, H.A., *Models of Discovery and Other Topics in the Methods of Science*, Dordrecht, 1977.
- Simon, H.A., "Rationality as Process and as Product of Thought", in *The American Economic Review*, 68, 1978, pp.1-16.
- Simon, H.A., *Reason in Human Affairs*, Oxford, 1983.
- Simon, H.A., *Causalità, razionalità, organizzazione*, Bologna, 1985.
- Smith, J.M., "The Theory of Games and the Evolution of Animal Conflicts", in *Journal of Theoretical Biology*, 47, 1974, pp.209-221.
- Smith, J.M., "Optimization Theory in Evolution", in *Annual Review of Ecological Systems*, 9, 1978, pp.31-56.
- Soederbaum, P., "Neoclassical and Institutional Approaches to Development and the Environment", in *Ecological Economics*, 5, 1992, pp.122-144.
- Sollner, F., "A Reexamination of the Role of Thermodynamics for Environmental Economics", in *Ecological Economics*, 22, 1997, pp.175-201.
- Solo, R.A., "Arithmomorphism and Entropy", in *Economic Development and Cultural Change*, 22, 1974, pp. 510-517.
- Solo, R.A., "Kenneth Ewart Boulding: 1910-1993. An Appreciation", in *Journal of Economic Issues*, 28, 1994, pp.1187-1200.

- Solow, R.M., "Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz", in *Ecological Economics*, 22, 1997, pp.267-268.
- Stanfield, J.R., "The Institutional Economics of Karl Polanyi", in *Journal of Economic Issues*, 14, 1980, pp.593-614.
- Stassart, J., *Malthus et la population*, Liège, 1957.
- Stenseth, N.C., Smith, J.M., "Coevolution in Ecosystems: Red Queen Evolution or Stasis?", in *Evolution*, 38, 1984, pp.870-880.
- Stiglitz, J.E., "Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz", in *Ecological Economics*, 22, 1997, pp.269-270.
- Swaney, J.A., "Economics, Ecology, and Entropy", in *Journal of Economic Issues*, 19, 1985, pp.853-865.
- Tamanoi, Y., Tsuchida, A., Murota, T., "Towards an Entropic Theory of Economy and Ecology", in *Economie Appliquée*, 37, 1984, pp.279-294.
- Thom, R., "Une théorie dynamique de la morphogenèse", C.H.Waddington (ed), *Towards a Theoretical Biology*, Edinburgh, 1968, pp.152-179.
- Thomas, B., "Alfred Marshall on Economic Biology", in *Review of Political Economy*, 3, 1991, pp.1-14.
- Tisdell, C., "Capital/Natural Resource Substitution: The Debate of Georgescu-Roegen (through Daly) with Solow/Stiglitz", in *Ecological Economics*, 22, 1997, pp.289-291.
- Tobe, H., "Mechanistic and Organistic Analogies in Economics Reconsidered", in *Kyklos*, 35, 1982, pp.292-306.
- Tool, M.R., "Contributions to an Institutional Theory of Price Determination", in G.M.Hodgson, E.Screpanti (eds), *Rethinking Economics. Markets, Technology and Economic Evolution*, Cheltenham, 1991, pp.19-39.
- Tulloc, G., "Sociobiology and Economics", in G.M.Hodgson (ed), *Economics and Biology*, Brookfield, 1995, pp.139-149.
- Turner, M., *Malthus and His Time*, New York, 1986.
- Turner, R.K., "Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz: A Pluralistic and Interdisciplinary Perspective", in *Ecological Economics*, 22, 1997, pp.299-302.
- Turner, R.K., Pearce, D.W., Bateman, I., *Economia ambientale*, trad.it, Bologna, 1996.

- Ungerer, E., *Fondamenti teorici delle scienze biologiche*, Milano, 1972.
- Van de Vijver, G., Salthe, S.N., Delpo, M. (eds), *Evolutionary Systems: Biological and Epistemological Perspectives on Selection and Self-Organization*, Dordrecht, 1998.
- Varela, F.G., Maturana, H.R., Uribe, R., "Autopoiesis: the Organization of Living Systems, Its Characterization and a Model", in *Biosystems*, 5, 1974, pp.187-196.
- Veblen, T., "Why is Economics not an Evolutionary Science?", in *Cambridge Journal of Economics*, 22, 1998, pp.403-414.
- Vernadski, W., "L'autotrophie de l'humanité", in *Revue générale des sciences*, 36, 1925, pp.495-502.
- Vernadski, V., *La Biosfera*, trad.it, Como, 1993.
- Vernadski, V.I., *Pensieri filosofici di un naturalista*, trad.it, Roma, 1994.
- Victor, P.A., "Indicators of Sustainable Development: Some Lessons from Capital Theory", in *Ecological Economics*, 4, 1991, pp.191-213.
- Vitousek, P.M., Ehrlich, P.R., Ehrlich, A.H., Matson, P.A., "Human Appropriation of the Products of Photosynthesis", in *BioScience*, 36, 1986, pp.368-375.
- Vogel Carey, T., "The invisible Hand of Natural Selection, and Vice Versa", in *Biology and Philosophy*, 13, 1998, pp.427-442.
- Volk, T., *Il corpo di Gaia. Fisiologia del pianeta vivente*, trad.it, Torino, 2001.
- Volpi, F., "Sistema economico e modo di produzione", in *Teoria dei sistemi economici*, Torino, pp.1-35.
- Von Bertalanffy, L., *Teoria generale dei sistemi*, trad.it, Milano.
- Von Bertalanffy, L., "General System Theory. A Critical Review", in W.Buckley (ed), *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*, Chicago, 1968, pp.11-30.
- Waddington, C.H.(ed), *Towards a Theoretical Biology*, Edinburgh, 1968.
- Waddington, C.H., "The Basic Ideas of Biology", in C.H.Waddington (ed), *Towards a Theoretical Biology*, Edinburgh, 1968, pp.1-41.
- Walker, D.A., "Is Walras's Theory of general Equilibrium a Normative Scheme?", in *History of Political Economy*, 16, 1984, pp.445-469.

- Walker, D.A., "Economics as Social Physics", in *The Economic Journal*, 101, 1991, pp.615-631.
- Weber, B.H., "Origins of Order in Dynamical Models", in *Biology and Philosophy*, 13, 1998, pp. 133-144.
- Weber, B.H., Depew, D., "Does the Second Law of Thermodynamics Refute the Neo-Darwinian Synthesis?", in P.Koslowski (ed), *Sociobiology and Bioeconomics. The Theory of Evolution in Biological And Economic Theory*, Berlin, 1999, pp.50-75.
- Wichen, J.S., "Thermodynamics, Evolution, and Emergence: Ingredients for New Synthesis", in D.J.Depew, B.H.Weber, J.D.Smith (eds), *Entropy, Information and Evolution: New Perspectives on Physical and Biological Evolution*, Cambridge, 1988, pp.139-169.
- Wilber, C.K, Harrison, R.S., "The Methodological Basis of Institutional Economics: Pattern Model, Storytelling, and Holism", in *Journal of Economic Issues*, 12, 1978, pp.61-89.
- Williamson, J.G., "Technology, Growth, and History", in *The Journal of Political Economy*, 84, 1976, pp.809-820.
- Williamson, O.E., *The Economics of Discretionary Behavior: Managerial Objectives in a Theory of the Firm*, Englewood Cliffs, 1963.
- Williamson, O.E., *The Economic Institutions of Capitalism: from Market Relations and Contracting*, New York, 1985.
- Williamson, O.E., Masten, S.E., *Transaction Cost Economics. Theory and Concepts*, Brookfield, 1995.
- Winter, S.G., "Economic 'Natural Selection' and the Theory of the Firm", in *Yale Economic Essays*, 4, 1964, pp.225-272
- Winter, S.G., Kaniovski, Y.M., Dosi, G., "A Baseline Model of Industry Evolution", in *Journal of Evolutionary Economics*, 13, 2003, pp.355-383.
- Witt, U., "Reflections on the Present State of Evolutionary Economic Theory", in G.M.Hodgson, C.Screpanti (eds), *Rethinking Economics: Markets, Technology and Economic Evolution*, Cheltenham, 1991, pp.83-102.
- Witt, U., "Economics, Sociobiology, and Behavioral Psychology on Preferences", in G.M.Hodgson (ed), *Economics and Biology*, Brookfield, 1995, pp.160-175.
- Witt, U., "Evolutionary Economics and Evolutionary Biology", in P.Koslowski (ed), *Sociobiology and Bioeconomics. The Theory of Evolution in Biological and Economic Theory*, Berlin, 1999, pp.279-298.

Wuketits, F.M., Hoyningen-Huene, P.,(eds), *Reductionism and Systems Theory in the Life Science: Some Problems and Perspectives*, Dordrecht, 1989.

Wuketits, F.M., “Organisms, Vital Forces, and Machines: Classical Controversies and the Contemporary Discussion ‘Reductionism vs Holism’”, in F.M.Wuketits , P.Hoyningen-Huene (eds), *Reductionism and Systems Theory in the Life Sciences: Some Problems and Perspectives*, Dordrecht, 1989, pp.3-28.

Young, J.T., “Entropy, Scarcity, and neo-Ricardianism”, in *Journal of Post Keynesian Economics*, 6, 1983, pp.82-88.

Young, R.M., “Malthus and the Evolutionists: The Common Context of Biological and Social Theory”, in *Past and Present*, 43, 1969, pp.109-141.

Presentazione della personalità Scientifica della dott.ssa Federica Rotelli e della sua attività scientifico-formativa (Art. 9, comma 3 del Regolamento del Dottorato)

Si rileva, da parte del collegio dei docenti, del Dottorato di ricerca in Bioeconomia-Economia dell'ambiente che la dott.ssa Federica Rotelli ha frequentato, nella prima parte del periodo del Dottorato, le lezioni e le varie attività del Dottorato stesso, riservando, invece, la seconda parte all'approntamento della tesi di Dottorato, intitolata "Dall'economia politica alla bioeconomia".

Si osserva come la personalità di studiosa della Dottoranda e la sua attività scientifica si sono manifestate prevalentemente nella preparazione e nella stesura della sua tesi di Dottorato.

Il collegio peraltro rileva che lo svolgimento di tale tesi presenta notevoli imperfezioni e lacune tanto che il tutor ha ritenuto di dover firmare tale tesi solo "con riserva". Nella stesura della tesi, tra l'altro, continuano a mancare gli apporti personali e gli approfondimenti, che sono indispensabili per una tesi di dottorato che voglia raggiungere la sufficienza.

Continua a mancare una messa a fuoco convincente delle questioni nodali e continuano a mancare le conclusioni.

Preso atto che le integrazioni sono insufficienti e che la tesi risulta carente di contributi e apporti personali, il collegio dei docenti ritiene che quanto sopra dimostri a sufficienza che la dott.ssa Rotelli non ha ancora acquisito una sufficiente maturità, per poter aspirare al conseguimento del titolo di Dottore di ricerca in Bioeconomia-economia dell'ambiente.

*Il coordinatore del Dottorato
di Ricerca in Bioeconomia -
Economia dell'ambiente
Romano Uboldi*