

Nicholas Georgescu-Roegen

Bioeconomia

Verso un'*altra* economia
ecologicamente e socialmente sostenibile

A cura di Mauro Bonaiuti

UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
BIBLIOTECA CENTRALE

INV. N° 15469

Bollati Boringhieri

Prima edizione giugno 2003

© 2003 Bollati Boringhieri editore s.r.l., Torino, corso Vittorio Emanuele II, 86
I diritti di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento totale o parziale
con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm e le copie fotostatiche) sono riservati
Stampato in Italia dalla M.S./Litografia di Torino
ISBN 88-339-1467-4

Titoli originali *L'economia politica come estensione della biologia*, in «Note Economiche», 1974, 2, pp. 5-18; *The entropy law and the economic problem*, in Distinguished Lecture Series, n. 1, Alabama University, 1971; *Energy and economic myths* (Lecture delivered on November, 1972, at Yale University), in «The Southern Economic Journal», XLI, 1975, 3, pp. 347-81; *The steady state and ecological salvation: a thermodynamic analysis*, in «BioScience», XXVII, 1977, 4, pp. 266-70; *Inequality, limits and growth from a bio-economic viewpoint*, in «Review of Social Economy», XXXV, 1977, pp. 361-75; *Energy analysis and economic valuation*, in «The Southern Economic Journal», XLIV, 1979, pp. 1023-058; *Bioeconomics and ethics*, mimeo, Special Collections Library, Duke University, 1983; *Feasible recipes versus viable technologies*, in «Atlantic Economic Journal», XII, 1984, 1, pp. 21-31; *Quo vadis homo sapiens-sapiens?* mimeo, Special Collections Library, Duke University, 1989

Traduzioni di Giovanni Ferrara degli Uberti (cap. 2), Pier Luigi Cecioni (capp. 3 e 6), Leo Maletti (cap. q), Giovanna Ricoveri (capp. j e 8), Milly Mesrori e Mauro Bonaiuti (capp. 7 e 9)

In copertina, foto Ken Stimpson/Stock Image/Grazia Neri

Schema grafico della copertina di Pietro Palladino e Giulio Palmieri

Stampato su carta Palatina delle Cartiere Miliani Fabriano



Indice

- 7 *Introduzione di Mauro Bonaiuti*
- PARTE PRIMA EPISTEMOLOGIA 1. Otto tesi sui sistemi biologici, 9
2. Le ipotesi antropologiche della teoria standard, 17
- PARTE SECONDA IL SISTEMA BIOECONOMICO 1. Critica alla teoria neoclassica del consumatore, 24 2. *Homo bioeconomicus?*, 28
3. Una teoria bioeconomica del consumatore, 29 4. Teoria della produzione, 35 5. Progresso tecnologico, *new economy* e critica bioeconomica, 38 6. Produzione fisica e produzione di valore, 40
7. Verso una «decrescita conviviale», 41 8. Consumo e produzione: un approccio sistemico, 43
- PARTE TERZA LA DINAMICA EVOLUTIVA 1. Il fagiano argo e la spirale dei redditi, 44 2. La spirale autoaccrescitiva dei consumi e del lavoro, 47 3. Alienazione e distruzione del legame sociale, 50
4. I circoli viziosi dal lato dell'offerta: profitti e concentrazioni transnazionali, 51 5. La moneta cattiva scaccia quella buona: terziarizzazione, corruzione finanziaria e diffusione dell'economia illegale, 53 6. Strategie di adattamento e reazione, 55

Bioeconomia

- 65 1. L'economia politica come estensione della biologia
79 2. La legge di entropia e il problema economico
95 3. Il programma bioeconomico minimale

- 98 4. Lo stato stazionario e la salvezza ecologica.
Un'analisi termodinamica
1. Lo stato stazionario: rassegna storica, 98 2. Il pendolo meccanico contro la clessidra termodinamica, 101 3. Sistemi aperti e sistemi chiusi, 103 4. Una quarta legge della termodinamica e la macchina economica, 108 5. Dalla termodinamica all'ecologia e all'etica, 111
- 114 5. Ineguaglianza, limiti e crescita da un punto di vista bioeconomico
- 127 6. Analisi energetica e valutazione economica
1. Introduzione, 127 2. Il dogma energetico, 130 3. Moto perpetuo di terzo tipo, 135 4. La dissipazione della materia e la legge di Planck, 143 5. Anche la materia conta, 150 6. Analisi energetica ed economia, 155 7. Analisi globale e scelta economica, 163 8. Analisi globale e valutazione tecnologica: il caso dell'energia solare, 166 9. Il destino prometeico della tecnologia, 173 Nota matematica, 183
- 185 7. Bioeconomia ed etica
- 192 8. Ricette fattibili contro tecnologie vitali
1. Introduzione: la rottura di una simmetria, 192 2. La funzione di produzione e la rappresentazione analitica di un processo, 195 3. Rappresentazione analitica di un processo economico stazionario, 204 4. Corollario conclusivo: il destino prometeico della nostra tecnologia, 206
- 211 9. *Quo vadis homo sapiens-sapiens?*
- 225 *Bibliografia su Georgescu-Roegen*
- 235 *Bibliografia generale*
- 253 *Indice dei nomi*

Introduzione

Mauro Bonaiuti

Ad Antonella

La teoria bioeconomica di Georgescu-Roegen' rappresenta il primo e più rigoroso tentativo di articolare l'economia alle scienze della vita e, indirettamente, alle scienze sociali.

Il presente contributo costituisce anzitutto un tentativo di dare alla teoria bioeconomica un carattere di maggior sistematicità, integrandola con gli sviluppi più significativi che si sono avuti in particolare nella biologia e nella teoria dei sistemi complessi. Alfred Marshall affermò che la «Mecca dell'economista» era rappresentata dalla biologia, tuttavia non riuscì a dare pieno contenuto a questa affermazione. Oggi è forse possibile raccogliere la sfida lanciata da Marshall provando a delineare i tratti fondamentali di questa nuova scienza che coniughi biologia ed economia.

Come risulta dalle carte dello stesso Georgescu-Roegen, egli intendeva, negli ultimi anni della sua vita, pubblicare un volume dal titolo *Bioeconomics* che ragionevolmente doveva costituire una prima sistematizzazione di questa concezione economica alternativa al *mainstream*. Come noto, egli non riuscì a portare a termine questo lavoro. Il presente volume intende riprendere questo progetto,

¹ Gli studi su Georgescu-Roegen sono ormai piuttosto numerosi. Si segnalano in particolare i recenti contributi di Mayumi (2001), Lozada e Beard (1999), Mayumi e Gowdy (1999), il numero speciale a lui dedicato dalla rivista «Ecological Economics» (XXII, 31, i contributi - purtroppo inediti - presentati in occasione del convegno di Strasburgo dedicato all'opera di Georgescu-Roegen (novembre 1998), le raccolte di saggi pubblicate a cura di Dragan e altri (1993, 1997) in occasione dei convegni della European Association for Bioeconomic Studies (EABS), oltre ai numerosi articoli apparsi in particolare sulla rivista «Ecological Economics». Circa le radici storiche dell'economia ecologica si veda in particolare il testo di Martinez-Alier e altri *Economia ecologica* (1987, trad. it. 1991). Per quanto riguarda la bibliografia di Georgescu-Roegen e un'introduzione critica alla sua vita e alla sua opera ci permettiamo di rinviare a Bonaiuti 2001

pubblicando una raccolta dei più significativi contributi di Georgescu-Roegen nell'ambito della bioeconomia (compresi alcuni testi dattiloscritti, conservati nell'archivio di Georgescu-Roegen e non ancora pubblicati), ma, soprattutto, cercando di recuperare lo spirito originale che animava la teoria bioeconomica. Questa infatti, per nulla incline ai facili compromessi legati alle teorie dello *sviluppo durevole o sostenibile*, che tanto hanno affascinato, tra gli altri, i cultori dell'*ecological economics* in questi anni, cercava risposte rigorose e coerenti agli ideali di un'economia *giusta*² e compatibile con le leggi fondamentali della natura, ideali che oggi riemergono con rinnovato slancio dalla società civile.

Partendo da una rilettura dei fondamenti biologici del processo economico e dalla teoria dei sistemi complessi, si cercherà innanzitutto di fornire al progetto di un'economia ecologicamente e socialmente sostenibile un comune fondamento epistemologico. Passando poi criticamente in rassegna le ipotesi fondanti della teoria neoclassica, si porrà in evidenza in che senso la concezione dell'uomo sottostante al nuovo paradigma sia, in larga misura, alternativa a quella dominante.

Sulla base delle nuove ipotesi che caratterizzano la teoria bioeconomica, ho cercato successivamente di delineare una nuova teoria del comportamento del consumatore, compatibile con i limiti imposti dalla biosfera, e capace di dialogare con la dimensione sociale e relazionale. Verrà poi ripresa la teoria della produzione di Georgescu-Roegen, in modo da offrire, insieme alla teoria del consumatore, una visione sistemica del processo bioeconomico.

La seconda parte di questa introduzione presenta un'analisi della *dinamica* del sistema sociobioeconomico (Sachs 1799). La teoria dei sistemi complessi si mostra particolarmente adatta a questo scopo. Essa consente, in particolare, di porre in evidenza alcuni circuiti potenzialmente autodistruttivi propri dell'economia neoliberista, offrendone una comune chiave di lettura.

In sede conclusiva si presenteranno alcune possibili linee di intervento per compensare gli effetti distruttivi illustrati in precedenza. Esse traggono spunto dalle diverse esperienze che la società civile, autorganizzandosi spontaneamente, sta già ponendo in atto

² Sul tema dell'equità si veda in particolare il saggio *Ineguaglianza, limiti e crescita da un punto di vista bioeconomico*, qui pubblicato alle pp. 114 sgg.

(varie esperienze di «economia solidale», difesa dell'ambiente, consumo critico, finanza etica ecc.), ma che l'approccio sistemico consente di reinterpretare come spunti germinali nella creazione di un'economia *altra*, ecologicamente e socialmente sostenibile. Ciò che si cercherà di suggerire non sono tanto singoli strumenti di intervento, per i quali sarà preventivamente necessaria la ricostruzione di un nuovo *immaginario* economico, quanto un metodo, una diversa chiave di lettura dei fenomeni economici, biologici e sociali.

PARTE PRIMA EPISTEMOLOGIA

1. Otto tesi sui sistemi biologici

La teoria bioeconomica di Georgescu-Roegen ha rappresentato innanzitutto una critica radicale alla teoria neoclassica. Essa ha mostrato i limiti, essenzialmente di natura entropica, a cui è soggetto il processo di crescita /sviluppo economico. Se ogni attività economica comporta l'irreversibile degradazione di quantità crescenti di materia ed energia, ne discendono per l'economia due importanti conclusioni. La prima è di ordine pratico: l'obiettivo fondamentale dell'economia moderna, la crescita economica illimitata, risultando in contraddizione con le leggi fondamentali della natura, va abbandonato o, comunque, radicalmente rivisto. La seconda è di natura metodologica: la rappresentazione pendolare del processo economico, presentata in apertura di ogni manuale di economia, secondo la quale la domanda stimola la produzione, e quest'ultima fornisce il reddito necessario ad alimentare nuova domanda, in un processo reversibile e apparentemente in grado di riprodursi all'infinito, andrà sostituito da una rappresentazione circolare ed evolutiva, in cui il processo economico risulti radicato nell'ambiente biofisico che lo sostiene. In generale questa visione bioeconomica ci ricorda l'inevitabile carattere fisico, materiale di ogni processo economico, riportando la scienza economica delle rarefatte atmosfere della matematica, all'universo concreto del vivere quotidiano. In conclusione, se vogliamo distillare una *filosofia*³

³ Il termine *filosofia* è qui inteso nel senso antico, ma anche in quello, credo estremamente attuale, di «arte di vivere», come sapere pratico, come sapienza in grado di orientare l'agire dell'essere umano nel mondo.

dalla teoria bioeconomica, questa ci insegna che, in definitiva, la produzione di qualsiasi bene o servizio comporta un'opportunità in meno per gli esseri viventi che verranno dopo di noi. In altre parole il processo economico di produzione comporta inevitabilmente un «costo» (in termini di materia/energia degradata) e tale costo sarà sempre maggiore di zero. La natura, contrariamente a quanto ritenevano gli economisti classici, Marx compreso, non offre nulla gratis.

Nonostante questo contributo fondamentale per la creazione di una *nuova economia*, fondata su premesse epistemologiche profondamente diverse da quelle che caratterizzano la teoria standard, e nonostante il nome che Georgescu-Roegen stesso decise di attribuire a questa teoria, *bioeconomia* appunto, è evidente che queste conclusioni trovano il proprio fondamento epistemologico essenziale, più che nella biologia, nella termodinamica.⁴ Credo che, se vogliamo fare della bioeconomia un approccio ancora fecondo, in grado di porre in relazione scienze biologiche, economiche e sociali, occorra ripartire da qui.

Gregory Bateson ha affermato che la teoria dei sistemi rappresenta il frutto più grosso che l'uomo abbia staccato dall'albero della conoscenza negli ultimi duemila anni. Questa espressione può apparire enfatica, tuttavia essa esprime la convinzione che ci troviamo di fronte a un salto epistemologico, a un modo nuovo di interpretare i fenomeni biologici, economici e sociali e le loro *relazioni*. Quanto segue costituisce il tentativo di rivedere criticamente l'economia standard alla luce di alcuni principi fondamentali che, senza contraddire le leggi della termodinamica, caratterizzano i sistemi complessi. Questi sistemi, e in particolare quelli biologici ed ecologici, presentano alcune caratteristiche formali sulle quali vale la pena di soffermarsi. Le presenterò sotto forma di otto tesi, argomentandole brevemente.

⁴ Nel mio precedente lavoro concludevo affermando che il ruolo attribuito da Georgescu-Roegen a un'epistemologia di derivazione autenticamente biologica è tutto sommato limitato: «... come spesso accade nella competizione tra paradigmi, Georgescu-Roegen, reagendo all'epistemologia neoclassica dell'equilibrio, ha probabilmente sovrastimato le potenzialità euristiche e applicative della seconda legge della termodinamica. La sostituzione del vecchio paradigma meccanicistico con un nuovo paradigma fondato, in modo pressoché esclusiva, sulla termodinamica, consentiva di giungere a conclusioni semplici e univoche circa la non compatibilità del processo economico rispetto alle leggi fondamentali della natura. È ragionevole sostenere che in questa operazione di revisione epistemologica siano stati proprio alcuni concetti e strumenti della biologia (e dell'ecologia) ad essere non adeguatamente considerati» (Bonaiuti 2001, p. 96).

1) *I sistemi biologici non tendono alla massimizzazione di alcuna variabile, e 2) hanno una pluralità di fini.*

Se escludiamo quella variabile generale che è la sopravvivenza della specie, non possiamo affermare che i sistemi biologici perseguano la massimizzazione di un unico fine, rispetto al quale tutte le altre variabili sono subordinate. La foresta di sequoie non tende verso la massimizzazione di alcuna variabile. In generale un valore troppo grande, come uno troppo piccolo, di qualsiasi variabile è pericoloso per l'organismo: troppo ossigeno comporta la combustione dei tessuti, come troppo poco porta a uno stato di asfissia. I mammiferi, in particolare, presentano generalmente un sistema di valori multidimensionale (Bateson 1972, trad. it., p. 154; Lorenz 1983).⁵

Questo principio contrasta fortemente con gli assunti della teoria economica dominante, secondo la quale i comportamenti dei soggetti economici fondamentali sono di tipo massimizzante: le imprese, come noto, mirano alla massimizzazione dei profitti e i consumatori alla massimizzazione dell'utilità intesa come il benessere associato al consumo di determinati beni o servizi.

Anche Juan Martinez-Alier ha recentemente affermato, sulla scia di Georgescu-Roegen, che l'incommensurabilità dei valori costituisce il fondamento dell'economia ecologica.⁶

Forse, un po' nello stesso senso in cui i sistemi biologici mirano a «massimizzare» le possibilità di «sopravvivenza della specie», può avere qualche senso immaginare che gli uomini mirino a «massimizzare» quella variabile complessa che possiamo chiamare «fe-

⁵ Anche Konrad Lorenz che, specie negli ultimi anni, ha condotto uno sforzo encomiabile per trarre conclusioni epistemologiche e filosofiche dalla sua esperienza scientifica, ha insistito particolarmente su questo punto. Tra vari esempi egli cita i pionieristici esperimenti condotti dal medico svizzero Kocher sulle ghiandole endocrine. Kocher cercò di curare, per primo, il morbo di Basedow, che è provocato da un eccesso di tirossina, l'ormone della tiroide, asportando la tiroide stessa. Ma questo intervento provocava la morte del paziente, che veniva colpito da sintomi simili a quelli provocati dalla mancanza di iodio. In un caso come nell'altro, la malattia era dunque provocata dalla produzione di quantità troppo basse, o troppo alte, dell'ormone della tiroide. Il medico svizzero concluse correttamente, e i biologi dopo di lui, che le funzioni delle ghiandole endocrine dell'individuo sano sono il risultato di un equilibrio tra complessi effetti di azione e reazione sottilmente bilanciati. Questo vale in generale per il «sistema ormonale» come per altri «sistemi» che caratterizzano il mondo biologico, come il sistema nervoso ecc. (cfr. Lorenz 1983, trad. it., p. 97).

⁶ Cfr. Martinez-Alier. Munda e O'Neill 1998.

licità», a patto tuttavia che essa sia intesa come il portato di più dimensioni tra loro eterogenee (cioè non sostituibili) di cui l'utilità può rappresentare una componente. Salute, sicurezza, relazionalità, giustizia, *agape* possono costituire esempi di quei valori che concorrono, insieme all'utilità, a delineare quella pluralità di vie lungo le quali si dispiegano i desideri umani alla ricerca di ciò che chiamiamo felicità o benessere.⁷

3) *I sistemi biologici presentano una combinazione di comportamenti di tipo competitivo e cooperativo.*

Per l'economista il mondo naturale è caratterizzato dalla presenza di comportamenti esclusivamente competitivi. Una lettura distorta della teoria darwiniana ha portato a una rappresentazione dell'universo del vivente dominato esclusivamente dalla «lotta per la sopravvivenza» e tale concezione viene estesa ai sistemi socio-economici (darwinismo sociale). È curioso osservare, viceversa, come in molta letteratura biologica sovietica prevalessero le relazioni cooperative, simbiotiche tra le specie, la competizione fosse quasi assente e la natura divenisse metafora della cooperazione universale. Credo che i tempi siano ormai maturi per andare oltre queste letture ideologiche e strumentali: è oggi chiaro ai biologi che negli ecosistemi coesistono comportamenti di tipo competitivo e cooperativo e che entrambi sono essenziali per la conservazione delle specie (Schopf 2003).⁸

4) *In un contesto espansivo sono i comportamenti competitivi che generalmente favoriscono il successo e lo sviluppo della specie, viceversa in contesti non espansivi (di equilibrio) sono i comportamenti cooperativi che generalmente favoriscono il successo.*

Secondo Kenneth Boulding le modalità di interazione all'interno degli ecosistemi possono assumere essenzialmente due modalità: una fondamentalmente *espansiva (colonizing mode)* e una invece non espan-

⁷ In quanto segue utilizzeremo le espressioni *felicità*, godimento *della vita*, o anche *benessere* in questo senso complesso e plurale, comunque attribuendo a esse un significato più ampio e ben distinto rispetto a quello di *utilità*.

⁸ La prevalenza dell'uno o dell'altro comportamento può anche mutare nel tempo. Secondo Schopf se nel Fanerozoico prevalse la competizione, nel Yrecambriano vigea la cooperazione.

siva o di *equilibrio (equilibrium mode)*. La prima è caratterizzata da condizioni di abbondanza di risorse e di nuovi spazi. In essa gli organismi si espandono verso nuovi ecosistemi, verso nuove nicchie da colonizzare. Nella seconda invece, data l'assenza di nuovi territori liberi o sottoutilizzati, gli organismi si assestano in una posizione di equilibrio. La biologia ci offre questa lezione fondamentale e cioè che non vi è un comportamento buono per tutte le stagioni, ma al contrario se muta il contesto ambientale mutano le strategie che favoriscono lo sviluppo della specie (Boulding 1981).

A differenza di quanto afferma la teoria liberista, «massimizzare» la competizione, attraverso la concorrenza «perfetta» tra i soggetti economici, non produce necessariamente risultati ottimali. È probabile che soggetti o comportamenti particolarmente competitivi risultino vincenti in contesti espansivi. Non a caso l'*homo sapiens* si è evoluto attraverso la colonizzazione e la conquista continua di nuovi territori, in competizione con altre specie. Aggressività e atteggiamenti competitivi sono dunque profondamente iscritti nel suo percorso evolutivo. In tempi più recenti, l'avventura della modernità (con la sua cultura individualista e competitiva) ha avuto origine e si è sviluppata in un contesto espansivo caratterizzato dalla conquista di nuovi continenti (America, Indie ecc.) e di nuovi spazi intellettuali (scienza, tecnica ecc.). Non a caso, infine, lo spirito economico americano, anch'esso particolarmente individualista e competitivo, si è forgiato nell'esperienza dell'espansione verso il West.⁹

Tuttavia in condizioni non espansive, quali quelle a cui la specie umana si sta necessariamente approssimando, in virtù dell'ormai quasi completa colonizzazione degli ecosistemi terrestri, sono i comportamenti cooperativi a dare i migliori risultati.

Questo ci porta a un diverso modo di considerare la pressione competitiva negli attuali sistemi socio-economici: la presenza di un grado troppo elevato di competizione, così come di uno troppo basso, saranno da considerarsi generalmente pericolosi per il sistema. La natura ci insegna che perseguire l'*efficienza* attraverso la competizione esasperata come unico obiettivo dell'attività economica, non solo è la conseguenza di una concezione riduttiva dell'essere umano, ma porta facilmente, come vedremo, verso comportamenti *distrut-*

⁹ In questo senso Kenneth Boulding (1966) ha parlato di un'economia «da Far West» contrapposta all'economia «della navicella spaziale» che caratterizza il contesto attuale.

tivi per la specie. Nuove forme di schiavitù, distruzione dell'ambiente, dilagare della corruzione finanziaria, possono rappresentare alcuni esempi di tali effetti distruttivi (si veda oltre la parte terza). A controprova di ciò basti pensare quanto frequentemente in natura si osservano comportamenti ridondanti o palesemente inefficienti.

5) *In un contesto non espansivo, un certo grado di competizione tra specie diverse favorisce lo sviluppo degli ecosistemi, al contrario la competizione tra i membri di una stessa specie (competizione intraspecifica) generalmente danneggia e dunque riduce le possibilità di sopravvivenza della specie stessa.*

La competizione intraspecifica, in un contesto non espansivo, trova un equivalente economico in quella che Fred Hirsch (1976) ha definito **competizione posizionale**. Immaginiamo un mercato oligopolistico maturo, in cui cioè si produce un bene omogeneo la cui domanda è costante o in declino. In questo mercato operano alcune grandi imprese il cui obiettivo è di mantenere o espandere le proprie quote di mercato. Ipotizziamo che, a tale scopo, l'impresa A decida di incrementare le proprie spese pubblicitarie del 10 per cento. Le altre imprese si sentiranno minacciate e, per non veder ridotte le proprie quote di mercato, innalzeranno le loro spese pubblicitarie dello stesso ammontare. Ciò comporterà un aumento dei costi per le imprese, una riduzione dei profitti, un aumento dei prezzi e una conseguente riduzione delle quantità prodotte, a danno dei consumatori. Se tutte le imprese reagiscono nello stesso modo, le quote di mercato che ciascuna impresa riuscirà ad accaparrarsi resteranno invariate.¹⁰ Se immaginiamo ragionevolmente che l'impresa A, insoddisfatta del risultato raggiunto, decida di incrementare ulteriormente le proprie spese pubblicitarie, ciò innescherà una spirale autoaccrescitiva con effetti deleteri per tutti i soggetti coinvolti. Così come accade in natura, " la competizione tra soggetti appartenenti alla stessa specie (le imprese competono sullo stesso mercato e producono un bene omogeneo) tende a produrre conseguenze dannose alla sopravvivenza della specie stessa. In una

¹⁰ Naturalmente immaginiamo che l'efficacia delle diverse campagne sia mediamente equivalente.

¹¹ Cfr. Lorenz 1983. Per l'analisi dettagliata di un caso di questo genere (competizione intraspecifica), si veda l'esempio del «fagiano argo» riportato in seguito.

battuta essa favorisce «i peggiori». Come vedremo nella parte seconda, questo tipo di comportamento, e il suo equivalente economico, la competizione posizionale, fornisce una chiave di lettura importante per comprendere alcune dinamiche autodistruttive tipiche dell'economia globale.

6) *Nei sistemi complessi la parte non può controllare il tutto*

Dalle mie parti, quando un ragazzo e una ragazza cominciavano a frequentarsi in vista di una possibile relazione amorosa, si diceva curiosamente: «quei due fanno della chimica». Come sottolineava Georgescu-Roegen la ragione fondamentale per cui la chimica non è mai entrata a far parte della fisica è legata al fatto che non è possibile *dedurre* le proprietà di un nuovo composto da quelle dei singoli elementi che lo compongono.

E probabile che la saggezza popolare avesse qui colto un tratto epistemologicamente rilevante di ogni relazione sistemica: la parte non può controllare il tutto. Come scoprirà presto l'innamorato, egli non è affatto in grado di controllare l'evolversi della propria relazione; in altre parole non è in grado di disporre la successione degli eventi che lo attendono lungo una catena di tipo *deterministico*. Questa difficoltà caratterizza in particolare i sistemi viventi.¹² Se calcio un sasso, esso reagirà sulla base dell'energia cinetica del mio piede, cioè seguendo le leggi della meccanica, quindi in modo prevedibile, ma se calcio un cane esso «reagirà» utilizzando la riserva di energia immagazzinata dal suo metabolismo, in un modo che egli stesso, probabilmente, non sa prevedere (Bateson 1972). Ci troviamo qui di fronte a una tipologia di fenomeni (cibernetici o sistemici) completamente diversi rispetto a quelli descritti dalla fisica classica.¹³ L'impossibilità per la parte di controllare il tutto

¹² Ilya Prigogine ha mostrato che anche la materia, lontana dall'equilibrio, presenta caratteristiche autorganizzative e dunque l'emergere di fenomeni *nuovi*, che possono condurre il processo lungo un sentiero evolutivo imprevedibile. Se dunque tradizionalmente sono i sistemi viventi che presentano le caratteristiche di *imprevedibilità* sopra descritte, oggi è possibile estendere tali proprietà, con le dovute precauzioni, anche al mondo *inanimato* della materia (Prigogine 1968, 1996).

¹³ Quando il cane di Lorena (dopo essersi a lungo trattenuto), uccide il papero colpendolo «accidentalmente» con uno dei suoi canini, ci offre un esempio di come i sistemi viventi seguano una logica completamente diversa rispetto al determinismo della meccanica classica (a cui come noto l'economia si ispira). Oltre a questo carattere imprevedibile, i sistemi viventi possono anche ritardare, consapevolmente o meno, la propria reazione. Lo iato temporale che separa l'azione

(incertezza) non è dunque una caratteristica occasionale, o comunque delimitabile razionalmente, come pretenderebbe la teoria ortodossa, quanto piuttosto una caratteristica intrinseca, e dunque ineliminabile, di ogni relazione sistemica.

7) *I sistemi complessi sono dotati di un anello di feedback.*

Si tratta di un aspetto di importanza fondamentale. A seconda se l'effetto di retroazione va a rinforzare oppure a smorzare l'input originario, avremo a che fare con sistemi a retroazione positiva o negativa. Come noto l'evoluzione nel tempo di queste due tipologie sarà diametralmente opposta. Mentre infatti i sistemi a retroazione positiva presentano caratteristiche esplosive, i sistemi dotati di un anello di retroazione negativa sono autocorrettivi. La progressione esponenziale della popolazione o la spirale della violenza rappresentano buoni esempi del primo tipo. I sistemi biologici ed ecologici non perturbati rappresentano esempi del secondo tipo. Anche la macchina a vapore o l'impianto termico di un appartamento dotato di termostato rappresentano esempi di sistemi autocorrettivi: se la temperatura esterna diminuisce, il termostato accende la caldaia e viceversa. Risultato: la temperatura dell'ambiente è mantenuta costante. Qualcosa di simile avviene nell'organismo degli animali a sangue caldo, la cui temperatura corporea è mantenuta costante grazie alla variazione di molti altri parametri. Nei sistemi a retroazione negativa le variazioni avvengono sempre per assicurare la costanza di qualche variabile fondamentale, come la «sopravvivenza della specie».

Può essere interessante osservare che anche le organizzazioni complesse, come le imprese, le chiese o le associazioni ambientaliste, presentano modalità di comportamento del tutto analoghe. Variazioni nell'ambiente esterno, come per esempio una nuova normativa ambientale o un'innovazione tecnologica, provocheranno modifiche nella struttura interna dell'impresa al fine di assicurare quella variabile complessa che è la «sopravvivenza dell'organizzazione». La scienza economica tradizionale non coglie questi anelli di retroazione perché tende, seguendo la meccanica, a spiegare i fenomeni mediante catene lineari basate sul principio di causa-effetto. Viceversa cogliere la presenza di questi anelli è di importan-

(ad esempio l'aumento di CO₂ nell'atmosfera) dai feedback che ne seguiranno, è una delle fonti primarie di complessità (e imprevedibilità) che caratterizza gli ecosistemi (Lorenz 1973).

za fondamentale per individuare le potenziali derive autodistruttive del sistema economico, oltre che per comprendere, in generale, le dinamiche evolutive di lungo periodo nella relazione tra sistema economico-sociale e biosfera.

8) *L'interazione tra gli elementi di un sistema complesso è in genere attivata da una differenza (informazione).*

Nei sistemi complessi non è necessario un *urto* o l'applicazione di una certa quantità di *energia* per ottenere una reazione efficace. È sufficiente che il sistema percepisca una differenza per esso rilevante (informazione). Successivamente potrà utilizzare l'energia presente all'interno del sistema per dare luogo alla propria reazione. Le corporations reagiscono alla notizia di una nuova campagna pubblicitaria delle concorrenti (probabilmente aumentando le proprie spese pubblicitarie). Se tutti i miei amici possiedono abiti firmati, lavorano anche la domenica e fanno vacanza in paesi esotici, sarò probabilmente spinto a fare altrettanto. Questo suggerisce, a parziale revisione dell'impostazione roegeniana, che gli eventi economici non andranno considerati solamente in relazione ai fenomeni di natura fisica e biologica, ma anche in relazione alla loro dimensione simbolica e immaginaria (Castoriadis 1975). Non è necessario che si produca un «fatto materiale». I sistemi cibernetici reagiscono all'evento «zero» come all'evento «uno». L'agente delle tasse può attivarsi per la dichiarazione che non avete spedito, o il consumatore può interessarsi a quell'auto sportiva che non possiede (ma che alcuni amici hanno già acquistato). Come vedremo, eventi di carattere simbolico possono innescare effetti a catena particolarmente pericolosi da un punto di vista bioeconomico, come per esempio la rincorsa nei consumi o altre forme di competizione posizionale.

2. *Le ipotesi antropologiche della teoria standard*

La moderna teoria del consumatore, come del resto l'intera economia neoclassica, si basa su una lunga serie di assunti o ipotesi. Tra questi, alcuni hanno un carattere generale, o potremmo dire antropologico, sono cioè relativi alla concezione dell'uomo sottesa dalla teoria (Caillé 1989; Latouche 2001). Altre hanno un carattere

più tecnico e servono a garantire la deducibilità, date certe premesse, di alcune conclusioni «desiderate» (unicità, stabilità dell'equilibrio ecc.). Insieme costituiscono l'intelaiatura assiomatica su cui si regge l'intero edificio neoclassico. Vorrei dunque passare criticamente in rassegna alcune di queste ipotesi caratterizzanti, radunando le critiche che sono state portate dai bioeconomisti e da altri studiosi, per poi delineare i tratti essenziali di un nuovo approccio bioeconomico alla teoria del consumatore. Questo consentirà di capire meglio perché, e in quale senso, le proposte qui avanzate possono costituire le premesse di una teoria *altra* rispetto all'economia neoclassica, e quali invece sono compatibili con il *mainstream*.

Stendi il tuo braccio e cogli la mela: critica all'ipotesi della razionalità

L'homo oeconomicus è razionale. Tutta la scienza economica è informata dal principio di razionalità. Come vedremo essa affonda le proprie radici molto lontano. Cercherò di chiarire in che senso, secondo la teoria dei sistemi, questa concezione dell'uomo non solo è irrealistica ma è anche estremamente pericolosa.

In un senso molto generale è razionale quel comportamento che, dati certi fini, individua i mezzi più appropriati a conseguirli: dato un fine C, se B consente di ottenere C, e A consente di ottenere B, allora l'individuo razionale perseguirà l'obiettivo A per ottenere C. In questo senso la razionalità è *strumentale*.

Il serpente disse alla donna:

Non morirete affatto! Anzi Dio sa che, quando voi ne mangiate, si apriranno i vostri occhi e diventerete come Dio, conoscendo il bene e il male. Allora la donna vide che l'albero era buono da mangiare, gradito agli occhi e desiderabile per acquistare saggezza; prese del suo frutto e ne mangiò, poi ne diede anche al marito, che era con lei, e anch'egli ne mangiò (Genesi 3, 4-7).

Questa pagina biblica dà il senso di quanto sia antica e radicata la razionalità strumentale. Essa riflette il modo in cui si è andato evolvendo, quantomeno nella tradizione ebraico-cristiana, il rapporto dell'essere umano con le cose, con il mondo che le circonda, in altre parole con l'ambiente naturale.

Secondo alcuni antropologi è ragionevole ipotizzare che i mammiferi superiori e in particolare *l'homo sapiens* abbiano sviluppato sin da tempi molto remoti un pensiero razionale di questo genere. La razionalità strumentale è il vero braccio, il vero strumento con cui l'uomo ha trasformato e sottomesso l'ambiente che lo circondava. L'intera evoluzione della nostra specie è stata segnata da uno sforzo continuo di trasformazione e sottomissione dell'ambiente naturale, percepito come ostile, alla ricerca di nuove soluzioni, secondo quanto l'essere umano percepiva come meno minacciate e più desiderabile: «... dominerai sui pesci del mare e sugli uccelli del cielo, e su ogni essere vivente che striscia sulla Terra» (*Genesi* 2, 28).¹⁴

Tuttavia le condizioni che caratterizzano l'ambiente naturale in cui *l'homo sapiens* è costretto a vivere oggi non sono più quelle degli albori dell'evoluzione. Proprio *a causa* dell'agire della razionalità strumentale esse sono profondamente mutate. Non vi sono più gli spazi sterminati capaci di assorbire gli effetti sistemici indotti dalla volontà manipolatrice del *sapiens*. Egli continua tuttavia a percepire solo «archi di circuiti». Solo le brevi catene causali necessarie a perseguire *razionalmente* i propri fini. In altre parole, come ha osservato Bateson, le conseguenze sistemiche dell'agire razionale dell'essere umano tendono a rimanere inconse."

L'uomo contemporaneo ha ormai raggiunto una capacità di intervento sugli ecosistemi assolutamente sconosciuta ai suoi predecessori. Il quadro è ora completamente mutato. La potenza della *tecnologia*¹⁶ è tale da poter compromettere la capacità degli ecosi-

¹⁴ Pare inoltre che la specie *rapientr* fosse particolarmente aggressiva e capace di perseguire i propri fini con maggiore efficacia rispetto al coevo *homo neanderthalensis*. Questa maggiore aggressività e spregiudicatezza gli avrebbe fornito significativi vantaggi competitivi, portando all'estinzione dell'*homo neanderthalensis*. Cfr. Delbruck 1986 (trad. it., pp. 109-15).

¹⁵ Sembra infatti che «il metodo di selezione dell'informazione per lo schermo della coscienza sia connesso in modo assai significativo con la finalità, con l'attenzione e fenomeni simili» (Bateson 1972, trad. it., p. 460). Pertanto la natura sistemica del rapporto tra l'individuo e il suo ambiente tende a non essere percepita dalla coscienza. Il nostro campionamento cosciente della realtà tende a percepire solo archi di circuiti, catene causali lineari come quelle descritte dalle funzioni di produzione o di utilità (per costruire una macchina ho bisogno di una certa quantità di lavoro, capitale e materie prime ecc.). Tuttavia se, come abbiamo visto, la «realtà» è costituita da una rete complessa di sistemi, dove a ciascuna catena causale corrisponde un'inevitabile reazione (feedback) da parte del sistema, è ragionevole supporre che la razionalità strumentale finisca per rappresentare un pericoloso boomerang ai fini dell'adattamento dell'essere umano al suo ecosistema.

¹⁶ Essa è formata dall'insieme di quegli «organi esosomatici» che Georgescu-Roegen, rifacendosi ad Alfred Lotka, contrapponeva all'evoluzione degli organi *endosomatici*, caratteristica del mondo biologico.

stemi di sostenere la vita. Egli è ora solo di fronte all'arduo compito di *controllare se stesso*. In questo senso la razionalità strumentale, il protendersi verso le cose senza curarsi delle conseguenze sistemiche delle proprie azioni, diviene al tempo stesso il portato ultimo dell'evoluzione della specie e il pericolo principale per la sua sopravvivenza.

Chi vuole la felicità trova l'infelicità. Dalla razionalità strumentale alla saggezza sistemica

Supponiamo, conformemente alla concezione ortodossa, che la felicità dipenda dal conseguimento o meno di certi obiettivi dati. Se le cose stanno in questi termini, possiamo immaginare che il nostro soggetto sia felice quando riesce a conseguire i propri obiettivi, manipolando efficacemente il proprio ambiente, e infelice quando non vi riesce. Ma, come ha mostrato Martin Buber,¹⁷ impostando il problema della felicità in questi termini (strumentali) l'uomo pone il conseguimento della propria felicità fuori dalla propria portata. La razionalità strumentale contiene in sé la propria debolezza. Non a caso essa è stata stigmatizzata da secoli in particolare dalle grandi tradizioni filosofiche e spirituali d'oriente, secondo le quali premessa per il conseguimento della felicità è liberare l'uomo dalle lunghe concatenazioni mezzo-fine. Se il fine non è più l'affermazione della specie *sapiens* sulle altre specie concorrenti, la vittoria su un ambiente ostile, ma la ricerca della felicità, è possibile che la razionalità strumentale non costituisca più il mezzo maggiormente adatto per perseguire questo fine.

Lo stesso concetto espresso da Buber nei termini di un dialogo *spirituale*, può oggi essere espresso nel linguaggio della teoria dei sistemi. Vediamo in che senso. Il conseguimento degli obiettivi dell'individuo razionale dipende dalle complesse interazioni sistemiche in cui l'individuo è inserito, che sfuggono dalla portata di ciascuno: in altre parole *la parte non può controllare il tutto*. Come

¹⁷ «Il punto di Archimede a partire dal quale posso sollevare il mondo è la trasformazione di me stesso. Se invece pongo due punti di appoggio, uno qui nella mia anima e l'altro là, nell'anima del mio simile in conflitto con me, quell'unico punto su cui mi si era aperta una prospettiva, mi sfugge immediatamente. Cfr. Buber 1948 (trad. it. 1990).

vedremo tra breve, il modello di sviluppo occidentale ha, per esempio, conseguenze sistemiche sul piano delle ineguaglianze sociali e dei danni agli ecosistemi che non sono in larga misura «previste» e che, tuttavia, finiscono per ritorcersi su chi le ha prodotte. In altre parole, perseguendo la felicità, in termini strumentali, l'uomo moderno trova l'infelicità.

È possibile che le cose per l'uomo occidentale si stiano mettendo ancora peggio, ossia che comportamenti ispirati alla razionalità economica portino a una differenza sistematica (cioè non aleatoria) fra le aspettative e la realtà. Questo per esempio si verifica in tutti i casi in cui si innesca qualche forma di «competizione posizionale» tra gli individui.¹⁸

Individualismo e atomismo sociale

Secondo la teoria neoclassica l'unità di analisi è l'individuo: il comportamento economico è determinato dalla somma di comportamenti individuali.¹⁹ La dimensione sociale o di gruppo è assente dall'analisi economica standard.

Difficilmente si potrebbe immaginare un'ipotesi più irrealistica di quella secondo cui il comportamento economico è astrabile dalla dimensione sociale. È evidente che sia il comportamento del consumatore sia quello delle imprese sono determinati, oggi più che mai, dalle interazioni con molteplici soggetti, sia individui sia organizzazioni. Numerosi studi mostrano come il comportamento del consumatore sia profondamente influenzato dalle preferenze dei gruppi sociali a cui esso appartiene (oltre che dai processi di comu-

¹⁸ L'esempio dell'istruzione mostra assai bene questo fenomeno. Come noto essa rappresenta un «bene» che sta acquisendo importanza crescente. Sarà pertanto ragionevole supporre che gli individui saranno disposti a spendere un ammontare crescente di risorse per assicurarsi un elevato livello di istruzione. Tuttavia, se consideriamo questo «bene» nei termini dei vantaggi comparti che questo può offrire, per esempio, nella competizione per un migliore posto di lavoro, ciò che è rilevante per il singolo soggetto non è il livello «assoluto» di istruzione conseguito, quanto piuttosto la differenza tra il livello raggiunto da ciascuno e il livello *amediou* (anche in questo caso i sistemi si mostrano sensibili alle differenze, e non ai valori assoluti). Non è difficile rendersi conto che questo tipo di *competizione posizionale* porterà nel tempo a un innalzamento del livello medio di istruzione e dunque a una *irustrazione generalizzata* delle aspettative dei singoli individui (Hirsch 1976).

¹⁹ Per una critica ampia e ben argomentata all'individualismo come ipotesi caratterizzante la teoria neoclassica cfr. Zamagni 2002.

nicazione multimediali): si pensi ai beni come status symbol, sino ai recenti sviluppi del marketing *relazionale*. Allo stesso modo il comportamento delle imprese è il portato dell'interazione di molteplici soggetti plurali. Queste organizzazioni (altre imprese, sindacati, organizzazioni dei consumatori, enti locali, banche, associazioni ecc.) popolano il mutevole ambiente in cui l'impresa opera. Non è un caso che gli economisti aziendalisti, che a differenza degli economisti teorici hanno sovente a che fare con imprese reali, hanno da tempo, più o meno consapevolmente, abbandonato l'impostazione atomistica. Non a caso, ancora, da tempo gli studiosi di organizzazioni complesse descrivono l'impresa come un «sistema aperto» o addirittura utilizzano la metafora «organismo vivente»²⁰ per interpretare le dinamiche aziendali. L'ipotesi *dell'homo oeconomicus* sopravvive ormai esclusivamente tra gli economisti teorici, sia per le naturali resistenze che la scienza *normale* pone nei confronti del nuovo paradigma, sia in virtù degli stretti legami con l'ideologia neoliberista. Affermare questo con chiarezza, oltre a consentirci di evitare ogni facile illusione circa un rapido declino del vecchio paradigma, ci consente di divenire consapevoli di come, ora che le varie forme di olismo sono divenute ormai residuali, i tempi storici siano ormai maturi per l'emergere di un *terzo paradigma*.²¹

Seguendo Bateson, nel paradigma sistemico l'unità di analisi non è costituita dall'individuo, né dalla società considerata come un tutto, quanto dalla relazione circolare che comprende individuo e società.²² In generale pertanto essa comprende la relazione circolare tra due o più sistemi aperti (di volta in volta definiti). Nello specifico bioeconomico questo implicherà in particolare lo studio

²⁰ Il paradigma sistemico è da tempo assai diffuso tra gli esperti di organizzazioni complesse. In questo ambito l'ipotesi *dell'homo oeconomicus*, legata al meccanicismo della vecchia concezione tayloristica, è oggi ampiamente superata in quanto non più adeguata a spiegare il reale comportamento né delle imprese né delle altre tipologie di organizzazioni.

²¹ È questa l'espressione utilizzata da Alain Caillé a proposito del *paradigma del dono* che egli contrappone appunto all'individualismo metodologico (primo paradigma) e all'olismo (secondo paradigma). Pur condividendo le motivazioni alla base dell'analisi di Caillé (e di Mauss) avanzo qui l'ipotesi che il paradigma del dono possa in qualche modo rientrare in quello che qui io chiamo paradigma *sistemico*. Non vi è dubbio che il dono, fondato come è sulla nozione di *reciprocità*, rappresenti un caso assai rilevante di relazione sistemica come qui definita.

²² Su questo punto, assai delicato e tutt'altro che ovvio, non posso che rimandare alle considerazioni svolte a più riprese da Bateson. Cfr. per esempio i saggi *Forma, sostanza differenza*, in Bateson 1972 (trad. it., pp. 467-68); *Un'impostazione sistemica*, in Bateson 1991 (trad. it., pp. 392-95).

delle relazioni tra i sistemi biologici (a vari livelli) e i sistemi economico-sociali. Vale la pena di osservare che l'approccio sistemico, oltre a superare la profonda inadeguatezza dell'individualismo nell'affrontare le problematiche bioeconomiche, non coincide affatto con l'olismo, in cui il comportamento dei soggetti è sempre in qualche modo determinato da una totalità preesistente ai soggetti stessi (Caillé 1994).²³

Universalismo o naturalismo

È la concezione secondo cui l'economia rispecchia leggi naturali. Ciò porta a considerare le leggi economiche come tendenzialmente *universali*, cioè a-storiche, applicabili in ogni contesto geografico, storico e culturale.

Questa concezione universale o *naturale* della scienza economica ha radici antiche: essa risale quantomeno all'illuminismo e fa tutt'uno con la pretesa della fisica classica di stabilire leggi semplici, valide in ogni tempo e in ogni luogo. Tuttavia la fisica stessa «ha perduto molte delle gemme di cui risplendeva ai tempi di Laplace», e in generale in quasi ogni settore della scienza contemporanea si assiste a una crisi della spiegazione semplice (Morin 1983). Questa complessità nasce, tra l'altro, proprio dallo stretto legame che, nelle scienze sociali in particolare, ogni sistema intrattiene con il proprio contesto storico e sociale.

Per quanto riguarda la scienza economica, Georgescu-Roegen ha fortemente criticato la pretesa dell'economia standard di identificare leggi economiche valide anche al di fuori del contesto occidentale. In particolare egli negava la possibilità di estendere le leggi economiche che caratterizzano i paesi capitalistici alle economie agricole dei paesi sottosviluppati.²⁴ Questo aspetto meno noto della

²³ A differenza di quanto accade nel paradigma olistico, nel paradigma sistemico la presenza nell'ambiente esterno del *nuovo*, del *disordine organizzatore*, dà luogo all'emergere di *biforcazioni*, di trasformazioni evolutive nel sistema stesso. In estrema sintesi, direi che la differenza tra i due paradigmi si traduce nel diverso modo di trattare il fenomeno del «cambiamento». Cfr. Prigogine (1984, 1996, Morin (1977), Bateson (1972, 1991).

²⁴ Cfr. in particolare Georgescu-Roegen 1960; e inoltre il testo *Institutional aspects of peasant community* (1969a), che Georgescu-Roegen scrisse dopo i soggiorni in India (1963), Brasile (1964, dove sarebbe tornato nel 1966 e nel 1971) e Ghana.

teoria bioeconomica assume oggi uno straordinario rilievo: è sempre più chiaro infatti che lo studio delle economie dei paesi del Sud del mondo non può essere svolto prescindendo da fattori di natura istituzionale, culturale e religiosa che caratterizzano queste economie altre. In particolare le comunità contadine e le economie informali tipiche delle periferie urbane del Sud del mondo sembrano non conformarsi ai criteri della razionalità economica occidentale (Latouche 1991).²⁵

L'impossibilità di individuare leggi economiche universali, porta a un rinnovato interesse per la dimensione locale, un'attenzione tesa a valorizzare le qualità peculiari dei luoghi e a promuovere l'autogoverno delle società locali (Magnaghi 2000).

PAKTE SECONDA IL SISTEMA BIOECONOMICO

1. Critica alla teoria neoclassica del consumatore

La teoria neoclassica del consumatore ha, come tutte le analisi logico-deduttive, meriti innegabili. Essa ha il pregio di sgombrare il terreno da equivoci e di impedire comuni errori di pensiero: date certe premesse è possibile dedurre certe precise conseguenze. Tuttavia i suoi meriti oggi non vanno molto oltre questo punto. Non solo la concezione dell'uomo su cui si fonda è, come abbiamo visto, inadeguata, ma anche le ipotesi più tecniche che la caratterizzano sono, come vedremo, irrealistiche se non addirittura pericolose per la sopravvivenza della specie. Non stupiscono pertanto le scarse capacità previsionali della teoria ortodossa, in particolare per quanto riguarda gli effetti della dinamica capitalistica sugli equilibri biologici, ecologici e sociali.

La teoria neoclassica del consumatore è basata su una serie di ipotesi che riportiamo di seguito per completezza:

1) L'homo oeconomicus (HO) fronteggia combinazioni alternative di diversi beni che non implicano né rischio né incertezza.

²⁵ In termini sistemici ciò è ben comprensibile: queste economie altre rappresentano la reazione, la «risposta adattiva» degli esclusi dallo sviluppo ai condizionamenti (tecnologici e colonizzazione dell'immaginario collettivo) prodotti dalle economie occidentali su di esse

Ogni punto $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ è una «allocazione» (o paniere, formato dalle quantità misurabili x , del bene 1, 2, ..., n).

2) Dati due panieri di beni X' e X'' , l'HO preferirà l'uno all'altro, o considererà le due alternative come indifferenti. L'indifferenza è una relazione simmetrica, la preferenza no. Scriviamo: $X' P X''$ per la preferenza e $X' I X''$ per l'indifferenza.

3) Le preferenze dell'HO non cambiano nel tempo.

4) Ipotesi di non sazietà. L'HO non è mai sazio: dato un paniere qualsiasi X' ; allora X'' è preferito a X' se X'' è ottenuto aggiungendo a X' una quantità positiva di almeno un bene.

5) La relazione di non preferenza N (la negazione di P) è transitiva. Cioè, se $X' N X''$ e $X'' N X'''$, allora $X' N X'''$.

6) Ipotesi di stretta convessità delle curve di indifferenza: se $X' N X''$ e $X' N X'''$, allora $X' N [aX'' + (1-a)X''']$, dove $0 \leq a \leq 1$.

L'ipotesi 1 esclude rischio e incertezza dall'analisi. Su questo si è già detto. Essa è accettabile in un contesto deterministico, ma non in un contesto sistemico, in cui l'incertezza è ontologicamente parte del gioco. Essa fa tutt'uno con l'ipotesi 3, secondo cui le preferenze non mutano nel tempo. È evidente che queste due ipotesi caratterizzano il modello come perfettamente statico. Non vi è da stupirsi pertanto se i modelli standard non sono in grado di trattare le dinamiche evolutive. Naturalmente non vi è nulla di male nel delineare un modello che, come quello neoclassico, studia prevalentemente le relazioni sincroniche tra gli elementi del sistema (quello che potremmo chiamare un modello «prevalentemente strutturale»). I problemi nascono quando si tende a estendere la portata dell'approccio neoclassico alla dinamica evolutiva del sistema economico, alle sue interazioni con l'ambiente naturale, con la sfera sociale, o infine quando si tende ad applicare la teoria standard a contesti culturali caratterizzati da sistemi di valori/preferenze profondamente diversi da quelli occidentali. Rispetto a queste estensioni, l'approccio qui suggerito è da considerarsi alternativo a quello neoclassico.

L'ipotesi 2, insieme alla 5, definisce quella che potremmo chiamare l'ipotesi di razionalità. In altre parole il consumatore è sempre in grado, posto di fronte a un'alternativa, di esprimere la pro-

pria preferenza. Abbiamo già criticato, in termini antropologici, la concezione dell'uomo che sottosta all'ipotesi di razionalità. Anche in termini più formali l'ipotesi di razionalità è insoddisfacente. Non è affatto detto che il consumatore, posto di fronte a due beni, sappia effettivamente esprimere la propria preferenza. Questo sia perché egli non dispone di *informazioni perfette* circa le diverse alternative, sia perché un comportamento *esitante* (da non confondere con l'indifferenza) può essere l'inevitabile conseguenza della *non commensurabilità* delle diverse alternative. Come si è visto, questa è una condizione comune nell'universo biologico, in cui gli organismi generalmente perseguono una pluralità di fini.

L'ipotesi di razionalità svolge dunque un ruolo fondamentale nell'ambito della teoria neoclassica: quella di garantire che tutte le possibili alternative siano ordinabili lungo un'unica dimensione, l'utilità.

Come è stato dimostrato,²⁶ la possibilità di ordinare una varietà di «panieri» lungo un unico indice unidimensionale (l'utilità appunto) è destinata a cadere quando si abbia a che fare con un ordinamento delle preferenze di tipo «lessicografico», in cui cioè non vi è *sostituibilità* fra i diversi beni. L'esperienza di tutti i giorni dimostra che questa è una situazione possibile: il cibo non può essere un buon sostituto per chi sta morendo di sete,²⁷ così come l'accesso a Internet non può essere un buon sostituto per chi non ha accesso all'acqua potabile. Ancora, il pane distribuito dalle associazioni umanitarie non può soddisfare chi ha un disperato bisogno di giustizia e di dignità. L'ordinamento delle preferenze è dunque di tipo lessicografico (almeno con riferimento a questa tipologia di beni). Questo è già sufficiente a dimostrare che non è possibile ordinare i beni lungo un unico indice monodimensionale (utilità) come pretende la teoria ortodossa.

Contributi provenienti dai più svariati campi disciplinari, dalla biologia all'antropologia, dalle scienze sociali alla psicologia, ci insegnano che un autentico *benessere* è il portato di molteplici dimensioni: la sua complessità deriva appunto dal fatto che non è

²⁶ Cfr. Georgescu-Roegen 1966, successivamente ripreso da Mayumi 2001, p. 8 20.

²⁷ In virtù della natura biologica dell'essere umano è difficilmente contestabile, infatti, il fatto che i beni finalizzati al soddisfacimento di alcuni bisogni biologici fondamentali (acqua, cibo ecc.) non possano essere sostituiti da altro genere di beni.

possibile ridurre la dimensione fisico-biologica a quella dell'utile o della giustizia.²⁸

Anche dando per buona l'ipotesi di stretta convessità delle curve di indifferenza (ipotesi 6),²⁹ rimane da considerare l'ipotesi che, in assoluto, risulta più inaccettabile da un punto di vista bioeconomico: l'ipotesi di *non sazietà* (ipotesi 4). Essa come noto stabilisce che, a parità di altre condizioni, una quantità maggiore di un bene è sempre preferita a una quantità minore (per ogni bene). In altre parole il consumatore non è mai sazio. Come ora dimostreremo, l'ipotesi di *non sazietà* è al tempo stesso biologicamente infondata e, soprattutto, estremamente pericolosa.

La natura al contempo economica e biofisica dell'essere umano ci mostra chiaramente che (oltre ai noti vincoli di bilancio) egli è sottoposto a dei limiti di natura biologica. Come abbiamo visto, gli organismi biologici in generale, e i mammiferi in particolare, non mirano a disporre di quantità «massime» di alcuna variabile, quanto piuttosto al raggiungimento di una condizione di equilibrio omeostatico: troppo ossigeno comporta la combustione dei tessuti, come troppo poco ossigeno comporta uno stato di asfissia. Nessun organismo vivente è spinto a consumare più di quanto gli sia necessario per mantenersi in buone condizioni di salute e assicurare la continuità della propria specie. Il troppo, come il troppo poco, è sempre da considerarsi pericoloso nel mondo biologico.³⁰

È su questo punto che si consuma un'insanabile rottura tra l'economia standard e le leggi della fisica e della biologia. In un mondo fisicamente limitato, in cui energia e materia sono sottoposte a un irreversibile processo di degradazione (entropia), presupporre la «non sazietà» del consumatore significa postulare le condizioni della propria autodistruzione come specie, facendo della scienza economica un costrutto astratto, completamente disancorato da

²⁸ Georgescu-Roegen ha avanzato l'ipotesi, sostenuta da alcuni psicologi (Maslow 1970), secondo cui sarebbe possibile postulare un ordine gerarchico dei bisogni. Cfr. Georgescu-Roegen 1966. Questa ipotesi, alla luce della recente antropologia comparata, è probabilmente troppo forte e, comunque, non necessaria a dimostrare l'incongruenza della teoria neoclassica.

²⁹ Cfr. Mayumi 2001.

³⁰ Esiste un altro fattore limitante, di natura fisica, che è il *tempo disponibile*. Ogni individuo, per quanto avido e competitivo, dispone di un tempo limitato per il consumo, ed è ragionevole che, oltre una certa quantità di beni, egli non disponga del tempo sufficiente per goderne.

ogni realtà fisica e biologica. È evidente infatti che il consumo di quantità sempre crescenti di beni si scontra con i limiti della biosfera, sia di natura termodinamica che biologica.

2. Homo bioeconomicus?

È possibile a questo punto proporre, come ipotesi di lavoro, una lista di caratteristiche antropologiche che delineano i tratti fondamentali di quello che potremmo definire homo bioeconomicus (*HB*), quali possibili criteri di orientamento per la costruzione di un'altra economia biologicamente e socialmente sostenibile:

- 1) *L'HB* ricerca la *felicità* intesa come pluralità di *valori*, tra loro (almeno parzialmente) irriducibili.
- 2) La *felicità/benessere* dipende, tra l'altro, dalle relazioni tra i soggetti (reciprocità).
- 3) L'unità di analisi non è l'individuo, quanto la relazione circolare tra due o più sistemi (per esempio biosfera, società, organizzazioni complesse, famiglie ecc.).
- 4) *L'HB* è soggetto alle leggi della termodinamica e della biologia.
- 5) Le leggi economiche non sono universali bensì condizionate dal contesto storico, culturale e istituzionale (localismo).
- 6) *L'HB* non mira alla massimizzazione di alcuna variabile semplice, quanto piuttosto a una condizione di equilibrio fra le più variabili.
- 7) *L'HB* è caratterizzato dalla coesistenza di comportamenti di tipo competitivo (espansivo) con comportamenti di tipo cooperativo (di equilibrio).
- 8) *L'HB* è orientato dalla saggezza sistemica anziché dalla razionalità strumentale.
- 9) I bisogni dell'*HB* sono (generalmente) saziabili.

Per quanto astratte, queste ipotesi descrivono probabilmente la realtà in modo più adeguato di quanto non facciano quelle proprie della teoria ortodossa. Esse rappresentano, lo ribadiamo, solamente delle possibili ipotesi di lavoro. Nonostante queste descrivano, credo, un universo dotato di una certa coerenza, nulla richiede che vengano accettate in *toto*. Anzi, può essere interessante elaborare

teorie e modelli che presuppongano solo alcune di esse. Riconosco che, per quanto tali ipotesi si sforzino di rimanere aderenti alla realtà biologica, economica e sociale, esse svelano al tempo stesso una tensione normativa, etica. Ritengo che questa dimensione etica vada riconosciuta e accettata, e anzi costituisca un elemento imprescindibile per affrontare la vastità e l'urgenza dei problemi che l'approccio sistemico viene a svelare.

3. Una *teoria* bioeconomica del consumatore

Estendendo alla teoria del consumatore l'approccio introdotto da Georgescu-Roegen nell'ambito della teoria della produzione (in particolare attraverso la distinzione tra fondi e flussi), si intende muovere qui verso una teoria bioeconomica del comportamento del «consumatore». Essa consente di trattare le interazioni che il «soggetto di consumo», che non coincide qui necessariamente con il singolo consumatore,³¹ intrattiene non solo con la sfera biofisica, ma anche con quella economica e sociale. Questo tentativo non può che costituire un canovaccio, un modello aperto su cui costruire, nella prospettiva di superare i limiti della teoria tradizionale.

Come noto, la teoria neoclassica affronta il comportamento del consumatore partendo da una funzione di utilità del tipo:

$$U = f(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

dove cioè l'utilità del consumatore viene a dipendere esclusivamente dalle quantità dei «beni» consumati dal soggetto. In altre parole il benessere degli individui è ricondotto al flusso di beni che essi sono in grado di consumare. Ma se guardiamo alla funzione di consumo da un punto di vista bioeconomico, ci accorgiamo che questa impostazione soffre di quello che Georgescu-Roegen chiamava il «complesso del flusso»): in altre parole essa considera esclu-

³¹ Assumiamo qui come «soggetto di consumo» un'unità sociale, generalmente più ampia del singolo consumatore, come la famiglia, il gruppo di acquisto o, eventualmente, il clan. Assumiamo inoltre il termine «consumo» in un'accezione assai ampia: essa sarà per noi qualsiasi attività che comporta una variazione nella «felicità»/benessere del soggetto di consumo. Si accetta dunque l'ipotesi che «il consumatore» sappia (generalmente) esprimere le proprie «preferenze» (teoria delle preferenze rivelate) sebbene, in conformità alle nostre ipotesi, esse non saranno necessariamente ordinabili lungo un medesimo indice unidimensionale (utilità).

sivamente i flussi che *attraversano* il processo e trascura invece i *fondi* (o sistemi) che *fanno parte* del processo e che svolgono in esso un ruolo di grande rilievo.³²

Il modello che intendo proporre introduce dunque, accanto ai flussi, tre specifici fondi:³³ essi sono costituiti dai «consumatori» considerati nella loro dimensione biofisica (C), dalla ricchezza sotto forma di beni durevoli da questi posseduta (K_C) e dal capitale naturale (K_N) (vedi figura 1 a p. 32).

I consumatori (considerati nella loro dimensione biofisica) costituiscono un importante fondo nel processo di consumo nel senso che ciascun soggetto, per poter godere di qualsivoglia «bene», sia esso una partita di calcio o un abito firmato, deve essere posto in condizione di preservare il proprio equilibrio biofisico. Tale equilibrio è garantito da un flusso di risorse naturali (x_n) provenienti dall'ambiente, oltre che da un flusso di beni di consumo (x_i) generalmente acquistati sul mercato. A essi si aggiunge un flusso di «beni relazionali» (x_r)³⁴ provenienti dalla «sfera sociale» esterna al soggetto di consumo. Tali flussi, oltre a garantire il mantenimento biofisico dei consumatori, contribuiscono a generare quel flusso di felicità/benessere (F) che costituisce il vero output dell'attività economica.

Il secondo fondo è costituito dalla ricchezza (capitale) posseduta dai «consumatori» (K_C). Con questa espressione si intende in particolare l'insieme dei *beni durevoli* posseduti dalla famiglia (la casa e la biblioteca di famiglia possono costituire esempi di questo tipo).

³² Sarà bene richiamare la differenza fondamentale tra fondi e flussi. Secondo Georgescu-Roegen ciò che caratterizza un fondo è l'ipotesi secondo cui esso sia presente al termine del processo nelle medesime condizioni in cui vi è entrato. Affinché tale ipotesi rappresenti la realtà in modo soddisfacente, il modello prevede specifici flussi che consentano di mantenere ogni fondo nelle medesime «condizioni di efficienza» in cui si trovavano all'inizio del processo (Georgescu-Roegen 1971, p. 230). Rispetto alla funzione di consumo ciò significa, per esempio, che grazie al flusso di beni quali cibo, acqua ecc. è assicurato il mantenimento della funzionalità biofisica dei membri della famiglia.

³³ A differenza della definizione fornita da Georgescu-Roegen, i fondi possono qui presentare, al termine del processo, modifiche di natura sia quantitativa che qualitativa. Nonostante queste trasformazioni, immaginiamo che essi, in quanto *sistemi*, di natura solitamente autocorrettiva, siano sempre riconoscibili al termine del processo (cfr. il saggio *Ricette fattibili contro tecnologie vitali*, presentato in questo volume alle pp. 192 sgg.).

³⁴ Con questa espressione si intende quel particolare tipo di «beni» che non possono essere goduti isolatamente, ma solamente nella relazione tra chi offre e chi domanda. Esempi di questo tipo di «beni» sono i servizi alla persona (cura, benessere, assistenza), ma anche l'offerta di servizi culturali, artistici, e religioso/spirituali.

Quello che la presenza di questo fondo vuole sottolineare è che (per quanto il ruolo del capitale sia più noto come fattore di produzione) esso svolge un compito altrettanto significativo come «agente» di consumo.

Per comprendere questo ruolo basti pensare che la ricchezza accumulata dalle famiglie sotto forma di beni durevoli rappresenta una fonte «diretta» di felicità/benessere indipendentemente dal flusso di beni che queste famiglie sono in grado di acquistare sul mercato. Il piacere che traiamo, per esempio, stando seduti nel giardino di casa leggendo un libro, ha certamente richiesto in passato una attività di produzione, ma esiste ora sotto forma di ricchezza. Tali beni durevoli richiedono, per essere goduti, solo di un modesto flusso di *materia/energia* (x_m, x_e) per mantenere la casa e il libro nelle medesime condizioni in cui sono entrate nel processo. Che il godimento della vita sia una funzione della *ricchezza*, e dunque dei fondi prima ancora che del reddito (flusso), costituisce un'importante distinzione rispetto alla teoria standard. Essa ci invita a guardare alle nostre ricchezze con occhi diversi, comprendendone appieno il loro valore. Da un punto di vista bioeconomico, ogni bene durevole costituisce un prezioso patrimonio di materia-energia organizzata, capace di produrre benessere con apporti ulteriori di materia-energia molto modesti. Tale patrimonio viene, almeno in parte, irreversibilmente perduto ogni volta che il bene viene distrutto per acquistarne uno «nuovo».

È possibile inoltre ampliare il concetto di capitale a disposizione delle famiglie per comprendere al suo interno la «ricchezza» di natura sociale o *relazionale*. Essa è costituita dall'insieme di quelle relazioni sociali o «neoclaniche» che consentono alle famiglie di integrare il proprio benessere (o semplicemente di sopravvivere) rispetto alle possibilità consentite loro dall'accesso ai mercati tradizionali. Questo concetto comprenderà sia la ricchezza accumulata nel settore *informale* dell'economia (che caratterizza soprattutto le economie più povere: Latouche 1991) sia la ricchezza sociale costituita dalle varie organizzazioni che compongono, nei paesi più ricchi, il variegato universo di quella che definiamo «economia solidale» o civile (Laville 1994; Zamagni 1998). Come noto, la teoria economica tradizionale trascura questa dimensione che è invece di

primaria importanza, sia nei contesti delle economie meno avanzate - neile quali non si spiegherebbe altrimenti la capacità di sopravvivere (e alle volte di essere felici!) che queste società manifestano pur con redditi monetari estremamente bassi - sia nei paesi occidentali, dove risponde al crescente bisogno di qualità della vita, relazionalità, solidarietà presente in questo tipo di società. Inoltre i «beni relazionali» posseggono caratteristiche molto peculiari da un punto di vista bioeconomico. Essi infatti implicano, come vedremo, un consumo molto ridotto di materia/energia.

Il terzo fondo è costituito dal capitale naturale (K_N) e cioè dall'insieme organizzato degli elementi che costituiscono la ricchezza della biosfera (aria, acqua, territorio, specie animali e vegetali ecc.).

Per comprendere in che senso il capitale naturale assume un ruolo significativo nell'ambito del processo di consumo, dobbiamo immaginare cosa sarebbe del nostro benessere se non disponessimo del territorio su cui abitiamo, delle fonti di acqua pulita per bere o cucinare. In termini più strettamente economici possiamo pensare cosa sarebbe dell'industria turistica se il mare si presentasse privo di vita o inquinato, o cosa sarebbe dello shopping in un centro urbano in cui l'aria è divenuta irrespirabile. Per quanto il ruolo del capitale naturale sia più evidente nella funzione di produzione (sia come input di risorse che come agente di trasformazione) un'analisi più attenta ci renderà consapevoli del fatto che anche l'attività di consumo presuppone uno spazio fisico e soprattutto il mantenimento degli equilibri ecologici.

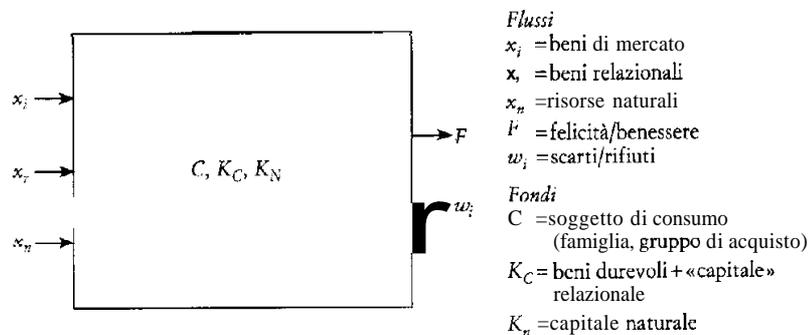


Figura 1
Il consumo: *fondi e flussi*.

Il capitale naturale, d'altro canto, costituisce una fonte diretta di benessere per le famiglie. Il piacere di abbeverarsi a una fonte di alta montagna o la semplice contemplazione di un paesaggio alpino, la possibilità di osservare o, meglio ancora, di convivere con la moltitudine di esseri viventi che abitano la biosfera, costituiscono da sempre una continua fonte di gioia per gli esseri umani, che si genera, si noti bene, indipendentemente dalla produzione e dal consumo di beni. Ciò che desidero mettere in luce è che una parte importante del benessere/felicità a cui gli esseri umani possono attingere dipende da un fondo (il capitale naturale) che già *esiste* e che pertanto non richiede alcuno sforzo produttivo (sia in termini di «lavoro» che di impiego di capitale, risorse o tecnologia) se non quello legato alla sua conservazione.

Il modello presenta dunque tre tipologie di fondi (C, K_C, K_N) trascurate dall'analisi tradizionale. Ciò che caratterizza l'approccio bioeconomico alla teoria del consumatore è che, contrariamente a quanto affermato dalla teoria standard, *flussi di beni e servizi non sono in grado, da soli, di produrre alcun benessere*. L'ipotesi standard secondo cui l'utilità dipendeva esclusivamente dai flussi di beni e servizi in possesso del consumatore, era giustificabile in un contesto (quello degli albori della società industriale) in cui nulla minacciava seriamente il mantenimento dei fondi (equilibrio della biosfera, quantità apparentemente crescenti di capitale a disposizione delle famiglie ecc.). È evidente che oggi queste condizioni «di equilibrio» non possono in alcun modo essere date per scontate. Pertanto la teoria bioeconomica dovrà analizzare innanzitutto le condizioni di «mantenimento» di questi fondi, e come le trasformazioni legate ai processi economici ne compromettano la possibilità di sostenere la vita e di produrre benessere.

Non andrà mai dimenticato, infine, che il processo di consumo comporta la degradazione entropica di una certa quantità di materia/energia, la quale risulterà non più utilizzabile al termine del processo. Per tenere conto di ciò occorrerà considerare in output la presenza di un flusso di scarti/rifiuti (w_i).³⁵

³⁵ Se introducessimo lo Stato nella rappresentazione semplificata del processo economico qui presentata, dovremmo prendere in considerazione le tipologie di fondi da questo, controllate: parchi, risorse naturali, ferrovie, autostrade, rappresentano esempi di questo tipo. È bene osservare che anche questi fondi possono costituire fonte «diretta» di benessere da parte delle fami-

In conclusione questo approccio, oltre a mostrare l'importanza delle diverse tipologie di ricchezza (e dunque non solo dei redditi) ai fini del benessere delle società, consente di interpretare una serie di fenomeni più vasti, che si verificano alla frontiera tra biosfera, economia e società e che sfuggono alle maglie dell'analisi tradizionale.

Innanzitutto esso consente di spiegare per quali motivi nelle economie occidentali, nonostante un significativo aumento nei consumi di beni e servizi tradizionali, sia sempre più diffusa la percezione di una riduzione del benessere.³⁶ Ciò può essere spiegato attraverso un deterioramento nella qualità dei fondi. In particolare, fattori quali la perdita di qualità ambientale, lo stress, la crescente insicurezza sociale ecc. fanno sì che, nonostante l'aumento dei flussi di beni e servizi che caratterizza le economie ricche, il benessere tenda a diminuire.

Per quanto riguarda le economie del Sud del mondo, la cronica carenza di «ricchezza» in particolare sotto forma di beni durevoli (casa, accesso all'acqua potabile ecc.) è alla base (prima ancora della carenza di beni di consumo) dei bassi livelli di benessere caratteristici di queste società. Essa spiega inoltre la loro incapacità di accedere a quelle soluzioni ecologiche tecnologicamente avanzate proposte dai tecnocrati dello sviluppo. Le soluzioni tecnologiche più rispettose dell'ambiente richiedono infatti alte concentrazioni di capitale di cui queste economie non dispongono. Per quanto esse tentino di reagire all'impatto della globalizzazione attraverso il moltiplicarsi delle relazioni neoclaniche che animano l'economia informale, non vi è dubbio che la distruzione dei legami sociali di tipo tradizionale e lo sradicamento determinato dall'impatto delle economie occidentali, abbiano comportato una complessiva riduzione del «capitale relazionale» e dunque del benessere.

glie. La visita alle piramidi o anche il semplice uso di un'autostrada o di una ferrovia non richiedono, anche qui, altro sforzo per produrre benessere se non quello legato alla loro conservazione. In definitiva tali «beni pubblici» costituiscono la *ricchezza* accumulata dalla collettività.

³⁶ Un indicatore di benessere che, tra i primi, ha mostrato un andamento decrescente (a partire dalla metà degli anni settanta), è l'Indice del benessere economico sostenibile (ISEW), a cui si possono affiancare vari indici settoriali (quali il consumo di psicofarmaci o il tasso di suicidi). Cfr. Daly e Cobb 1989.

4. Teoria della produzione

Come noto, la teoria tradizionale della produzione è basata su una funzione di produzione neoclassica del tipo:

$$Q = f(K, R, L)$$

che nella versione di lungo periodo («teoria della crescita») di Solow/Stiglitz assume la forma:

$$Q = K^a R^b L^c$$

con:

$$a + b + c = 1.$$

Ciò significa che la produzione cresce al crescere della quantità di lavoro (L), del fondo di capitale (K) e del progresso tecnologico.

Soprattutto essa assume che sia possibile produrre una qualsiasi quantità di prodotto Q, riducendo a piacimento le risorse naturali R, purché venga aumentato sufficientemente il fondo di capitale secondo l'espressione:

$$R^b = \frac{Q_0}{K^a L^c}.$$

In altre parole, la teoria neoclassica assume perfetta sostituibilità fra risorse naturali e capitale fabbricato dall'uomo. Un'assunzione che non a caso, è anche alla base della definizione neoclassica di sviluppo sostenibile (Bonaiuti 2001, p. 122). Ciò significa, come ha affermato Solow, che «non c'è in linea di principio alcun problema, il mondo può, in effetti, andare avanti senza risorse naturali» (Solow 1974, p. 11).

È possibile dimostrare, tuttavia, che tale assunzione viola le leggi della termodinamica. Se, come affermano i neoclassici, la funzione di produzione altro non è che una ricetta, Solow e Stiglitz implicitamente affermano che sarà possibile, riducendo la quantità di farina, cuocersi una pizza più grande semplicemente utilizzando un forno più ampio (oppure due cuochi al posto di uno). Com'è evidente, questa formulazione semplicemente non rispetta il bilancio dei materiali: un modo diverso di leggere la prima legge della termodinamica.

L'insoddisfazione nei confronti della teoria tradizionale ha spinto Georgescu-Roegen a sviluppare una diversa e più ampia teoria della produzione.³⁷

I fattori di produzione secondo l'accezione classica - lavoro, capitale e terra ricardiana (rispettivamente L , K , e T) - costituiscono le fondamentali tipologie di fondo.³⁸ Analogamente a quanto visto per la teoria del consumatore, ciò che caratterizza un fondo è l'ipotesi secondo cui esso sia ancora presente al termine del processo nelle medesime condizioni in cui vi è entrato. Per fare sì che tale ipotesi sia rispettata, il modello prevede che un certo ammontare di materia/energia (flusso) sia impiegata per riportare il fondo alle condizioni iniziali.³⁹ Le risorse naturali (m_i) e i prodotti intermedi (x_i) che vengono impiegati nel processo di produzione, costituiscono le due tipologie di flussi in ingresso. Prodotti finiti (q_i) e scarti (w_i) costituiscono le due tipologie di flussi in uscita, come mostrato nella figura 2.

Come ha osservato Herman Daly, il modello fondi-flussi pone in evidenza che «ciò che chiamiamo produzione è in realtà la trasformazione di risorse in prodotti dotati di utilità e in prodotti di scarto. Lavoro e capitale sono agenti di trasformazione (e pertanto sono da considerarsi stock interni al "sistema" produttivo), mentre risorse, bassa entropia energetica/materiale, sono ciò che viene trasformato (i flussi che entrano nel sistema)» (Daly 1999, p. 20). Questa differenza, che scompare nella rappresentazione neoclassica, è invece assai rilevante poiché, come si è detto, «non vi è sostituibi-

³⁷ Cfr. Georgescu-Roegen 1971, cap. 9 e soprattutto il saggio *Ricette fattibili contro tecnologie vitali* presentato in questo volume alle pp. 192 sgg.

³⁸ È vero che, come ha osservato Boulding, lavoro, capitale e terra ricardiana rappresentano aggregati assai eterogenei. Essi risultano più significativi come fattori di *distribuzione* che come fattori di *produzione*. Egli pertanto propone una diversa classificazione che prevede energia, materia e conoscenze (*know-how*) come fattori fondamentali di produzione. In effetti lavoro e capitale, nel senso tradizionale, altro non sono che aggregati di *materia/energia* e conoscenze. Sarebbe possibile, e anzi auspicabile, l'elaborazione di un modello sistemico che utilizzasse la classificazione proposta da Boulding. Qui si è scelto tuttavia di mantenere le categorie standard (lavoro, capitale e terra) per consentire di cogliere meglio le differenze tra l'approccio sistemico qui proposto e la tradizionale funzione di produzione.

³⁹ Così si esprime Georgescu-Roegen: «[...] dobbiamo ipotizzare un processo nel quale lavoro e materiali vengono continuamente impiegati per mantenerci in uno stato di efficienza costante gli oggetti normalmente logorati durante il processo. [...] In ogni impresa, in ogni famiglia, una parte sostanziale del tempo di lavoro e dei materiali è costantemente impiegata nella manutenzione degli edifici, dei macchinari e dei beni durevoli in uno stato efficiente di funzionamento» (cfr. *infra*, p. 198).

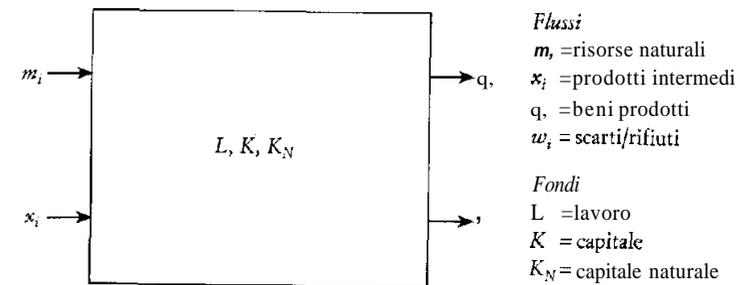


Figura 2
La produzione: fondi e flussi

lità tra fattori di flusso e fattori di fondo», e in particolare tra il flusso di materia/energia in entrata e lo stock di capitale impiegato nel processo.⁴⁰

Non si può, riducendo la quantità di farina (flusso di risorse naturali), produrre uno stesso numero di pizze semplicemente aumentando il numero dei pizzaioli o dei forni (fattori di fondo), così come non si può produrre un dato ammontare di automobili riducendo l'impiego di metallo (anche se si utilizzano i più avanzati robot). In altre parole sarà possibile sostituire facilmente un elemento di fondo con un altro elemento di fondo (per esempio capitale con lavoro), o un elemento di flusso con un altro (per esempio il ferro con l'alluminio nella costruzione di automobili), ma la relazione tra fondi e flussi è ((fondamentalmente una relazione di complementarità e non di sostituibilità» (Daly 1999, p. 20). L'errore in cui sono incorsi i teorici neoclassici deriva dall'aver indebitamente esteso agli *n* fattori della produzione quel principio di *sostituibilità* che vale solamente tra lavoro e capitale (sebbene con evidenti ripercussioni sociali). Quanto abbiamo sino a ora sottolineato deriva essenzialmente dal rispetto del bilancio dei materiali.

Tuttavia, anche la seconda legge della termodinamica comporta conseguenze rilevanti per il processo di produzione. Questo non solo per il fatto che essa implica, come si è visto, un'inevitabile degradazione della materia/energia in input e un'altrettanto inevitabile produzione di scarti. Infatti, nel modello georgescu-roegeniano,

⁴⁰ Cfr. *infra*, p. 203

anche i fattori di fondo (capitale, lavoro, terra ricardiana) sono soggetti al medesimo processo di logoramento, tanto che il modello individua specifici flussi finalizzati al mantenimento di ciascun fondo in «condizioni di efficienza» costante. Ciò poiché il capitale, per esempio un tornio, entra nel processo in «buone» condizioni e ne esce inesorabilmente logorato. Un certo ammontare di materia e di energia sarà necessario per riportarlo alle originali condizioni di efficienza.

5. *Progresso tecnologico, new economy e critica bioeconomica*

Da sempre gli economisti ortodossi hanno difeso la crescita dagli attacchi degli ecologisti con una molteplicità di argomentazioni, il cui fulcro teorico ruota attorno al concetto di *progresso tecnologico*. L'idea fondamentale è che il progresso tecnologico consentirà, come già avvenuto in passato, di «spostare avanti i ceppi», giungendo a produrre quantità crescenti di beni con un uso sempre minore di materia ed energia. Questo fenomeno, noto in letteratura come *dematerializzazione del capitale*, ha incontrato grande interesse da parte degli economisti.

Progresso tecnologico e nuove tecnologie sono alla base del recente sviluppo della *new economy*, in cui il processo di dematerializzazione del capitale è particolarmente evidente (Toffler 1995). Il passaggio dal capitalismo «fordista», con le sue fabbriche fumose, alla civiltà *on line* comporterebbe, secondo questi autori, la transazione definitiva a un'economia leggera, a un processo produttivo pulito, caratterizzato da un bassissimo consumo di risorse materiali e quindi da un ridottissimo inquinamento.

Non voglio negare che, nonostante la crisi in cui attualmente versa il settore della *new economy*, le nuove tecnologie rappresentino una novità importante anche da un punto di vista ecologico. Tuttavia occorre guardare a questo fenomeno più in profondità, adottando un approccio autenticamente sistemico.

È certamente corretto affermare che il settore delle tecnologie informatiche e, più in generale, i settori coinvolti nella cosiddetta *new economy*, siano capaci di produrre reddito con un minore impiego di risorse naturali. Tuttavia, ci domandiamo, fino a che punto le nuove tecnologie rappresentano un sostituto, e non piuttosto un

complemento delle tecnologie tradizionali? In altre parole un numero crescente di società di software o di consulenza finanziaria significa forse una minor produzione di auto o di energia elettrica? Mentre i consumi di numerose risorse *per unità di prodotto* sono effettivamente diminuiti nei paesi più avanzati, i consumi *assoluti* di molte risorse chiave continuano ad aumentare. Alcuni dati basteranno a chiarire questo punto:

Una unità di GNP, oggi, può essere prodotta con meno energia che all'inizio degli anni settanta. L'intensità dell'energia (misurata come energia per unità di GNP) è diminuita del 25 per cento (media OECD) nei paesi OECD dal 1970 al 1988. Ma questa diminuzione dell'intensità di energia non ha portato a una riduzione *dell'uso totale* di energia. L'uso (totale) di energia [*primary energy consumption*] è aumentato del 30 per cento nello stesso periodo (Binswanger 1993, p. 227).

Per quanto l'aumento dei consumi assoluti sia in parte dovuto all'aumento della popolazione, il modello fondi-flussi di Georgescu-Roegen ci suggerisce un'interessante interpretazione di questo fenomeno. Le nuove tecnologie richiedono, come ogni forma di capitale (fondo), un flusso di risorse per essere mantenute «in condizioni di efficienza». Ma, occorre domandarsi, quanto la produzione di capitale a elevato contenuto tecnologico (che è anche e soprattutto capitale umano) richiede in termini di risorse per il proprio mantenimento? Con ogni probabilità un ingegnere occidentale, impiegato in una società che produce computer, utilizza *direttamente* meno capitale naturale di quanto non ne utilizzi, per esempio, un lavoratore indiano impiegato in uno stabilimento per la produzione di coloranti. Tuttavia quanto capitale naturale richiede la produzione sociale di un ingegnere? E delle tecnologie informatiche in generale? Si possono forse produrre computer senza recarsi al lavoro in automobile o senza disporre di una casa arredata con ogni comodità? Le infrastrutture e le istituzioni necessarie alle democrazie avanzate per farsi promotrici dell'innovazione tecnologica non richiedono esse stesse, per poter essere mantenute, un significativo ammontare di capitale manufatto, umano e naturale? E ancora. Si può forse immaginare che i paesi meno avanzati possano giungere a utilizzare nuove tecnologie (se mai vi giungeranno) senza passare attraverso una prolungata fase di industrializzazione? In altre parole la produzione di tecnologie avanzate implica un continuo ammontare di input provenienti da processi di trasformazione di tipo tra-

dizionale, che a loro volta richiedono quantità crescenti di risorse naturali. Per quanto il progresso tecnologico possa effettivamente ridurre le quantità di energia e materia impiegate in determinati settori (informazione, servizi ecc.), è assai improbabile che tale processo possa essere esteso a tutti i settori produttivi e tantomeno a livello globale.

In conclusione la critica bioeconomica dimostra, da un lato, che non è possibile prescindere dalle risorse naturali (sostituendole con capitale prodotto dall'uomo) e, dall'altro, che il puntare unicamente sullo *sviluppo* tecnologico non comporta la riduzione dell'impatto sugli ecosistemi, bensì un aumento dei consumi *assoluti* di risorse. La tecnologia, e soprattutto la fede cieca nello *sviluppo tecnologico* che la sostiene, lungi dal costituire la soluzione al problema ecologico, rappresentano piuttosto un alibi che impedisce di giungere ad affrontare efficacemente il problema. Il modello che abbiamo delineato ci consente di intravedere altrove le strategie più interessanti per produrre benessere riducendo l'impatto sugli ecosistemi.

6. Produzione fisica e produzione di valore

Occorre innanzitutto chiarire un'importante premessa. Quando si discute di *crescita* economica in relazione agli ecosistemi, occorre tenere ben presente che mentre Georgescu-Roegen considera la produzione in termini rigorosamente *fisici*, gli economisti neoclassici si riferiscono alla produzione in termini di *valore*. Come noto il valore implica i prezzi e questi ultimi l'utilità associata a determinati beni o servizi. Per quanto si possano (e io credo si debbano) criticare le premesse utilitariste su cui si fonda la teoria neoclassica, occorre essere consapevoli che considerare la produzione in termini di valore porta la questione su un piano completamente diverso. Mentre Georgescu-Roegen fa riferimento alle possibilità di sostituzione fra risorse naturali e tecnologia per *produrre* uno stesso bene (per esempio un'automobile), gli autori neoclassici fanno riferimento alle possibilità di sostituzione che si presentano per produrre un determinato livello di benessere. È evidente infatti che lo stesso servizio (utilità) lo si può ottenere spostandosi a cavallo oppure in automobile, ma con un ben diverso impiego di risorse naturali e

tecnologia. Quando Ayres afferma che «nel lontano futuro il sistema economico non ha bisogno di produrre una significativa quantità di beni» è evidente che egli sta ragionando «in termini di utilità e non di produzione fisica costante»). Ayres è corretto nel riconoscere che, senza questa precisazione, la critica di Georgescu-Roegen alla teoria neoclassica sarebbe «devastante».

Ciò che ci insegnano le leggi della termodinamica, e in particolare la legge di entropia, è che la decrescita della produzione è inevitabile in termini *fisici*. Ciò non significa, e non deve portare a credere che questo implichi *necessariamente* una riduzione della produzione in termini di valore" né, tantomeno, della *felicità* delle persone.

Ciò premesso ritengo possibile (e forse anche probabile) che l'inevitabile riduzione della produzione in termini fisici trascinerà con sé una qualche riduzione del prodotto mondiale lordo, come immaginava Georgescu-Roegen, e dunque a una crisi del capitalismo globale. Qui entriamo nel terreno delle speculazioni dove, credo, nessuno oggi disponga di previsioni attendibili. Due sono essenzialmente le alternative. La prima è che una qualche catastrofe di dimensioni planetarie induca una profonda revisione delle preferenze. La seconda è che una profonda revisione delle preferenze eviti la catastrofe. Affinché sia questa seconda strada a essere percorsa molto dipenderà dalla capacità che sapremo dimostrare di produrre valore pur riducendo l'utilizzo di *materia/energia*.

Occorre dunque rivedere il nostro modo di concepire la produzione di valore economico. Un possibile percorso attraverso cui intraprendere questa trasformazione è costituito dal *trasferimento della domanda verso la produzione di «beni relazionali»*.

7. Verso una «decrescita conviviale»

In altre parole, occorre favorire lo spostamento della domanda dalla produzione di beni tradizionali ad alto impatto ambientale, a quei beni per i quali l'economia solidale o civile possiede uno *speci-*

⁴¹ Sono ovviamente consapevole di quanto il prodotto interno lordo costituisca un pessimo indice di benessere. Tuttavia esso, contenendo in qualche modo, attraverso il sistema dei prezzi, le preferenze dei consumatori, consente di introdurre la differenza tra produzione fisica e produzione di valore.

fico vantaggio comparato, cioè i beni relazionali. Nelle società avanzate vi è una specifica domanda di qualità della vita. Ma tale domanda non si soddisfa grazie alla produzione di maggiori quantità di beni «tradizionali» (Zamagni 1998). E piuttosto una domanda di attenzione, di cura, di conoscenza, di partecipazione, di nuovi spazi di libertà, di spiritualità. La «produzione» di questo tipo di «beni» comporta la degradazione di quantità molto modeste di *materia/energia*. Essi tuttavia possono, in prospettiva, sostenere una quota significativa della produzione futura in termini di valore, quantomeno nei paesi ricchi. Questo certamente significa una trasformazione profonda dell'immaginario economico e produttivo (Latouche, 2002b).

Occorre essere ben consapevoli che una politica ecologica incentrata unicamente su una drastica riduzione dei consumi (oltre a essere con ogni probabilità destinata al fallimento) creerebbe, *data l'attuale struttura della produzione*, una drammatica riduzione della domanda globale e dunque un aumento significativo della disoccupazione e del disagio sociale. Proviamo a immaginare cosa accadrebbe se improvvisamente tutto l'Occidente si adeguasse a livelli di consumo ecologicamente sostenibili: certo sarebbe una manna per gli ecosistemi, ma una vera e propria catastrofe per l'economia e per l'occupazione. In questa fase di transizione verso un'economia sostenibile andrà attribuita la massima importanza alla produzione di beni relazionali.

Inoltre, mai come in questo momento è apparso chiaro il legame tra sostenibilità ecologica e sostenibilità economico-sociale. L'espansione dell'economia solidale, attraverso la produzione di beni relazionali, non solo crea valore economico laddove è possibile ridurre al minimo la degradazione della *materia/energia*, ma costituisce una potente via per la realizzazione di un'economia *giusta*, riequilibrando il processo di concentrazione della ricchezza a cui stiamo assistendo attualmente.

Molti dei beni e servizi generalmente forniti da strutture pubbliche o private potranno in futuro essere svolti secondo i criteri dell'economia solidale da organizzazioni non profit: penso in particolare alla produzione agricola e alimentare di qualità, alla produzione di energia su base locale, all'artigianato, ai servizi, dalla formazione al turismo, solo per citare alcuni esempi (Laville 1994; Laville e Gardin 1996).

8. Consumo e produzione: un approccio sistemico

Consideriamo ora la relazione sistemica tra consumo e produzione. Nel quadro che abbiamo delineato la sfera del consumo interagisce con quella della produzione per due ordini di motivi. Il primo, ovvio, è dovuto al fatto che, come per la teoria standard, l'insieme dei beni e servizi domandati dai consumatori coincide con il flusso di beni e servizi offerti dal sistema produttivo. Il secondo, caratteristico dell'approccio sistemico, è dovuto al fatto che il sistema produttivo condivide con la sfera del consumo le medesime tipologie di fondi: esseri umani (considerati ora come lavoratori ora come consumatori) e capitale (economico, *relazionale* e naturale). La conseguenza più vistosa di questa interazione è che un più alto livello della produzione non significa necessariamente un più alto livello di utilità (come per la teoria standard), ma al contrario essa può comportare una *riduzione del «benessere* individuale o sociale*. Ciò è dovuto alle trasformazioni, sia di natura quantitativa che qualitativa, subite dai fondi per effetto delle attività di produzione (e consumo). Più precisamente, qualsivoglia modifica nei valori o nella composizione dei flussi (per esempio un maggiore impiego di risorse o l'utilizzo di una nuova tecnologia o di un nuovo tipo di organizzazione del lavoro), interferendo sui fondi (per esempio distruggendo il capitale naturale, modificando la struttura relazionale o infine impedendo l'accumulo di quantità anche minime di ricchezza - beni durevoli - da parte delle famiglie), incide non solo sul flusso di beni prodotti (come nella teoria tradizionale), ma anche sul «benessere» dei consumatori.

Un esempio ovvio è rappresentato dall'uso intensivo di una risorsa naturale. La recente apertura dei territori della Siberia alle battute di caccia dei turisti occidentali, al fine di vendere questa tipologia di «servizi» sul mercato, porterà, nel tempo, alla scomparsa delle rare specie cacciate, come è accaduto, già da molto tempo, in Europa. E ovvio che questa attività, oltre a produrre un reddito connesso al flusso degli animali cacciati, finirà per alterare il corrispondente fondo (l'equilibrio riproduttivo e quindi, in definitiva, l'esistenza della risorsa). La conseguenza non sarà solo la scomparsa delle imprese che gestiscono questo «servizio», ma anche

un'evidente perdita di benessere per gli abitanti della zona, che non potranno più godere della presenza di questi animali.

Analoghi interrogativi possono essere posti a partire dai cambiamenti nelle variabili «relazionali». Per esempio la diffusione di sistemi di organizzazione del lavoro che richiedono maggiore efficienza/sfruttamento del lavoro, nella misura in cui aumentano lo stress, riducono le possibilità di un uso intelligente del tempo libero e, in casi limiti, distruggono la struttura relazionale della società esistente, non può certo essere giudicata positivamente solo in quanto aumenta il prodotto interno lordo dell'economia in questione. Considerazioni analoghe possono essere svolte in relazione all'impatto che le politiche di sviluppo occidentali hanno avuto sul capitale naturale e sul tessuto sociale di molti paesi del Sud del mondo.

In termini più generali questo approccio tenta di fornire un supporto interpretativo ai numerosi paradossi che caratterizzano l'attuale sistema socioeconomico. Queste situazioni paradossali, del resto evidenti da tempo, richiedono approcci teorici in grado di tematizzare le conseguenze che le politiche di crescita e sviluppo producono sul «benessere» della società, non solo direttamente, ma in quanto capaci di alterare gli equilibri nelle strutture (fondi) da cui, in ultima analisi, tale «benessere» dipende.

PARTE TERZA LA DINAMICA EVOLUTIVA

1. *Il fagiano argo e la spirale dei redditi*

Vorrei ora analizzare le possibili trasformazioni evolutive del modello. Seguendo l'approccio sistemico questo significa, a mio avviso, mettere in evidenza innanzitutto quelle relazioni circolari che possono condurre il sistema lungo una spirale autoaccrescitiva. Occorre dunque individuare i principali circuiti retroattivi capaci di spiegare quel fenomeno paradossale per cui l'uomo occidentale, cercando felicità e benessere, trova in realtà povertà crescente, emarginazione, guerre e varie forme di malessere sociale.

Durante la parata nuziale le penne maestre del fagiano argo maschio (*Argusianus argus*) vengono dirette verso la femmina ed esibite

in tutta la loro maestosità, in un atteggiamento simile a quello del pavone quando fa la ruota. Poiché, come è stato dimostrato, la scelta del compagno compete esclusivamente alla femmina, le possibilità riproduttive dell'argo sono strettamente legate alla capacità di stimolo sessuale e, dunque, alla maestosità della sua livrea nuziale. Ciò ha portato, nel corso dell'evoluzione, a un progressivo allungamento delle penne maestre di questo uccello sino a ridurlo in una condizione paradossale: egli è divenuto quasi incapace di volare.

Questo, riportato da Konrad Lorenz in *Gli otto peccati capitali della nostra civiltà*, è un illuminante esempio di retroazione positiva: la competizione tra i membri di una stessa specie (selezione intraspecifica) dà luogo a un processo esponenziale che, in assenza di un intervento regolatore, si concluderebbe con l'estinzione della specie. Nel caso specifico il circuito regolatore (feedback negativo) è costituito dai predatori, che eliminando i soggetti più «esibizionisti», ne limitano la crescita continua delle penne maestre. Questo caso costituisce una splendida metafora del ruolo della tecnologia nell'ambito delle economie occidentali. Essa presenta il medesimo carattere ipertrofico ed è il frutto di un analogo processo di retroazione positiva. Vediamo in che senso.

Si potrebbe dire che tutta la razionalità economica occidentale è ispirata al principio e alla prassi dell'efficienza. Tutta l'economia insegnata nei corsi di base impartiti nelle università occidentali si ispira a tale, unico, principio fondamentale: l'efficienza. Essa spinge le imprese a minimizzare i costi nella prospettiva di massimizzazione dei profitti. Una maggiore efficienza è infatti il criterio che consente alle imprese di risultare vincenti nella dinamica competitiva, di superare la *selezione* attuata dai mercati. Le imprese più efficienti realizzano maggiori profitti. Questi consentono loro di realizzare maggiori investimenti. Maggiori investimenti in tecnologia e capitale umano produrranno nuovamente maggiore efficienza. In questo modo il processo circolare si chiude innescando un feedback positivo che porta a ulteriore «progresso» tecnologico.⁴² Si spiega

⁴² I maggiori sviluppi tecnologici si avranno inoltre in quei settori in cui la domanda effettiva è più alta. Questo spiega, per esempio, l'incredibile arretratezza delle tecnologie per l'agricoltura (non da esportazione) dei paesi poveri per i quali la domanda effettiva *P* molto bassa. D'altro canto i settori ad alta tecnologia dei paesi ricchi si sviluppano sempre più velocemente (cfr. il saggio di Georgescu-Roegen, *Ineguaglianza, limiti e crescita da un punto di vista bioeconomico*, qui pubblicato alle pp. 114 sgg.).

così l'ipertrofismo della megamacchina tecnoscientifica nelle moderne società occidentali, che si mostra ancora in continua crescita.

Questo processo, accelerato dalla globalizzazione dei mercati, produce un'evidente *emergenza* sul piano distributivo: dati gli attuali sistemi di distribuzione del reddito e delle proprietà, il processo autoaccrescitivo della tecnologia porta con sé una crescente differenziazione dei redditi. In altre parole i ricchi divengono sempre più ricchi e i poveri sempre più poveri (spirale o forbice dei redditi). L'evidenza empirica a questo riguardo è robusta. Un solo dato per tutti: il reddito annuale delle 225 persone più ricche del pianeta supera la somma dei redditi annuali del 47 per cento della popolazione mondiale (2 miliardi e 500 milioni di persone).⁴³

La progressiva concentrazione del progresso tecnologico nei paesi occidentali e nelle mani di poche imprese transnazionali comporta l'emergere di una crescente *ineguaglianza* nella distribuzione del reddito. Il ragionamento può essere articolato a vari livelli (di singolo mercato o aggregato) sino a comprendere interi Stati-nazione. Chi può oggi francamente aspettarsi che il Bangladesh entri nella corsa tecnologica, si metta a produrre telefonini o anche solo automobili o prodotti di medio livello tecnologico a prezzi competitivi? Queste economie più povere sono ormai escluse dalla competizione internazionale, sono ormai, per dirla con Latouche, «buone per la rottamazione».

È importante notare che l'ineguaglianza, oltre a essere l'effetto della ricerca spasmodica dell'efficienza, ne è anche, in qualche modo, la causa. In altre parole l'ineguale distribuzione dei redditi (e dunque la presenza di individui disposti a offrire il proprio lavoro a salari estremamente bassi) è funzionale alla minimizzazione dei costi per le imprese e consente perciò di mantenere o di accrescere nuovamente l'efficienza. Il circuito dunque si chiude e si autoalimenta (anche) lungo questa via.

⁴³ Si vedano in particolare le edizioni annuali del Rapporto *sullo sviluppo* umano, da cui risulta inoltre che negli ultimi decenni il divario di reddito tra il quinto più ricco della popolazione del pianeta e il quinto più povero è cresciuto dalla proporzione di 30:1 nel 1960 a 74:1 del 1997. È stato anche fatto notare che le ricchezze dei tre miliardari primi in classifica sono maggiori della somma del prodotto nazionale lordo di tutti i paesi meno sviluppati e dei loro 600 milioni di abitanti. Cfr. UNDP 1999, p. 19.

In conclusione, la dinamica sistemica del progresso tecnologico porta non solo a una drastica riduzione di benessere per i più poveri e gli esclusi, ma anche alla diffusione dell'idea che l'economia capitalista è profondamente ingiusta. E poiché, come credo, la percezione di aver subito un'ingiustizia strutturale, prima ancora della povertà stessa, è fonte di infelicità per tutti coloro che ne hanno la consapevolezza, ecco che inseguire esclusivamente l'efficienza porta, oltre all'allargamento delle varie forme di emarginazione, a una progressiva diffusione del malessere sociale globale.

2. La spirale autoaccrescitiva dei consumi e del lavoro

Tutti noi, come cittadini delle opulente società occidentali, siamo sempre più consapevoli che un aumento ulteriore dei nostri livelli di consumo non porterebbe, contrariamente a quanto assume la teoria economica tradizionale, ad alcun aumento significativo della nostra «felicità». Ma se le cose stanno in questi termini perché mai i consumi continuano ad aumentare? Un po' tutti, a questo proposito, abbiamo l'impressione di essere «parte di un ingranaggio più grande di noi»⁴⁴ nel quale, al di là delle apparenze, risulta difficile comprendere verso quali esiti questo processo ci stia conducendo. È sempre più evidente che per comprendere un fenomeno complesso come il circolo vizioso dei consumi, occorre andare oltre le analisi strettamente economiche, allargando il nostro sguardo a comprendere fenomeni di natura psicologica e sociale.⁴⁵

Il teologo e psicoterapeuta Eugen Drewermann ritiene fondamentale, per comprendere la condizione e il comportamento dell'uomo moderno, il concetto di *angoscia*.⁴⁶ La paura della morte e la rottura

⁴⁴ A questo proposito risultano molto interessanti le riflessioni di Bateson sul comportamento degli alcolisti. È fondamentale per la guarigione che l'alcolista raggiunga la consapevolezza di «essere parte di un sistema più grande di lui». La pretesa dell'autocontrollo, in questo senso, «è mostruosa». Il comportamento del consumatore, da questo punto di vista, è assai simile a quello dell'alcolista descritto da Bateson.

⁴⁵ Tra gli autori che, partendo da considerazioni di natura psicologica e genetica, hanno evidenziato i danni posti in essere dall'organizzazione economica moderna, si rimanda in particolare ai lavori di Erich Fromm, tra cui *L'umore e la sua disintegrazione nella società occidentale contemporanea* (in Fromm 1956), e Konrad Lorenz, in particolare *Il declino dell'uomo* (1983, trad. it. 1984).

⁴⁶ Cfr. Drewermann 1982-84.

di un rapporto armonico con Dio e con l'universo (la natura e gli animali innanzitutto) sono alla base dell'angoscia che caratterizza la condizione della civiltà moderna. Per superare tale condizione di angoscia l'essere umano ricorre a vari stratagemmi che assolvono al compito fondamentale di restituirgli un'immagine di sicurezza e autostima. Si comprende, in questa prospettiva, come il rifugiarsi nelle cose, il continuo aumento dei consumi, rispondano a tali bisogni.

Fa ormai parte della letteratura economica ortodossa il fatto che i consumatori oggi, anche quando acquistano un «oggetto» (per esempio un capo di abbigliamento) siano in realtà in cerca di un'«esperienza». Si spiegano così gli enormi investimenti che le grandi catene compiono per dare ai loro punti vendita caratteristiche tali da rinforzare questa sensazione, al punto tale da realizzare veri e propri templi del consumo. Il marchio deve incarnare uno stile di vita. Un'esperienza che consoli l'individuo e lenisca l'angoscia del vivere. Va da sé che da questo punto di vista il consumatore non è realmente *mai sazio*, poiché entro breve si ritroverà nella medesima condizione di prima e quindi avrà nuovamente bisogno di ricorrere a una nuova esperienza di consumo.

Un discorso del tutto analogo può essere svolto per i consumi di quei beni, oggi sempre più diffusi, la cui «utilità» (ormai del tutto separata dal valore d'uso) è legata esclusivamente all'effetto di differenziazione sociale che essi producono (alcuni tipi di auto, abiti e accessori firmati, vacanze esotiche possono costituire esempi di questo genere di beni). I sistemi cibernetici non sono sensibili ai valori assoluti quanto piuttosto alle differenze. In questo caso l'utilità non è funzione della quantità del bene consumato, quanto piuttosto della differenza tra il consumo individuale e lo standard di riferimento per il gruppo sociale di cui l'individuo si sente parte. È evidente che questo atteggiamento porta all'innalzamento del livello medio dei consumi, e quindi a un ulteriore innalzamento dei consumi individuali, dando luogo a una rincorsa all'infinito, senza per questo che nessun consumatore giunga mai a uno stato di definitivo appagamento.

Inutile dire che, a dispetto delle nostre angosce e dei nostri bisogni di differenziazione sociale, ogni aumento nel consumo di materia o energia accresce l'entropia del sistema e sancisce una possibilità in meno per il futuro.

Assai interessante dal nostro punto di vista è anche il circolo vizioso che si realizza sul fronte del lavoro. L'altra strada maestra con cui gli individui compensano l'angoscia e la solitudine che caratterizza le moderne società industriali è il lavoro inteso in termini *strumentali*, cioè come mezzo di affermazione sociale. Il bisogno di affermazione sociale porta a un progressivo aumento dell'impegno sul lavoro oltre che all'aumento vero e proprio della giornata lavorativa, che può giungere sino a raddoppiarsi rispetto agli standard contrattuali. Questa rincorsa risulta ancora meno efficace e più drammatica di quella del consumo. Soffocare le angosce nel lavoro comporta una rimozione delle cause che ne sono alla radice. L'angoscia dunque non viene risolta; al contrario, il ridursi del tempo libero e più in generale l'estinguersi di quelle condizioni che consentirebbero una maggiore consapevolezza di sé rendono il processo di rimozione radicale e definitivo. Gli alti redditi associati a posizioni sociali di successo troveranno generalmente sbocco in nuovi consumi (se non altro per rendere riconoscibile il proprio status sociale) alimentando il circolo vizioso dei consumi. Inoltre il bisogno di affermazione sociale, innescando le dinamiche della competizione posizionale (tutti cercheranno di avere successo e promozioni) porterà mediamente a vedere frustrate le proprie ambizioni, dando luogo a un nuovo slancio emulativo. Questo comportamento porta il nostro Robinson, lavoratore-imprenditore, a radicare sempre più in sé quella componente di insoddisfazione e di angoscia che va così a chiudere il ciclo provocando un'evidente diffusione del malessere psicologico e sociale, un aumento della produzione e dei consumi e un incremento nella degradazione della *materia/energia*.

Se i circoli viziosi dei consumi e del lavoro ora descritti sembrano in grado di autoalimentarsi, tuttavia non vi è dubbio che essi risultano ulteriormente accelerati dalla pressione competitiva indotta dall'economia globale. La globalizzazione ci esige sempre più efficienti, capaci, flessibili.⁴⁷ Lo stress, ossia le sempre maggiori pressioni a cui l'individuo è sottoposto, fuori e dentro l'ambiente di lavoro, produce una diretta perdita di benessere, oltre ad alimentare il senso d'angoscia che è alla base delle spirali dei consumi e del lavoro sopra descritte.

⁴⁷ Va da sé che, al contrario, i soggetti meno efficienti e *competitivi* possono trovarsi esclusi dal mercato del lavoro, divenendo totalmente inoperosi.

3. Alienazione e distruzione del legame sociale

Vi è un ulteriore processo, più noto agli economisti, che spiega una grossa parte della perdita di benessere che caratterizza le società moderne. Anch'essa è generata e amplificata dalla ricerca della massimizzazione dell'efficienza: è la dinamica *dell'alienazione*. La ricerca della massima efficienza produce, come noto, una crescente specializzazione del lavoro che porta dunque a una progressiva separazione del lavoratore dal controllo dei fini a cui è rivolta l'attività organizzativa. Questo fenomeno, già sottolineato da Marx e da Weber, è particolarmente evidente nelle grandi industrie e porta inevitabilmente a una perdita di benessere sociale. Come ha notato Bateson, le moderne organizzazioni complesse sono in realtà aggregati «di parti di persone», gli individui sono cioè indotti ad annullare una parte della propria personalità in funzione del perseguimento dei fini organizzativi. Fortunatamente è impossibile che tale operazione riesca in modo completo, e ciascuno conserverà, a livelli più o meno profondi, un avanzo di personalità, un residuo di saggezza sistemica. Nel contesto occidentale l'alienazione ha riguardato prevalentemente il lavoro di fabbrica, in particolare durante le fasi della prima industrializzazione, ma trova ancora oggi bruciante attualità nelle zone franche di esportazione del Sud-est asiatico, dove sconfinano in vere e proprie nuove forme di schiavitù. Anche se più brutale, il fenomeno dell'alienazione è forse meno pericoloso di quello legato all'angoscia, perché, a differenza di quest'ultimo, sembra essere meglio percepito dalla coscienza e quindi porta generalmente a innescare meccanismi di reazione, quali l'organizzazione sindacale dei lavoratori, che tendono a compensare, nel tempo, le cause che hanno generato l'alienazione stessa.

La teoria economica standard ignora questo aspetto, come gli altri effetti precedentemente descritti, semplicemente perché assume che il lavoro non rientri nella funzione di utilità del soggetto. L'utilità è infatti esclusivamente associata al consumo. Ma questa ipotesi, considerando l'importanza centrale che il lavoro assume nelle società moderne, è oggi evidentemente inaccettabile.

Inoltre, la storia economica e sociale delle moderne società industriali mostra come l'industrializzazione sia strettamente connessa

con la distruzione dei legami sociali che caratterizzava i precedenti sistemi di organizzazione sociale. L'abbandono delle comunità fondate su un'economia di tipo agricolo, per cercare lavoro in città, rappresenta l'esempio tipico di questa esperienza, ancora drammaticamente attuale nel contesto economico e sociale dei paesi più poveri.

Quello che voglio sottolineare qui è la natura sistemica, e dunque autogenerativa, di questo processo come di quelli precedentemente descritti. L'individuo, perdendo l'appoggio della comunità di origine, è costretto a rivolgersi al mercato per ottenere alcuni beni e servizi che prima venivano svolti dalla comunità attraverso scambi non monetari (la produzione di beni alimentari, molti servizi, tra cui l'assistenza ai bambini e alle persone anziane, possono rappresentare alcuni esempi in proposito). D'altro canto, l'estensione dell'economia di mercato comporta un'ulteriore distruzione dei legami sociali che a loro volta spingono gli individui, ormai ridotti ad atomi sociali, e privi di alternative non monetarie, a rivolgersi maggiormente ai mercati. Si alimenta così un processo circolare il cui esito sarà quello di allargare continuamente gli spazi del mercato e ridurre quelli della sfera sociale.

4. I circoli viziosi dal lato dell'offerta: profitti e concentrazioni transnazionali

Gli anelli di feedback ora descritti caratterizzano il lato della domanda e spiegano l'aumento dei consumi (e quindi l'incremento di entropia) delle economie sia del Nord sia del Sud del mondo. Ma altri circoli viziosi sono presenti dal lato dell'offerta.

Il naturale esaurirsi del ciclo di vita dei prodotti, unito al ridursi degli incrementi di produttività nei settori maturi, porta a una progressiva riduzione dei profitti. Questo fenomeno, ben noto agli economisti classici, spinge il sistema economico verso la creazione di sempre nuovi beni e nuovi mercati, accelerando così il processo entropico. Solamente applicandosi a nuovi prodotti e aprendo nuovi mercati, i miglioramenti tecnologici consentono di sfuggire al principio ricardiano dei rendimenti decrescenti e alla conseguente caduta del saggio di profitto. Ma questa continua fuga in avanti non sfugge alle leggi della termodinamica. Anche a fronte di

miglioramenti tecnologici e quindi alla riduzione nell'impiego di risorse per unità di prodotto, la produzione assoluta continua ad aumentare, e così il consumo di risorse e la quantità di inquinamento."⁴⁸

Anche qui ci troviamo di fronte all'ennesimo processo autoacrescitivo: la metafora del bolide che corre a velocità sempre maggiore (e senza pilota) diviene così estremamente calzante per descrivere la dinamica evolutiva del nostro sistema produttivo (Latouche 1995, trad. it., p. 29).

In questa corsa verso nuovi prodotti e nuovi mercati le imprese che risultano vincenti – realizzando elevati profitti – tendono ad assorbire quelle più deboli e dunque a favorire la concentrazione delle imprese in grandi gruppi transnazionali. Grazie ai favolosi investimenti pubblicitari, questi giganti dell'economia non solo sono in grado di condizionare le preferenze dei consumatori spingendoli verso sempre nuovi acquisti (alimentando così il circolo vizioso dei consumi) ma riescono a escludere dal mercato i soggetti minori che non sono in grado di sopportare costi pubblicitari della stessa portata.⁴⁹ L'esperienza recente mostra come questo processo di concentrazione/fusione di imprese possa raggiungere dimensioni tali da rappresentare un pericolo non solo per gli equilibri ecologici, ma anche per la stessa democrazia (Chomsky 2002).

È importante notare che i circoli viziosi presenti dal lato della domanda e dal lato dell'offerta hanno tra loro effetti sinergici: da un lato l'aumento dei consumi, dovuto alle ragioni ricordate, comporta un continuo aumento della produzione e dell'entropia; dall'altro la sfera della produzione ha un continuo bisogno di occupare nuovi mercati, di crescere (per alimentare nuovi profitti) e dunque di indurre il consumatore ad assorbire quantità sempre maggiori di beni e servizi.

⁴⁸ Nonostante il grande parlare di new economy e di smaterializzazione del capitale, i consumi assoluti di risorse continuano ad aumentare. Cfr. i dati riportati a p. 39.

⁴⁹ Fortunatamente il gigantismo comporta anche l'incremento di alcune tipologie di costi (per esempio quelli di transazione), oltre a consentire una minore capacità di adattamento ai mutamenti del mercato. Il processo tende quindi a produrre spontaneamente alcune reazioni, che finiscono per limitare l'accrescimento delle imprese

5. *La moneta cattiva scaccia quella buona: teniarizzazione, corruzione finanziaria e diffusione dell'economia illegale*

L'economia contemporanea presenta casi sempre più eclatanti in cui la pressione competitiva, contraddicendo le presunte proprietà ottimizzanti della «mano invisibile* del mercato, favorisce comportamenti distruttivi per la collettività: in altre parole avvantaggia i «peggiori». L'analogia con i sistemi biologici può esserci estremamente utile, anche in questo caso, per comprendere la natura autoacrescitiva del fenomeno e quanto sia parziale la rappresentazione del processo di funzionamento dei mercati offerto dalla teoria standard.

Il caso Nike, ormai giunto all'orecchio del grande pubblico, può servire da esempio per illustrare questo punto. Nell'aprile del 1998 la multinazionale, leader del settore, è stata citata in giudizio con l'accusa di aver tenuto segreti i risultati di un rapporto presentato da una società di consulenza sulle condizioni di lavoro nelle fabbriche alle quali veniva appaltata la produzione di scarpe. Nel rapporto si leggeva tra l'altro che «in alcuni reparti della fabbrica *Tae Kwang Vina*, i lavoratori erano esposti a sostanze cancerogene in concentrazione 177 volte più elevata di quella ammessa dalla legge e che il 77 per cento dei dipendenti soffriva di problemi respiratori». Si tenga presente che in Indonesia, dove veniva appaltata buona parte della produzione Nike, gli operai lavorano mediamente 270 ore al mese in cambio di un salario di circa 40 dollari (15 centesimi l'ora) con i quali è possibile coprire appena il 30 per cento dei bisogni vitali di una famiglia di quattro persone. Complessivamente il costo del lavoro nelle fabbriche di calzature incideva sul prezzo prodotto finito per meno dello 0,2 per cento.⁵⁰

Che cosa spinge dunque una multinazionale multimiliardaria a schiacciare il costo del lavoro sino a questi livelli parossistici, rischiando di compromettere la propria immagine, se non la paura, o piuttosto la certezza, che se non sarà lei saranno gli agguerriti rivali a fare altrettanto? Che cosa spinge un'azienda a staccare un assegno di 20 milioni di dollari l'anno a una nota star dell'atletica

⁵⁰ Cfr. A.-S. Boisgallais e M. Cozette, *Nike: l'éloge de la loi de la jungle*, in «Alternative économiques», 110, settembre-ottobre 1993, pp. 38-41.

per prestare la sua immagine negli spot pubblicitari (cifra che avrebbe consentito un raddoppio dei salari per tutti i lavoratori indonesiani)⁵¹ se non la rincorsa verso l'alto delle spese pubblicitarie spinta dalla competizione posizionale?

L'effetto di una selezione intraspecifica esasperata,⁵² nel lungo termine, è dunque sempre quello di favorire i «peggiori». È evidente che in questa corsa al ribasso chi riuscirà a sfruttare di più e meglio i propri lavoratori, chi riuscirà a pagare meno tasse o a eludere i controlli ambientali sarà favorito nella dinamica competitiva. I casi che si potrebbero riportare sono infiniti e l'acuirsi delle dinamiche competitive legate al processo di globalizzazione offrono continui nuovi esempi.

«Avete un'impresa che versa in cattive acque?...», scrive l'economista Paul Krugman commentando il caso Enron.⁵³ Bene: basta che vi impegnate per contratto a vendere i vostri prodotti per i prossimi trent'anni sottostimando i costi di produzione e la vostra azienda zoppicante si trasformerà improvvisamente in una società florida. Potrete così vendere le vostre azioni a prezzi gonfiati sollevando l'azienda e consentendo al top management di intascare stock options miliardarie. Ma, ci si chiederà, dove erano i controllori? «I revisori dei conti non avevano interesse a dare filo da torcere a società che garantivano alti compensi alle loro attività di consulenza, i funzionari di banca non avevano interesse a essere rigidi con imprese che li avevano coinvolti in alcuni lucrosi affari paralleli»...; i funzionari governativi sono stati resi complici grazie ai contributi elettorali e altri incentivi hanno impedito ai garanti di fare il loro lavoro. La spirale della corruzione si estende a macchia d'olio sino a spingere le autorità di politica economica ad annunciare che «un capitalismo senza etica è un malato incurabile»). Tuttavia nelle istituzioni internazionali deputate (WTO) si continua ad avversare qualsiasi interferenza alla «libertà di commercio» e si imbastiscono sermoni sulle presunte capacità ottimizzanti e autoregolatrici del mercato.

⁵¹ Cfr. il capitolo dedicato da Naomi Klein al caso Nike (2000, trad. it., pp. 349-67).

⁵² Si noti che il prodotto, se si esclude la differenziazione realizzata attraverso la pubblicità, il marchio ecc. è fortemente omogeneo (ne è prova il fatto che è realizzato nei medesimi stabilimenti della concorrenza) e pertanto si presta a innescare dinamiche fortemente competitive.

⁵³ P. Krugman, in «la Repubblica», 8 luglio 2002, p. 7.

Lo stesso espandersi delle varie forme di economia criminale, dal banale contrabbando di sigarette al commercio degli esseri umani (o di loro parti), può essere interpretato alla luce del processo circolare generato dalla competizione intraspecifica. Anche se non è corretto affermare che un aumento della pressione competitiva implichi *direttamente* un aumento del comportamento illecito, tuttavia è evidente che la criminalità organizzata trova nelle varie forme di esclusione (queste si generano dalla dinamica competitiva) un ambiente favorevole, una riserva di manodopera che, sapendo di non poter essere *competitiva* nell'ambito dell'economia ufficiale, trova nell'illegalità la propria «nicchia», il solo modo per sopravvivere, arricchirsi ed espandersi. Tutti questi fenomeni dunque, lungi dal rappresentare secondari effetti collaterali nell'ambito dell'inarrestabile processo di crescita e sviluppo universale, come pretenderebbe la teoria ortodossa, sono piuttosto conseguenze intrinseche della pressione competitiva innescata dall'economia globale (selezione intraspecifica).

6. Strategie di adattamento e reazione

Se i processi appena descritti hanno natura autogenerativa, è lecito domandarsi: come mai il sistema capitalistico, che pure si regge su queste dinamiche, non ha ancora dato luogo alla propria autodistruzione, ma anzi domina, pur tra mille contraddizioni, il panorama economico e sociale globale?

È noto che gli ecosistemi, come i sistemi sociali, hanno una loro resilienza, una capacità di accumulo; in altre parole, le spirali autodistruttive descritte richiedono, prima di dar luogo a catastrofi irreversibili, tempi che nessuno è in grado di precisare. Inoltre è importante rendersi conto che già ora i processi descritti danno luogo, in diverse parti del sistema economico e sociale, a fenomeni di reazione, di autorganizzazione spontanea della società civile, in altre parole a delle catene di feedback negativo che muovono nella direzione opposta rispetto a quelle potenzialmente esplosive prima descritte.

Ritengo necessario pertanto, in sede conclusiva, accennare ad alcuni di questi processi compensativi per l'ovvia ragione che essi

costituiscono i possibili «rimedi» all'attuale crisi ecologica e sociale. In altre parole essi indicano la direzione verso la quale è possibile muoversi per delineare un assetto economico e sociale ecologicamente e socialmente sostenibile. Si tratta evidentemente di un compito enorme rispetto al quale si potranno solo indicare alcuni possibili percorsi. Ciò che più importa, e per il quale si è cercato qui di fornire un contributo, è individuare un criterio metodologico generale: qualsiasi intervento che compensi in qualche modo le dinamiche autoaccrescitive prima descritte muove nella giusta direzione.

Il primo circolo vizioso che abbiamo analizzato è quello che porta, attraverso il progresso tecnologico, dalla rincorsa dell'efficienza a un aumento delle *ineguaglianze economiche e sociali*.⁵⁴

A titolo esemplificativo, la presenza sul territorio di ricchezze e conoscenze tecnologiche relativamente diffuse, il formarsi di un forte sindacato, la presenza di un sistema di tassazione progressivo, l'aumento delle spese sociali, la presenza di istituti previdenziali e assistenziali, sono tutti fattori di retroazione negativa che possono complessivamente mitigare gli effetti della «naturale» polarizzazione della ricchezza prodotta dallo sviluppo economico. Alcuni di questi fenomeni, quali l'autorganizzazione dei lavoratori (sindacalizzazione), tendono a prodursi spontaneamente laddove (come nei paesi del Sud del mondo) le condizioni di lavoro sono particolarmente dure e i salari vicini ai livelli di sussistenza. Altri invece, quali l'introduzione di sistemi di redistribuzione del reddito a livello internazionale, richiedono la creazione di istituzioni o per le quali non esiste alcun significativo precedente storico. Dovremo pertanto attenderci, in assenza di opportuni interventi, un'ul-

⁵⁴ È opportuno sottolineare come questa conclusione sia profondamente diversa da quella sostenuta dalla teoria standard. L'economia tradizionale infatti (non solo di matrice neoclassica ma anche keynesiana) crede nel cosiddetto *effetto di ricaduta*, secondo cui l'aumento di reddito nei paesi (o negli strati sociali) più favoriti si trasferisce nel tempo a quelli più poveri. Questa tesi, in definitiva, pretende di *estendere* a livello globale ciò che è accaduto in determinati contesti storici e istituzionali interni all'Occidente (per esempio alle classi medie in Italia negli anni cinquanta-settanta, dove si è effettivamente osservato un significativo aumento del reddito pro capite). Il discorso non è di poco conto poiché è evidente che la legittimazione ultima di ogni politica di crescita e sviluppo risiede innanzitutto nel successo che queste hanno avuto nell'*elevare* il tenore di vita delle classi inferiori (John Rawls). È evidente inoltre che l'aumento delle dimensioni complessive della torta (crescita economica) è ciò che ha reso possibile accantonare, almeno provvisoriamente, l'eterno problema della sua distribuzione (giustizia).

riore allargamento della forbice del reddito tra Nord e Sud nei prossimi anni. Qualunque nuovo strumento che compensi gli effetti polarizzanti della forbice dei redditi, consentendo una qualche redistribuzione internazionale della ricchezza, muove dunque nella giusta direzione.⁵⁵ Dovrebbe tuttavia essere chiaro che nessuno strumento, nessuna soluzione tecnica, potrà prodursi senza la diffusione della consapevolezza che nel contesto attuale i mercati, lasciati a se stessi, non conducono spontaneamente verso condizioni di massimo benessere sociale. Come si è detto, questo non esclude che la ricetta liberista possa aver «funzionato» in determinati contesti storici e bioeconomici, in particolare in condizioni espansive. >Queste tuttavia non sono più le condizioni prevalenti nell'attuale contesto bioeconomico globale, in cui gli ecosistemi presentano un alto grado di saturazione.

La crescente consapevolezza di queste condizioni di disequilibrio ecologico e sociale ha recentemente dato luogo a numerosi fenomeni di autorganizzazione spontanea della società civile. Tali variegata esperienze, che riassumiamo qui sotto il nome di *economia solidale e sostenibile*, sono portatrici di istanze sociali, ambientali, partecipative che, a Nord come a Sud, vanno sperimentando soluzioni economiche *altre* rispetto all'economia standard.

Pur nella pluralità delle definizioni, possiamo affermare che le diverse esperienze di economia solidale perseguono obiettivi che vanno oltre il tradizionale comportamento autointeressato degli agenti. Esse trovano fondamento nel principio di *reciprocità*. La reciprocità costituisce un aspetto importante del comportamento umano: non sempre siamo disposti a interagire con altri al solo scopo di conseguire determinati obiettivi; quanto a dire che l'interazione non è solo pura attività *strumentale* (Caillé 1994; Godbout 1996). La relazionalità è, cioè, una risorsa che può essere consumata senza vincoli di scarsità: più ampia la cerchia dei «consumatori

⁵⁵ La proposta di introduzione di una tassa sulle transazioni finanziarie («Tobin Tax») da destinare al sostegno delle economie più povere rappresenta un primo interessante tentativo in questa direzione.

⁵⁶ Il fatto che questa limitazione non venga colta dalla teoria standard è l'ovvia conseguenza del riduzionismo metodologico che la caratterizza: assumendo, per ipotesi, di trascurare gli effetti sistemici indotti dal processo economico, è evidente che non si possono cogliere le ricadute negative sugli equilibri ecologici e sociali, né le trasformazioni che caratterizzano l'attuale contesto bioeconomico.

relazionali» più frequente e soddisfacente diventa l'interazione (Zamagni 1998).

La capacità di innescare processi imitativi che diano luogo a una dinamica autoaccrescitiva di arricchimento sociale non va quindi assolutamente sottostimata. Il fatto che il ruolo potenziale dell'economia solidale sia ancora significativamente trascurato, tanto da essere ancora comunemente confuso con il «volontariato», non deve indurre a facili conclusioni. La presenza del lavoro volontario è semmai la dimostrazione più evidente che il benessere che questa forma di organizzazione del lavoro sa produrre non è affatto associato (come nella concezione tradizionale) alla sola retribuzione (salario o profitto), ma è piuttosto strettamente connesso ai valori impliciti nelle finalità organizzative o alle particolari modalità (partecipative, sostenibili) con cui tali fini sono perseguiti, o a entrambe le cose.

Pertanto ritengo che l'economia solidale possa costituire in prospettiva un autentico sostituto al consumo di beni tradizionali, compensando l'angoscia che è alla radice del tradizionale modo di consumare e consentendo al tempo stesso di approssimarsi alle condizioni di sostenibilità ecologica.

La spirale motivazionale della reciprocità, il surplus di benessere che si produce nella condivisione, è il solo processo che, a livello individuale, può contrastare l'inesorabile aumento dei consumi e dunque l'irreversibile degradazione della materia/energia che è alla base della crisi ecologica. Senza questo motore motivazionale, le pur meritevoli iniziative di difesa dell'ambiente, consumo critico, finanza etica ecc. rischiano di restare espressioni di un calvinismo ecologico di nicchia.

L'altra via è probabilmente di natura politica. Si tratta in definitiva di rimettere la politica alla guida della locomotiva economica (Latouche). Ma questo non può certo avvenire nelle sole forme rappresentative che la politica ha conosciuto finora, le quali risultano ampiamente svuotate, devitalizzate, dall'operare dei circoli viziosi prima descritti. Il sistema politico è evidentemente un sistema cibernetic. Tuttavia la scarsa o nulla capacità di influenza del cittadino sulle dinamiche globali ha un effetto anestetico sui meccanismi tradizionali della rappresentanza. Emerge così l'urgenza di rivitalizzare le forme della politica, il che in termini cibernetic significa

rendere percepibili al cittadino gli effetti della partecipazione democratica, decentrando e rendendo più aperti e partecipati i processi decisionali.

Per quanto riguarda i fenomeni di sfruttamento, terziarizzazione selvaggia, dumping sociale e ambientale, che si spingono sino alla diffusione di vere e proprie forme di economia illegale, abbiamo mostrato come siano tutti fenomeni imputabili alle dinamiche della selezione intraspecifica innescati dagli eccessi competitivi dell'economia globale. È evidente che la società civile da sempre prevede, nei confronti di questi comportamenti devianti, varie forme di controllo e di sanzioni legali, che tuttavia non sono sufficienti a contrastarne la diffusione. Anche in questo caso occorre una riflessione più profonda capace di rimettere in discussione le caratteristiche ottimizzanti associate, in particolare, alle forme di mercato fortemente concorrenziali che caratterizzano l'economia globale, proponendo un diverso modo di guardare ai mercati. La prospettiva bioeconomica getta nuova luce sulla teoria delle forme di mercato. Secondo la prospettiva biologica infatti i mercati sono luoghi in cui coesistono comportamenti di tipo competitivo e cooperativo.

Nulla garantisce che la rincorsa verso il basso dei prezzi, innescata dall'ingresso di nuove imprese in libera concorrenza, si arresti quando gli extraprofitti sono nulli, come assume l'analisi tradizionale.>' In realtà anche in queste condizioni l'impresa, pur di risultare vincente nella dinamica competitiva, ha interesse a ridurre ulteriormente i prezzi, comprimendo i profitti,⁵⁷ o più probabilmente ricorrendo a qualche forma di dumping sociale o ambientale. Come il lettore avrà intuito, il fatto che, quando i prezzi

⁵⁷ Questo stratagemma secondo cui le imprese passerebbero, nel momento in cui gli extraprofitti si annullano, da una modalità di comportamento di tipo competitivo a una modalità di tipo tacitamente cooperativo (normalmente si dice che non conviene all'impresa ridurre ulteriormente i prezzi poiché in questo caso ciascuna impresa realizzerebbe profitti negativi) non è giustificabile per un approccio che assume il comportamento autointeressato dei soggetti. D'altro canto se tale comportamento cooperativo fosse possibile, il modello non spiega per quale motivo esso non sia stato messo in atto a un livello dei prezzi più alto (con maggiore profitto per tutte le imprese).

⁵⁸ La teoria neoclassica normalmente assume che i costi totali siano già comprensivi di una sorta di profitto normale (assunto convenzionalmente uguale alla retribuzione media del management in quel settore). Tuttavia è evidente che si tratta di un'ipotesi ad hoc, introdotta per evitare le imbarazzanti conseguenze derivanti dalla caduta tendenziale del saggio di profitto. È chiaro infatti che se le imprese si ostinassero nel mantenere un atteggiamento competitivo, riducendo progressivamente i prezzi, ciò condurrebbe il sistema lungo una spirale autodistruttiva.

scendono oltre un certo livello, *il gioco cominci a farsi pericoloso*, giustificando un cambiamento di atteggiamento da parte dei soggetti (da competitivo a cooperativo) richiede ipotesi diverse da quelle ortodosse, che non si possono ricondurre al criterio dell'azione autointeressata.

La teoria dei sistemi dimostra che il comportamento ottimale per i soggetti operanti sul mercato non deriva dalla massimizzazione degli atteggiamenti competitivi, quanto piuttosto dalla compresenza di atteggiamenti competitivi e cooperativi, certamente in proporzioni diverse in relazione alla particolare morfologia di *quel* mercato. Ecco che l'approccio bioeconomico richiama lo sviluppo di una morfologia dell'impresa e del mercato, così come la biologia ha sviluppato un'anatomia (e un'anatomia patologica!) del mondo animale e vegetale. Questa arte tassonomica, descrittiva, applicata all'universo economico è probabilmente ciò che Marshall immaginava quando parlava della biologia come «la Mecca dell'economista». Lo sviluppo di questa morfologia economica muove evidentemente in direzione opposta rispetto alla tendenza, oggi dominante, ad applicare modelli microeconomici, di chiara derivazione meccanicistica, indipendentemente dal contesto ambientale, sociale, di mercato e dalla morfologia dell'impresa. Certo è normale che si siano scoperte prima le leggi della fisica classica, con il loro carattere universale, ma poi, anche per le scienze naturali, è venuta l'era della termodinamica e della biologia, con il loro portato di evoluzione, diversità, qualità, descrizione.

Una prima conclusione (ma è evidente che l'applicazione di strumenti di derivazione biologica all'analisi delle forme di mercato richiede ben più ampie ricerche) è che le tipologie di mercato più adeguate a consentire il mantenimento degli equilibri ecologici e sociali non sono né quelle in cui la concorrenza è spinta verso un massimo (concorrenza perfetta), né quelle in cui si realizzano le forti concentrazioni tipiche dei mercati oligopolistici. Infatti queste forme di mercato «intermedio» consentono, da un lato, a imprese di dimensioni generalmente medio-piccole di disporre di margini più ampi rispetto ai mercati perfettamente concorrenziali (permettendo quindi di corrispondere salari maggiori e di fare un più limitato ricorso all'outsourcing), e dall'altro di evitare le limitazioni dell'offerta e soprattutto la forbice dei redditi caratteristica dei

mercati dominati dalle grandi imprese transnazionali. Queste forme di mercato potrebbero essere incentivate incoraggiando una marcata differenziazione del «prodotto» ottenuta, anziché attraverso i tradizionali strumenti pubblicitari (che innescano le spirali della competizione posizionale), con una marcata differenziazione *qualitativa* dell'offerta. È noto che alcune aree dell'Europa e soprattutto del Mediterraneo sono espressione di una struttura economica già caratterizzata in questo senso. Tale differenziazione può essere ottenuta in molti modi: attraverso la produzione di beni relazionali, di per se stessi differenziati se non «unici», attraverso l'offerta di beni o servizi «locali», cioè legati a un determinato territorio quale espressione di una certa cultura o tradizione; attraverso la produzione di beni a elevata qualità ambientale (certificazioni EMAS, Ecolabel, prodotti biologici ecc.); attraverso relazioni di lavoro democratiche e partecipative adeguatamente certificate; o infine attraverso la produzione di prodotti non standardizzati a elevato contenuto di conoscenze/informazione. In sostanza, creando un mondo ricco di qualità e diversità che, come ci insegnano le scienze della vita, è l'unico contesto in cui un certo grado di competizione diviene veicolo di ulteriore ricchezza e non la causa dell'appiattimento globale e della distruzione reciproca.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio Marco Deriu, Maria Livia Fornaciari, Jacques Grinevald, Serge Latouche, Juan Martinez-Alier, Pietro Montanari, Giorgio Nebbia, Luigi Pucci, Stefano Zamagni per aver letto e commentato le bozze di questo lavoro. Si ringraziano inoltre Bob Byrd della Special Collection Library, Duke University (USA) e Hariton C. Sprinceanu per aver autorizzato la pubblicazione del materiale inedito appartenente all'archivio di Georgescu-Roegen. Naturalmente la responsabilità per eventuali errori e omissioni resta solamente mia.

M. B.

1.

L'economia politica come estensione della biologia"

L'azione della natura è complessa, e nulla si guadagna a lungo andare pretendendo che sia semplice e cercando di descriverla in una serie di proposizioni elementari.

A. Marshall, *Principles of Economics*, 1890

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, esso fu respinto dalla fisica stessa per motivi propri di quella particolare scienza. Noi invece vi siamo ancora attaccati, anche se in modo surrettizio. Ci sono validi motivi per questo ostinato attaccamento della mente umana alla meccanica, o, più precisamente, alla locomozione.

L'idea che la meccanica faciliti la via alle tecniche umane ha radici molto antiche. Gli stupendi orologi che adornavano cattedrali e palazzi lo annunciavano quotidianamente, molto prima ancora che Leonardo da Vinci con le sue «macchine per volare» sostenes-

AVVERTENZA

Il lettore osserverà che alcune parti di un capitolo si trovano riprodotte, quasi parola per parola, in un altro.

Era, questa, una delle maniere di lavorare di Georgescu-Roegen: riprendere un testo e ampliarlo e integrarlo sotto lo stimolo di nuovi eventi o scritti o critiche: le ripetizioni sono state perciò lasciate anche perché offrono un'occasione per vedere come si è evoluto, col tempo, il pensiero dell'autore

* [Testo di una conferenza tenuta dall'autore nell'aula magna della Facoltà di Economia e commercio dell'Università di Firenze il 14 maggio 1974; già pubblicato in «Note economiche», 1974, 2, pp. 5-18].

se che l'uomo deve riuscire a riprodurre il meccanismo rappresentato da un uccello in volo. Descartes, che nel secolo successivo nel suo *De l'homme* sostenne che «il corpo vivente è una macchina [...] né più né meno che il movimento di un orologio o di qualsiasi altro automatismo», non fece che mettere in forma esplicita un pensiero che già da lungo tempo era diventato per molti un elementare articolo di fede. Ma senza Copernico, Keplero, Galileo e Newton – per ricordare soltanto i primi architetti della meccanica classica – il dogma meccanicistico non avrebbe conquistato quella supremazia scientifica e filosofica che Laplace espresse in modo così deciso nella sua famosa apoteosi della meccanica. Ogni cosa nel mondo, sia nel passato che nel presente o nel futuro – egli affermava con un orgoglio che rifletteva il clima di tutti i circoli scientifici di quel tempo – è completamente determinata dalle leggi fondamentali della meccanica. Laplace riconosceva che soltanto una mente demiurgica potrebbe effettivamente determinare le condizioni iniziali di ogni particella dell'universo, e inoltre risolvere il colossale sistema di equazioni che governa i movimenti di queste particelle. Tuttavia, le situazioni ripetitive in cui la previsione di un evento particolare dipende soltanto dalla soluzione di poche equazioni dimostravano in modo spettacolare la validità del dogma meccanicistico. La più spettacolare di queste testimonianze favorevoli si verificò nel 1846 quando meno di un mese dopo che Urbain Leverrier aveva annunciato all'Académie Française l'esistenza e la probabile posizione di un nuovo pianeta, le osservazioni di Johann Galie dell'osservatorio astronomico di Berlino confermarono in *toto* i risultati raggiunti da Leverrier con carta e matita.

Fu un bel sogno quello che la scoperta di Nettuno in questo modo ispirò a tutti gli scienziati sociali, e particolarmente agli economisti! Semplicemente sedersi a un tavolino con carta e matita e prevedere che cosa farà la borsa domani, o meglio ancora, che cosa farà di qui a un anno.

Non c'è da stupirsi allora che, vivendo in quel periodo del XIX secolo, i pionieri della scienza economica fossero portati – ciascuno a suo modo e con vari gradi di consapevolezza – a considerare la meccanica come il modello di qualsiasi disciplina che meritasse il nome di scienza. Molti ammisero apertamente che l'economia non può essere concepita altrimenti che come «la meccanica dell'uti-

lità e dell'interesse egoistico» – come W. Stanley Jevons definì in modo particolarmente netto questa posizione. Persino il grande Vilfredo Pareto, per quanto grande fosse anche come sociologo, fu mosso, in quanto economista, dalla stessa fede meccanicistica. Ma il fatto che il corpo principale dell'economia sia rimasto completamente fedele alla vecchia posizione meccanicistica anche al giorno d'oggi non ha una giustificazione altrettanto semplice. Certamente c'è il fatto, su cui insisteva Lord Kelvin, che la mente umana capisce meglio un fenomeno se esso è descritto per mezzo di un modello meccanico. Dopotutto, la natura umana è tale che noi possiamo agire soltanto spingendo o tirando sul mondo materiale esterno. Ma questa nostra manchevolezza non è un buon motivo perché la scienza ne resti sempre vincolata.

Una causa più plausibile dell'inerzia epistemologica che caratterizza l'economia moderna sembra essere una malintesa economia di sforzo intellettuale. Qualsiasi modello che (come tutti i modelli economici) implichi un principio di conservazione del tipo «niente si crea, niente si distrugge, tutto si trasforma*», insieme con una regola di massimizzazione, costituisce un analogo meccanicistico della struttura più semplice possibile, un sistema ridotto ai suoi aspetti cinematici. In realtà, la maggior parte dei modelli economici non sono nemmeno cinematici, perché non sono correlati al tempo in alcun modo preciso. Con questi modelli veniva data via libera a un abuso dell'astrazione che trasformò gradualmente la teoria economica in un ricco terreno di caccia per gli amanti degli esercizi di matematica pura. Questo è un pessimo risultato, perché, come disse esplicitamente proprio un famoso ingegnere, la matematica può essere un sostituto troppo facile per il compito solitamente arduo di affrontare i fenomeni reali.

La cieca ostinazione con cui gli economisti moderni hanno difeso il loro culto per il numero non ha uguali negli annali della scienza. Felici dentro la loro nicchia – una scienza economica ridotta a esercizi con carta e matita su modelli cinematici ultrasemplificati – gli economisti moderni hanno perso qualsiasi interesse per l'evoluzione di altre discipline, compresa la meccanica stessa. Se qualche economista importante si fosse preoccupato soltanto un po' di quello che fu lo sviluppo successivo di quella scienza, con molta probabilità l'economia avrebbe già da molto tempo subito una svolta deci-

siva. Infatti, Jevons e Léon Walras non fecero a tempo a presentare il loro archetipo per la nuova sorella della meccanica che già chiari segni lasciavano presagire la caduta del dogma meccanicistico nella fisica stessa.

Ci sono molte conseguenze importanti e purtroppo anche sfortunate imputabili alla struttura meccanicistica dell'economia moderna. In primo luogo, la concezione del processo economico come un flusso circolare all'interno di un sistema completamente chiuso e autosufficiente. Ne è testimonianza il diagramma circolare che connette la produzione (un nome) e il consumo (un altro nome) con il quale anche i più apprezzati manuali rappresentano il processo economico. Tuttavia, questa rappresentazione non è appropriata nemmeno per la circolazione della moneta presa isolatamente, perché persino la moneta (in qualunque forma) si logora e dev'essere sostituita da fonti esterne al flusso monetario circolare. Ma è quasi certo che il flusso circolare della moneta ha influenzato – e tuttora influenza – l'orientamento di praticamente tutti gli economisti. È vero che nessun economista ha mai sostenuto che un processo possa essere completamente rovesciato fino al punto di ritrasformare mobili in alberi. Eppure, non dobbiamo dimenticare che, nella definizione stessa di «teoria dei cicli economici», la parola «cicli» rivela che gli economisti non respingono l'idea che nel loro complesso le cose possano tornare a quello che erano prima, ripercorrendo in direzione opposta lo stesso sentiero.

La situazione è ancora peggiore ai livelli più avanzati della teoria economica. È qui che osserviamo l'epistemologia meccanicistica in piena azione. Il fondamento principale della teoria del mercato è l'idea che, comunque cambino le curve di domanda e di offerta, il mercato ritorna in toto alla stessa posizione di prima non appena si verificano gli aggiustamenti. Il processo economico diviene così un pendolo – un po' più complicato, ma sempre un pendolo – che oscilla regolarmente avanti e indietro. Come un lago sul quale le barche che l'attraversano non lasciano nessuna traccia durevole, il processo economico non rivela in nessun modo il passaggio del tempo.

Se si dovesse suggerire un inno per la professione degli economisti standard, non se ne potrebbe trovare uno migliore della vec-

chia cantilena inglese di «mamma oca» (*Mother Goose*):

Il prode Duca di York
aveva diecimila uomini;
li guidò fino in cima alla collina,
e di nuovo li guidò in fondo.
Quand'erano in alto, erano in alto,
quand'erano in basso, erano in basso,
quand'erano solo a mezza via,
non erano né in alto né in basso.

Ci sono stati, in realtà, specialmente in passato, alcuni economisti che non hanno visto nel processo economico soltanto un'altra applicazione del paradigma meccanicistico, ma invece un fenomeno evolutivo che cesella la propria storia con la propria attività.

I più remoti segni di questa posizione sono dispersi nei primi scritti che si avvicinavano all'economia. Sir William Petty, per esempio, vedeva il processo economico come opera di due principi che egli paragonava agli elementi biologici della riproduzione nella maggior parte delle specie. La natura è la madre del valore e il lavoro ne è il padre. Ma l'idea che il processo economico si muova in una direzione definita in modo irreversibile era implicita nella posizione della scuola classica all'apogeo della sua gloria. Quest'idea si trova cristallizzata nella cosiddetta prognosi pessimistica di David Ricardo, secondo cui la terra, sotto la continua pressione della popolazione, finirà per assorbire tutto il profitto e il genere umano finirà per vivere in una sorta di «stato stazionario» non particolarmente attraente.

Sulla stessa linea ma con una capacità di comprensione della fisiologia molto maggiore viene quel grande e calunniatissimo visionario che fu Thomas Malthus. È vero che la sua intuizione della lotta del genere umano per sopravvivere all'interno di un ambiente naturale spesso ostile implicava un moto pendolare meccanico fra periodi di prosperità e crescita della popolazione alternati a periodi di carestia, pestilenza ed elevata mortalità. Ma Malthus prevedeva anche una tendenza secolare costante di continuo progresso in proporzione aritmetica. Il fatto che Malthus fosse completamente in errore su quest'ultimo e fondamentale punto della sua visione – come oggi sappiamo da leggi naturali scoperte molto più tardi – non diminuisce affatto il suo merito per aver attratto l'attenzione degli economisti sul fatto che la specie umana dopotutto non costituisce un'ec-

cezione nel regno della biologia. Anche noi, come tutte le altre specie biologiche, lottiamo per la vita in un ambiente finito. Un'idea semplice ma ignorata soprattutto da tutti coloro che credono che, se anche l'uomo è mortale, la sua specie è però immortale.

Soprattutto, non dobbiamo dimenticare che le idee di Malthus sono state la fonte principale d'ispirazione di Charles Darwin per la sua teoria dell'evoluzione biologica. In questo fatto sta una prova clamorosa della stretta relazione tra il mondo economico e quello biologico. Lo riconosce Darwin stesso nella sua autobiografia.

Durante l'ottobre del 1838, cioè quindici mesi dopo aver cominciato le mie ricerche sistematiche, mi capitò di leggere per divertimento *Malthus on Population*. Essendo già preparato per la mia lunga osservazione del comportamento degli animali e delle piante ad apprezzare la lotta per l'esistenza che è sempre in atto dovunque, mi venne immediatamente l'idea che in queste circostanze le mutazioni favorevoli tenderanno a essere preservate, e le non favorevoli a essere distrutte. Il risultato di ciò sarebbe la formazione di nuove specie. Qui, ero arrivato finalmente a una teoria con la quale potevo lavorare; ma ero così ansioso di evitare pregiudizi che decisi di non scriverne per qualche tempo nemmeno un breve abbozzo.¹

Poco tempo dopo Malthus, venne l'ottimista John Stuart Mill, il quale pure credeva nell'avvento definitivo dello stato stazionario, ma lo concepiva come una Nuova Gerusalemme in cui gli uomini non avrebbero avuto più da lottare l'uno contro l'altro per guadagni materiali, ma avrebbero passato tutto il loro tempo in attività artistiche e fra i piaceri dell'amicizia.

Quasi nello stesso tempo apparve Karl Marx, un altro gigante di una razza che al giorno d'oggi pare purtroppo estinta.² Marx, più di qualsiasi altro economista prima di lui, vide il continuo cambiamento qualitativo che muove il processo economico nel tempo storico, consistente non solo di sommovimenti spettacolari come guerre e carestie, ma di persistenti piccoli cambiamenti che si accumulano gradualmente fino a formare strutture sociali completamente nuove.

¹ Darwin 1958, p. 120. Questa relazione è stata rilevata in uno studio non ancora pubblicato del professor Brinley Thomas.

² Fra parentesi, vorrei aggiungere che menti del genere si sono estinte perché se talenti come Malthus o Marx fossero nati in questo mezzo secolo, sarebbero diventati certamente dei geniali econometrici, che avrebbero passato la maggior parte del loro tempo nel tempio del computer in stretto contatto religioso con l'oracolo, impressionandoci con la loro straordinaria abilità di giocolieri nel maneggiare modelli elucubrati.

Più tardi, sulla scena della nostra scienza apparvero gli annunciatori della nuova economia scientifica concepita sul modello della meccanica: Jevons, Walras, Edgeworth e Pareto. Ma non appena questo nuovo clima ebbe stabilita la sua solida supremazia in Inghilterra, sulla maggior parte del continente e anche di là dall'oceano, una voce dissonante chiese di intervenire in merito alla natura del processo economico. Questa voce, che apparteneva ad Alfred Marshall, suonò più chiara di qualunque altra. ' Egli cominciava col dirsi d'accordo che l'impostazione meccanico-descrittiva - come propongo di denominare nel modo più appropriato la descrizione del processo economico mediante analogie meccanicistiche - ha i suoi meriti, ma limitati. «Le applicazioni più utili della matematica all'economia - scriveva Marshall- sono quelle brevi e semplici, che impiegano pochi simboli*, e che perciò non sono capaci di abbracciare le «infinite complessità» del processo reale. Se si vuole andare oltre quest'ambito limitato, allora invece di prendere a prestito gli strumenti della meccanica ci si deve rivolgere alla biologia. Infatti, man mano che passiamo a livelli più avanzati, diventa evidente che il metodo più adatto è «più lontano da quello fisico [meccanico] e più affine a quello biologico». Vivendo in un luogo e in un'epoca in cui il progresso tecnologico procedeva a ritmo crescente, Marshall osservava - quasi nella stessa vena di Marx - che questo progresso altera «le condizioni del lavoro e della vita», altera non soltanto la grandezza delle forze economiche e sociali, ma anche il loro carattere. Il processo economico è dominato dall'«evoluzione», dalla «crescita organica». Ma tutto ciò che la meccanica può fare è di cambiare la quantità, e non il carattere delle forze. Questo è il motivo per cui, concludeva Marshall, «tutte le scienze della vita sono fra di loro affini, e sono diverse dalle scienze fisiche».

Si deve riconoscere tuttavia che Marshall, nonostante la sua argomentazione a favore di una scienza dell'economia affine alla biologia piuttosto che alla meccanica, non ha sempre subordinato al programma biologico l'analisi presentata nei *Principii*. Il tono generale di quella splendida opera, che ha rappresentato per un certo

³ L'articolo di Marshall, di cui solo alcuni passi furono introdotti nelle edizioni successive dei *Principii*, apparve su «The Economic Journal» nel 1898.

tempo (per motivi che sarebbero oggi altrettanto validi) la Bibbia dell'economista, rileva il cambiamento qualitativo che permea il processo economico e la sua crescita organica, ma soltanto in poche occasioni il discorso di Marshall acquista un sapore decisamente biologico. Una di queste occasioni, che sembra essere passata inosservata, è quando egli rimprovera ai *ricardiani* di ragionare come se tutto il mondo fosse fatto di cittadini. Qui Marshall rivela che egli considerava persone appartenenti a diverse culture come costituenti, in un certo senso, specie biologiche diverse. C'è poi l'argomentazione dell'irreversibilità della curva di offerta di lungo periodo per un'industria a rendimenti crescenti. Qui, tuttavia, Marshall non è andato fino al fondo della questione. È toccato a Joseph Schumpeter il compito di dimostrare che tutte le curve di offerta di lungo periodo debbono essere irreversibili a causa della natura ortogenetica delle innovazioni, e ad altri (come il sottoscritto) di mostrare che anche i cambiamenti di gusti sono irreversibili nel lungo periodo perché riflettono un processo di apprendimento. Infine, c'è la famosa analogia marshalliana che paragona le imprese di un'industria agli alberi della foresta – un'altra grande idea, ma poco esplorata sia da Marshall che da chiunque altro (se lasciamo da parte per un momento Edward H. Chamberlin). Con quest'idea noi possiamo rimuovere un'artificiosa difficoltà contro cui si batte vanamente la teoria standard. Infatti, se tutte le imprese sono identiche – in qualsiasi tipo di situazione di costo – la teoria standard è totalmente incapace di spiegare quali imprese dovranno ritirarsi dal mercato se la domanda diminuisce in modo massiccio. Questa artificiosa difficoltà scompare se l'industria è considerata come una specie biologica di individui dotati di qualità darwiniane differenti. In realtà, la logica richiede una concorrenza all'interno di ciascuna specie per spiegare la concorrenza tra le specie stesse. Infatti, se tutti i leoni e tutte le gazzelle fossero identici fra loro – come la teoria standard suppone che siano tutte le imprese di una stessa industria – o i leoni e le gazzelle scomparirebbero simultaneamente, oppure la selezione naturale arriverebbe a un punto morto. Può darsi che Edward Chamberlin non fosse consapevole del fatto, ma (come ho messo in luce nel volume in suo onore) il suo notevole lavoro sulla concorrenza monopolistica introdusse l'idea di con-

correnza all'interno di ogni specie industriale, e così eliminò la suddetta difficoltà della teoria standard.⁴

E tuttavia il lavoro di Schumpeter che mostra l'analogia fra lo sviluppo economico e l'evoluzione biologica nel modo più chiaro e stringente.⁵ Schumpeter vede l'origine dello sviluppo economico nel flusso perenne ma discontinuo delle innovazioni tecniche spontanee [...]. Le innovazioni sono per il processo economico ciò che le mutazioni sono per l'evoluzione biologica. Come ogni mutazione favorevole, un'innovazione che ha successo è portatrice, all'origine, di un vantaggio economico, ma proprio come quello della mutazione, esso non dura a lungo. Come la mutazione favorevole, l'innovazione che ha successo finisce col diffondersi all'intero processo, cessando allora di rappresentare un vantaggio darwiniano. La concezione schumpeteriana è biologica in misura veramente sorprendente. Egli riconosceva espressamente che il processo economico subisce cambiamenti piccoli e reversibili – quali si scorgono chiaramente nella realtà. Ma insisteva che solo le innovazioni discontinue, che non possono essere ridotte a una successione di cambiamenti piccoli e reversibili, sono responsabili dell'evoluzione unidirezionale del processo economico. Il punto che desidero sottoporre alla vostra attenzione è che anche un acuto biologo, Richard Goldschmidt, insisteva sul fatto che l'evoluzione biologica non può essere spiegata solo da piccole mutazioni (che per loro natura sono reversibili) ma che essa richiede l'emergere accidentale di un «mostro ben riuscito» (*a successful monster*), come fu il primo uccello apparso fra i pesci primitivi, per esempio.

Malgrado la sua brevità, questo *excursus* mostra non solo che esiste un forte isomorfismo fra il mondo biologico e quello economico, ma che attraverso questo isomorfismo possiamo arrivare a una comprensione del processo economico migliore di quella che ci offre la concezione meccanicistica.

Ma per rendere completamente giustizia alla tesi di Marshall, si deve andare al di là della semplice constatazione di questo isomorfismo. Anche il fatto che lavori di alcuni grandi economisti abbiano seguito un ragionamento di tipo biologico non basta. È necessario

⁴ Georgescu-Roegen 1967, pp. 31-38.

⁵ Schumpeter 1912 [trad. it., pp. 17-182].

anche domandarsi se non esista una ragione più profonda della similarità tra il processo economico e il processo biologico. Sono questo problema e alcune sue ramificazioni che mi propongo di trattare ora.

Tutte le creature viventi usano nelle loro attività quotidiane, nella loro lotta per la vita, organi che sono parte della loro struttura biologica, organi di cui sono stati dotati fin dalla nascita. E, in questo compito estremamente difficile, tutte le creature sono aiutate dall'evoluzione biologica. Col tempo, attraverso le mutazioni, tutte le specie possono diventare più adatte all'esistenza - i loro artigli possono diventare più affilati, gli occhi più sensibili, le ali più potenti, e così via. Ma questo è tutto quanto possono sperare di ottenere - una struttura biologica più vantaggiosa. Anche la specie umana si avvale dei suoi organi biologici - occhi, dita, orecchie ecc. - per l'attività quotidiana e, per quanto la cosa non sia visibile a occhio nudo, beneficia di tutte le mutazioni vantaggiose della sua struttura biologica. Tuttavia, c'è una differenza fondamentale. Oltre a ciò, l'uomo è arrivato a usare organi, strumenti di ogni genere, di cui non è dotato dalla nascita. Voliamo anche senza avere ali, nuotiamo anche senza pinne né branchie. Facciamo tante altre cose meravigliose meglio di molte altre specie, servendoci di organi che produciamo nella nostra attività economica.

In un passato molto remoto, alcuni dei nostri antenati biologici si sono trovati ad avere in mano un rozzo bastone preso dai boschi e poco a poco si sono accorti che così il braccio diventava più lungo e più forte. In via di principio, lo stesso risultato potrebbe esser prodotto da una normale mutazione biologica. Ma poiché in realtà è scaturito in un modo non biologico, l'innovazione ha rappresentato il primo passo verso una nuova fase di evoluzione. Per distinguerla dall'evoluzione biologica pura, cioè *endosomatica*, la possiamo chiamare *esosomatica*. Certamente si tratta di due evoluzioni differenti, eppure entrambe hanno essenzialmente la stessa natura. In ultima analisi, questa natura porta all'apparizione di nuovi organi e al miglioramento dei vecchi. Un essere di un altro mondo potrebbe addirittura non accorgersi, se non gli fosse fatto notare, della differenza fra la mano che spezza il pane e il coltello che lo taglia.

Questi strumenti esosomatici sono soggetti a una legge ereditaria affine a quella di tipo biologico. Ogni generazione eredita la struttura esosomatica della precedente attraverso la tradizione. E come ho spiegato parlando della grande visione schumpeteriana, questi strumenti non appaiono secondo una regola definita, ma in un modo completamente irregolare, caratteristico dell'incertezza della storia. Dopo che uno di essi è apparso in qualche luogo particolare, esso finisce per diffondersi ovunque, con lo stesso tipo di processo di diffusione che opera nel campo della biologia.

L'estendersi dell'evoluzione biologica all'evoluzione esosomatica ha dato all'uomo la padronanza della terra - non una padronanza completa -, ma comunque in largo grado. Tuttavia, al contrario di quello che può apparire a prima vista, questo cambiamento non è stato solo una benedizione. Esco ha aggiunto due motivi di angoscia rispetto al destino dell'umanità.

Il primo consiste nell'irriducibile conflitto sociale al quale l'umanità è l'unica specie a essere soggetta. L'evoluzione esosomatica ha spinto poco a poco la specie umana a vivere in una società *organizzata*. A un certo momento, produrre carrozze, barche, mulini a vento ecc., superò la possibilità di una famiglia o anche di un clan ristretto. Da allora la produzione ha dovuto essere organizzata e controllata da alcuni membri della comunità. Ed ecco il fattore perenne di divisione sociale fra controllori e controllati che si sovrappone a un'altra distinzione, quella fra coloro che usano i più desiderabili e stravaganti strumenti esosomatici e coloro che stanno solamente a guardarli. Ci sono altre specie che vivono in società organizzate, ma sono esenti da conflitti sociali. Le periodiche uccisioni di massa dei fuchi da parte delle api operaie costituisce un evento biologico, non una guerra civile. Il guaio della condizione umana deriva dal fatto che l'uomo è giunto a vivere in una società *organizzata* in conseguenza di un'evoluzione non puramente biologica. Quella particolare formica che controlla l'entrata del formicaio è nata per questo compito, e tutto ciò che vuole è bloccare l'entrata, con la testa appiattita di cui è dotata dalla nascita; essa non ha alcun desiderio di diventare regina.

Ma nel caso della specie umana, non c'è nessuna ragione biologica che impedisca all'uomo del riscio di desiderare di diventare un mandarino.

Oggi i biologi sono in grado – così almeno dicono – di far nascere un Einstein in ogni famiglia. Ma, come spesso avviene, si tratta solo di affascinanti pretese. In realtà, il problema veramente scottante, ignorato dai maghi della biologia, è quello di produrre uomini che non desiderino altro che scendere in miniera, o arare i campi esposti al vento e alla pioggia, o caricare e scaricare navi. Un mondo composto solo di Einstein, di Verdi o di Marx, per esempio, non potrebbe sopravvivere a lungo.

Questa difficoltà ha la sua origine nell'estensione dell'evoluzione endosomatica al livello esosomatico. Trattandosi di un fenomeno innegabile e irriducibile, esso dovrebbe ricevere maggior attenzione da parte degli economisti di quanta ne abbia ricevuta sinora. È un problema affascinante da inseguire attraverso la storia, come la razionalizzazione del conflitto sociale si sia trasformata nelle diverse mitologie sociali.

Il secondo motivo di angoscia indotto dall'evoluzione esosomatica è l'assuefazione del genere umano alle comodità industriali. Si tratta qui di assuefazione nel senso di una vera e propria malattia. Come i primi pesci che, saltando fuori dall'acqua, si sono irrimediabilmente assuefatti all'aria dell'atmosfera, trasformandosi così irrevocabilmente in uccelli, l'uomo esosomatico è in realtà una nuova specie che non tornerà mai più a vivere sugli alberi e a nutrirsi di bacche selvatiche.

Il pericolo è che, diventando assuefatto alle comodità esosomatiche, l'uomo sia anche diventato dipendente per la sua esistenza dallo stock di materia e di energia immagazzinato nei visceri della terra, cioè da una fonte estremamente scarsa. Questo è un altro aspetto dell'esistenza umana che ci differenzia dalle altre specie. L'esistenza delle altre specie non dipende dalla disponibilità di olio grezzo, carbone, ferro, rame ecc. Esse hanno soltanto una vita endosomatica che dipende in ultima analisi dall'energia solare. Anche la nostra esistenza biologica, considerata isolatamente, dipende da questa forma di energia. Ma la nostra vita esosomatica ci costringe a scavare sempre più in profondità, in luoghi sempre diversi, per estrarre minerali di ogni genere.

Il problema economico creato dalla nostra forma di vita esosomatica ha ricevuto scarsa attenzione da parte degli economisti. Di passaggio, si può ricordare Malthus – e, sorpresa delle sorprese, lo

stesso Jevons, che scrisse un libro straordinario, anche se poco noto, sul problema dell'esaurimento del carbone in Inghilterra. Tuttavia, non è giusto accusare con troppa severità gli economisti di questi ultimi cento anni, perché in questo periodo è sembrato che la natura ci potesse fornire gratis tutte le risorse naturali di cui abbiamo bisogno. Gli eventi recenti, invece, hanno dimostrato che non è così. E questa volta non è soltanto giusto, ma è addirittura un imperativo per il benessere della specie umana – di questa generazione come di quelle future – protestare contro quegli economisti che oggi, in difesa della loro trascorsa miopia, continuano a dire che la dipendenza dell'uomo dalle risorse terrestri non costituisce un ostacolo ecologico. Specialisti di ogni genere, purtroppo, si stanno contendendo il pulpito dal quale prometterci che tutto è in perfetto ordine purché «il prezzo sia giusto» (come dicono i ritornelli della pubblicità). Un esempio recente è il congresso sull'ambiente che si è tenuto in questi giorni [1974, N. d. R. Ja Torino. Ma anche il Club di Roma, che è noto per il suo grido di allarme su questo problema, cerca di convincerci che lo stato stazionario di John Stuart Mill rappresenta la salvezza ecologica dell'umanità. La verità è che neppure uno stato stazionario è compatibile con un ambiente limitato.⁶

Il problema dell'ambiente è in gran parte biologico, perché nella nostra corsa per le risorse minerarie, non cambiamo soltanto la struttura geologica della terra, ma anche la biosfera. Inoltre, nella nostra lotta per la vita, diamo battaglia alle altre specie, sia perché ci forniscono cibo sia perché vivono delle nostre stesse risorse alimentari. Un esempio che mostra quanto sia intricato questo problema è la sostituzione quasi completa degli animali da tiro (un motore biologico) con il trattore (uno strumento esosomatico). È importante capire che la causa di questa sostituzione non è tecnologica, ma biologica – la concorrenza fra gli animali da tiro e l'uomo, che devono essere alimentati entrambi dallo stesso pezzo di terra.'

Un ramo della fisica, la termodinamica, ci dice con una delle sue leggi – la legge di entropia – che non esiste una via di uscita al problema esosomatico. A parte l'energia solare, tutta l'energia e tutti i materiali consumati da una generazione per produrre armamen-

⁶ Cfr. Georgescu-Roegen 1971a; 1966, trad. it. 1973, pp. 265-79; 1974.

⁷ Cfr. i lavori citati nella nota precedente.

ti, automobili stravaganti, motocarrozette per i giocatori di golf e altre assurdità esosomatiche di questo tipo, significano meno aratri per le generazioni future. L'entusiasmo con cui abbiamo salutato la scoperta della produzione di proteine alimentari dall'olio grezzo è completamente fuori luogo. Dovremmo invece cercare di produrre benzina da fonti vegetali. È difficile immaginare che cosa farebbe il genere umano se diventasse consapevole di questo irrevocabile esaurimento delle risorse minerali e della loro crescente trasformazione in materiale di scarto e inquinante. Forse, il genere umano preferirà avere una vita breve ma eccitante e stravagante, piuttosto che una vita lunga ma monotona, come quella dell'ameba.

Spero di aver provato in questa conferenza che la vita esosomatica dell'uomo è un'estensione della sua precedente esistenza puramente biologica e quindi che, *anche se i problemi connessi con l'attività esosomatica non sono tutti di natura puramente biologica, i più profondi lo sono*. Aveva quindi ragione Marshall quando affermava che «la Mecca dell'economista è la biologia economica, piuttosto che la dinamica economica». La difficoltà di questa raccomandazione è che richiede studi sul carattere evolutivo del processo economico. Ma portare a compimento uno studio sull'evoluzione non è così facile come baloccarsi con un semplice modello dinamico lineare. Questo è forse il motivo per cui fra gli economisti esiste ancor oggi la tendenza, della quale si lamentava Schumpeter,⁸ a screditare e rinnegare studi evoluzionistici.

⁸ Schumpeter 1912, trad. it., p. 69.

2.

La legge di entropia e il problema economico*

1. Un evento curioso nella storia del pensiero economico è che, anni dopo che il dogma meccanicistico aveva perso la sua supremazia in fisica e la sua presa sul mondo filosofico, i fondatori della scuola neoclassica si accinsero a edificare una scienza economica sul modello della meccanica – nelle parole di W. Stanley Jevons, come «la meccanica dell'utilità e dell'interesse egoistico».¹ E se l'economia ha compiuto dopo di allora grandi progressi, nulla è accaduto che allontanasse il pensiero economico dai binari dell'epistemologia meccanicistica cara ai padri della teoria economica standard. Una prova clamorosa di ciò è la rappresentazione manualistica corrente del processo economico mediante un diagramma circolare, un movimento pendolare tra produzione e consumo all'interno di un sistema completamente chiuso.² La situazione non è diversa nelle esercitazioni analitiche che adornano la letteratura economica standard: anch'esse riducono il processo economico a un processo meccanico autoalimentato. Il fatto palese che tra il processo economico e l'ambiente materiale esista una mutua, ininterrotta influenza è irrilevante agli occhi dell'economista standard. E lo stesso è vero per gli economisti marxisti, i quali giurano sul dogma di Karl Marx secondo il quale tutto ciò che la natura offre all'uomo è un dono

* [*The entropy law and the economic problem*, conferenza tenuta il 3 dicembre 1970 al Department of Economics, The Graduate School of Business and Office for International Programs, University of Alabama; già pubblicato in «The Ecologist», II (1972), 7, pp. 13-18].

¹ Jevons 1924, p. 21.

² Per esempio Bye 1956, p. 253; Bach 1957, p. 60; Dodd, Hasek e Hailstones 1957, p. 125; Havens, Henderson e Crammer 1966, p. 49; Samuelson 1970, p. 42.

spontaneo.³ Anche nel famoso diagramma marxiano della riproduzione il processo economico è rappresentato come qualcosa che è completamente circolare e che si autoalimenta.⁴

Ma autori precedenti avevano guardato in un'altra direzione: per esempio William Petty, il quale sostenne che il lavoro è il padre e la natura la madre della ricchezza.⁵ L'intera storia economica dell'umanità dimostra al di là di ogni dubbio che anche la natura svolge un ruolo importante nel processo economico, oltre che nella formazione del valore economico. È tempo, io credo, che accettiamo questo fatto e ne consideriamo le conseguenze per il problema economico dell'umanità. Come cercherò di mostrare nel presente saggio, alcune di queste conseguenze hanno infatti un'eccezionale importanza ai fini della comprensione della natura e dell'evoluzione dell'economia umana.

II. Alcuni economisti hanno menzionato il fatto che l'uomo non può creare, e non può distruggere, né la materia né l'energia⁶ – una verità la quale segue dal principio di conservazione della materia-energia, ovvero la prima legge della termodinamica. Ma c'è una questione – quanto mai sconcertante alla luce di questa legge – che non sembra aver colpito l'attenzione di nessuno, ed è: «Che cosa fa allora il processo economico?» Al riguardo, nella letteratura fondamentale non troviamo altro che osservazioni casuali circa il fatto che l'uomo può produrre soltanto utilità; un tipo di osservazione che accentua ulteriormente lo sconcerto. Come può l'uomo produrre qualcosa di materiale, dato che non può produrre né materia né energia?

Per rispondere a questa domanda, consideriamo il processo economico nella sua totalità, e guardiamolo soltanto dal punto di vista puramente fisico. Ciò che si deve innanzitutto notare è che questo processo è parziale e, come tutti i processi parziali, è circoscritto da un confine attraverso il quale materia ed energia si scambiano con

³ Marx 1906, vol. I, pp. 94, 199, 230 e parim.

⁴ *Ibid.*, vol. II, cap. 20.

⁵ Petty 1899, vol. II, p. 377. Curiosamente, Marx si disse d'accordo con l'idea di Petty, ma sostenne che la natura si limita a partecipare «alla creazione del valore d'uso, senza contribuire alla formazione del valore di scambio» (Marx 1906, vol. I, p. 227; cfr. anche *ibid.*, p. 94).

⁶ Per esempio Marshall 1924, p. 63.

il resto dell'universo materiale.' La risposta alla domanda circa che cosa questo processo *materiale* faccia è semplice: esso non produce né consuma materia-energia, ma soltanto la assorbe e la espelle, il tutto ininterrottamente. Questo è ciò che la fisica pura ci insegna. Ma l'economia – diciamolo chiaro e forte – non è fisica pura, e neppure fisica in una qualunque altra forma. Non ci sembra azzardato ritenere che anche il più fiero partigiano della posizione secondo la quale le risorse naturali non hanno nulla a che fare con il valore finirà con l'ammettere che c'è una differenza tra ciò che entra nel processo economico e ciò che ne esce. Senza dubbio, questa differenza può essere solamente qualitativa.

Un economista eterodosso – come chi scrive – direbbe che ciò che entra nel processo economico rappresenta *risorse naturali preziose*, e ciò che ne viene espulso *scarti senza valore*. Ma questa differenza qualitativa è confermata, sia pure in termini diversi, da una particolare (e peculiare) branca della fisica nota come *termodinamica*. Dal punto di vista della termodinamica, la materia-energia entra nel processo economico in uno stato di *bassa entropia* e ne esce in uno stato di *alta entropia*.⁷

Spiegare in maniera particolareggiata il significato dell'entropia non è un compito facile. Si tratta di una nozione così complicata che, se dobbiamo credere a un'autorità nel campo della termodinamica, «non è di facile comprensione neppure per i fisici».⁸ A peggiorare le cose, e non solo per il profano, il termine circola ora con parecchi significati, tutti associati a una coordinata fisica.⁹ Un'edizione recente (1965) del *Webster's Collegiate Dictionary* presenta tre lemmi distinti sotto l'unica parola «entropia». Inoltre, la definizione concernente il significato che conta ai fini del processo economico sembra fatta più per confondere che per illuminare il lettore: «Una misura dell'energia non disponibile in un processo

⁷ Sul problema della rappresentazione analitica di un processo, cfr. Georgescu-Roegen 1971, pp. 211-31.

⁸ Questa distinzione, insieme col fatto che nessuno scambierebbe delle risorse naturali contro degli scarti, basta a demolire l'affermazione di Marx che «finora nessun chimico ha ancora scoperto valore di scambio in perle o diamanti» (Marx 1906, vol. I, p. 95, trad. it., vol. I, p. 97).

⁹ Haar 1959, p. 37.

¹⁰ Un'accezione che recentemente ha reso il termine estremamente popolare è quella che parla di quantità di informazione». Per una critica di quest'espressione, a mio giudizio fuorviante, e del presunto nesso tra informazione ed entropia fisica, cfr. Georgescu-Roegen 1971a, Appendice B.

termodinamico chiuso legata allo stato del sistema da un rapporto tale che la modificazione della misura varia con la modificazione del rapporto tra l'incremento di calore verificatosi e la temperatura assoluta alla quale viene assorbito». Ma, come a provare che non tutto il progresso è per il meglio, alcune edizioni più vecchie offrono una definizione più intelligibile. La formula «una misura dell'energia non disponibile in un sistema termodinamico» – che leggiamo nell'edizione 1948 – non può soddisfare lo specialista, ma è utile a fini generali. Spiegare (di nuovo, a grandi linee) che cosa vuol dire energia non disponibile è ora un compito relativamente semplice.

L'energia esiste in due stati qualitativi: energia disponibile o libera, sulla quale l'uomo ha un quasi completo controllo, ed energia non disponibile o legata, che l'uomo non può usare in nessun modo. L'energia chimica contenuta in un pezzo di carbone è energia libera, perché l'uomo può trasformarla in calore o, se vuole, in lavoro meccanico. Ma, per esempio, il favoloso ammontare di energia termica contenuto nelle acque marine è energia legata. Le navi si muovono in cima a quest'energia, ma per farlo hanno bisogno dell'energia libera di un combustibile o del vento.

Quando un pezzo di carbone brucia, la sua energia chimica non ne risulta né diminuita né aumentata. Ma l'energia libera iniziale si è a tal punto dissipata sotto forma di calore, fumo e ceneri, che l'uomo non può più usarla. Si è degradata in energia legata. Energia libera significa energia che esibisce un livello differenziale, come risulta evidente dall'esempio semplicissimo della differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno di una caldaia. L'energia legata è, al contrario, energia caoticamente dissipata. Questa differenza può essere illustrata anche in un altro modo. L'energia libera implica una struttura ordinata, comparabile con quella di un magazzino in cui tutte le carni siano su un banco, le verdure su un altro, e così via. L'energia legata è energia dissipata in disordine, come avviene nel medesimo magazzino dopo che è stato colpito da un tornado. E questa la ragione per cui l'entropia è definita anche come una misura del disordine. La lamina di rame rappresenta un'entropia più bassa di quella del minerale di rame da cui è stata ricavata.

La distinzione tra energia libera ed energia legata è sicuramente una distinzione antropomorfa. Ma questo fatto non deve turbare lo studioso dell'uomo, e anzi neppure lo studioso della materia nella sua forma semplice. Ogni elemento mediante il quale l'uomo cerca di stabilire un contatto mentale con la realtà delle cose è necessariamente antropomorfo. Solo che il caso della termodinamica ha qualcosa di speciale. Il punto è che fu la distinzione economica tra cose che posseggono un valore economico e scarti a stimolare la distinzione termodinamica, e non viceversa. La disciplina della termodinamica si sviluppò invero da una memoria (1824) in cui l'ingegnere francese Sadi Carnot studiò per la prima volta l'economia delle macchine termiche. La termodinamica nacque dunque come una fisica del valore economico, ed è rimasta tale malgrado i numerosi successivi contributi di natura più astratta.

III. Grazie alla memoria di Carnot, il fatto elementare che di per sé il calore si muove soltanto dal corpo più caldo al più freddo si conquistò un posto tra le verità riconosciute dalla fisica. Ancora più importante fu il successivo riconoscimento dell'ulteriore verità che, una volta che il calore di un sistema chiuso si sia diffuso fino al punto in cui la temperatura è divenuta uniforme da un capo all'altro del sistema, il movimento del calore non può venir rovesciato senza un intervento esterno. Una volta disciolti, i cubetti di ghiaccio in un bicchiere d'acqua non si riformeranno da soli. In termini generali, l'energia termica libera di un sistema chiuso si degrada, ininterrottamente quanto irrevocabilmente, in energia legata. L'estensione di questa proprietà dall'energia termica a tutti gli altri tipi di energia condusse alla seconda legge della termodinamica, ossia alla legge dell'entropia. Questa legge afferma che l'entropia (cioè l'ammontare di energia legata) di un sistema chiuso aumenta ininterrottamente, ovvero che l'ordine di un sistema siffatto si muta costantemente in disordine.

Il riferimento a un sistema chiuso è cruciale. Chiediamo al lettore di visualizzare un sistema chiuso, per esempio una stanza con una stufa elettrica e un secchio contenente acqua alla temperatura di ebollizione. Innanzitutto la legge dell'entropia ci dice che il calore dell'acqua bollente si dissiperà costantemente nel sistema. Alla fine il sistema raggiungerà l'equilibrio termodinamico – uno

stato in cui la temperatura è eguale in ogni punto, e tutta l'energia è legata. Ciò vale per ogni tipo di energia in un sistema chiuso. L'energia chimica (libera) di un pezzo di carbone, per esempio, finirà col degradarsi in energia legata anche se il carbone viene lasciato nel suolo. L'energia libera si comporterà in questo modo in ogni caso.

La legge ci dice anche che una volta raggiunto l'equilibrio termodinamico, l'acqua non comincerà a bollire da sola.¹¹ Ma, come tutti sanno, possiamo farla bollire di nuovo accendendo la stufa. Ciò tuttavia non significa che abbiamo sconfitto la legge dell'entropia. Se l'entropia della stanza è diminuita per effetto della differenza di temperatura creata dal riscaldamento dell'acqua, è solo perché una qualche bassa entropia (energia libera) è stata introdotta nel sistema dall'esterno. E se includiamo nel sistema l'impianto elettrico, l'entropia di questo nuovo sistema non può non essere aumentata, conformemente a quanto affermato dalla legge dell'entropia. Ciò significa che la diminuzione dell'entropia nella stanza è stata ottenuta soltanto al prezzo di un più grande incremento dell'entropia altrove.

Alcuni autori, impressionati dal fatto che su archi temporali di breve durata gli organismi viventi rimangono pressoché immutati, hanno escogitato l'idea che la vita sfugge alla legge dell'entropia. Ora, la vita avrà forse proprietà che non possono essere spiegate dalle leggi naturali, ma l'ipotesi stessa che possa violare qualche legge della materia (che è qualcosa di completamente diverso) è una

¹¹ Questa posizione richiede qualche approfondimento tecnico. L'opposizione tra la legge dell'entropia - con il suo cambiamento qualitativo unidirezionale e la meccanica - in cui ogni cosa può muoversi in avanti e all'indietro rimanendo identica a se stessa - è accettata senza riserve da tutti i fisici e filosofi della scienza. Eppure, nonostante che la fisica l'avesse rinnegato, il dogma meccanicistico conservò (e tuttora conserva) la sua presa sull'attività scientifica. Ne segue che la meccanica si trovò ben presto inserita nella termodinamica in compagnia della casualità. E si tratta della più strana fra tutte le compagnie possibili, perché la casualità è l'antitesi stessa della natura deterministica delle leggi della meccanica. Ovviamente, il nuovo edificio (noto come meccanica statistica) non poteva accogliere la meccanica sotto il suo tetto e contemporaneamente escludere la reversibilità. Così la meccanica statistica si trova costretta a insegnare che l'acqua di un secchio può cominciare a bollire per forza propria: un'idea occultata dall'osservazione che il miracolo non è stato mai osservato a causa della sua probabilità estremamente bassa. Questa posizione ha alimentato la credenza nella possibilità di convertire l'energia legata in energia libera, o, secondo la spiritosa formulazione di Percy V. Bridgman, di contrabbandare entropia. Per una critica degli errori logici della meccanica statistica e dei vari tentativi di porvi rimedio, cfr. Georgescu-Rwgen 1971a, cap. 6.

mera sciocchezza. La verità è che ogni organismo vivente si adopera soltanto a mantenere costante la propria entropia. E ottiene il suo scopo (nella misura in cui l'ottiene) traendo bassa entropia dall'ambiente per compensare l'aumento di entropia cui, come ogni struttura materiale, l'organismo è ininterrottamente soggetto. Ma l'entropia del sistema totale - formato dall'organismo e dal suo ambiente - non può non crescere. In effetti, l'entropia di un sistema deve crescere più velocemente in presenza che non in assenza della vita. Il fatto che gli organismi viventi combattano la degradazione entropica della loro struttura materiale può ben essere una proprietà caratteristica della vita, che le leggi materiali non sono in grado di spiegare; ma ciò non costituisce una violazione di queste leggi.

Praticamente tutti gli organismi vivono sulla bassa entropia nella forma rinvenibile immediatamente nell'ambiente. L'uomo è l'eccezione più notevole: egli non solo cuoce la maggior parte del suo cibo, ma trasforma le risorse naturali in lavoro meccanico o in una varietà di oggetti utili. Di nuovo, bisogna stare attenti a non farsi ingannare. L'entropia del rame metallico è più bassa del minerale all'origine del processo di raffinazione, ma ciò non significa che l'attività economica dell'uomo sfugga alla legge dell'entropia. La raffinazione del minerale causa un aumento più che equivalente dell'entropia dell'ambiente circostante. Gli economisti amano dire che non possiamo ottenere nulla gratis. La legge dell'entropia c'insegna che la regola della vita biologica e, nel caso dell'uomo, della sua continuazione economica, è molto più severa. In termini di entropia, il costo di qualunque intrapresa biologica o economica è sempre maggiore del prodotto. In termini di entropia, qualunque attività del genere ha inevitabilmente per risultato un deficit.

IV. L'affermazione fatta più sopra - ossia che, da un punto di vista puramente fisico, il processo economico non fa che trasformare preziose risorse naturali (bassa entropia) in scarti (alta entropia) - esce dunque completamente confermata. Ma l'enigma del perché questo processo debba continuare è sempre davanti a noi. E rimarrà un enigma finché non capiremo che il vero output economico del processo economico non è un flusso materiale di scarti, ma un fluire immateriale: il godimento della vita. Se non riconosciamo

mo l'esistenza di questo fluire, siamo fuori dal mondo economico. Né abbiamo un quadro completo del processo economico se ignoriamo il fatto che questo fluire – il quale, come un sentimento entropico, deve caratterizzare la vita a tutti i livelli – esiste soltanto finché è in grado di nutrirsi senza interruzioni della bassa entropia ambientale. E se facciamo ancora un altro passo, scopriamo che ogni oggetto che abbia un valore economico – si tratti di un frutto appena colto dall'albero, di un indumento, di un mobile, e così via – possiede una struttura altamente ordinata, e quindi una bassa entropia.¹²

Le lezioni ricavabili da quest'analisi sono parecchie. La prima è che la lotta economica dell'uomo è incentrata sulla bassa entropia ambientale. In secondo luogo, la bassa entropia ambientale è scarsa in un senso diverso da quello in cui è scarsa la terra ricardiana. Sia la terra ricardiana che i giacimenti di carbone sono disponibili in quantità limitate. La differenza è che un pezzo di carbone può essere usato una volta sola. E in effetti la legge dell'entropia è il motivo per cui una macchina (e anche un organismo biologico) finisce con il logorarsi e deve essere sostituita da una macchina *nuova*, il che significa un ulteriore drenaggio di bassa entropia ambientale.

L'ininterrotto drenaggio di risorse naturali operato dall'uomo non è un'attività storicamente irrilevante. Al contrario, è il più importante fattore di lungo periodo nel determinare la sorte dell'umanità. Per esempio, è a causa dell'irreversibilità della degradazione entropica della materia-energia che all'inizio del primo millennio i popoli delle steppe asiatiche, la cui economia era basata sull'allevamento di ovini, cominciarono la loro grande migrazione verso l'intero continente europeo. E lo stesso elemento – la pressione sulle risorse naturali – ebbe indubbiamente un ruolo in altre migrazioni, inclusa quella dall'Europa verso il Nuovo Mondo. È possibile che nei formidabili sforzi compiuti per raggiungere la luna si rispecchi una qualche vaga speranza di ottenere l'accesso a fonti aggiuntive di bassa entropia. È inoltre a causa della particolare

¹² Ciò non vuol dire che tutte le cose a bassa entropia abbiano necessariamente un valore economico. Anche i funghi velenosi hanno una bassa entropia. Il rapporto tra bassa entropia e valore economico è simile a quello tra valore economico e prezzo. Un oggetto può avere un prezzo solo se ha un valore economico, e può avere un valore economico solo se la sua entropia è bassa. Ma l'inverso non è vero.

scarsità di bassa entropia ambientale che fin dall'alba della storia l'uomo ha ininterrottamente cercato d'inventare mezzi per sfruttare meglio la bassa entropia. Nella maggior parte delle invenzioni dell'uomo (benché non in tutte) è possibile scorgere con sicurezza un'economia della bassa entropia progressivamente migliore.

Ne segue che nulla potrebbe essere più lontano dalla verità della nozione che il processo economico sia qualcosa d'isolato, di circolare, secondo la rappresentazione che ne danno sia l'analisi standard sia quella marxista. Il processo economico è saldamente ancorato a una base materiale sottoposta a vincoli precisi. E a causa di questi vincoli che il processo economico ha un'irreversibile evoluzione unidirezionale. Nel mondo economico soltanto la moneta circola avanti e indietro tra l'uno e l'altro settore dell'economia (anche se in verità perfino l'oro in lingotti si logora, sia pur lentamente, e il suo stock deve essere costantemente reintegrato a partire dai depositi minerari). Retrospectivamente, appare evidente che gli economisti di entrambe le scuole hanno soggiaciuto al peggio dei feticismi economici, quello monetario.

v. Il pensiero economico è sempre stato influenzato dalle questioni economiche di volta in volta sul tappeto. Esso ha inoltre rispecchiato – con un certo ritardo – l'evoluzione delle idee nelle scienze naturali. Un notevole esempio di questa correlazione è il fatto stesso che quando gli economisti cominciarono a ignorare l'ambiente naturale nella rappresentazione del processo economico, l'evento rispecchiò in effetti una svolta nell'orizzonte mentale dell'intero mondo scientifico. Le conquiste senza precedenti della rivoluzione industriale avevano a tal punto abbagliato l'opinione generale riguardo a ciò che l'uomo poteva fare con l'aiuto delle macchine, che l'attenzione di tutti si concentrò sulle fabbriche. La valanga di spettacolari scoperte scientifiche innescata dai nuovi apparati tecnici rafforzò questa generale venerazione per la potenza della tecnologia. E indusse altresì il mondo dei colti a sopravvalutare i poteri della scienza, e in ultima analisi a creare nel suo pubblico un'immagine esagerata di questi poteri. Naturalmente, da quest'altezza non si poteva più neppure concepire che la condizione umana celasse un qualunque intrinseco, effettivo ostacolo.

La sobria verità è diversa. Persino l'arco temporale della specie umana non è che un attimo a paragone di quello di una galassia. Ne segue che malgrado i progressi compiuti dai viaggi spaziali l'umanità rimarrà confinata in quello che è appena un punto dello spazio. E la natura biologica dell'uomo impone altre limitazioni riguardo a ciò che egli può fare. Una temperatura troppo alta o troppo bassa è incompatibile con la sua esistenza; e lo stesso è vero di molte radiazioni. Né basta: come non può attingere le stelle, così l'uomo non può attingere una singola particella elementare, e anzi neppure un singolo atomo.

Proprio perché ha avvertito, per quanto rozzamente, che la sua vita dipende da una bassa entropia a un tempo scarsa e non rinnovabile, l'uomo ha sempre coltivato la speranza di poter alla fine scoprire una forza autoperpetuantesi. La scoperta dell'elettricità fece credere a molti che questa speranza trovasse una concreta realizzazione. In seguito allo strano matrimonio fra termodinamica e meccanica, qualcuno cominciò a pensare seriamente a schemi miranti a liberare l'energia legata." La scoperta dell'energia atomica provocò un'altra ondata di accese speranze che stavolta l'uomo avesse davvero messo le mani su una forza autoperpetuantesi. La scarsità di elettricità che affligge New York e va gradatamente estendendosi ad altre città dovrebbe bastare a disperdere le illusioni. Sia i teorici dell'energia nucleare, sia gli operatori degli impianti atomici, assicurano che tutto si riduce a un problema di costi, che nella prospettiva di questo saggio significa un problema di bilancio in termini entropici.

Con gli scienziati naturali che predicano che la scienza è in grado di superare tutte le limitazioni di cui soffre l'uomo, e gli economisti che gli vanno appresso nel non rapportare l'analisi del processo economico alle limitazioni dell'ambiente materiale dell'uomo, non sorprende che nessuno si stia accorgendo che non possiamo produrre frigoriferi, automobili o aeroplani a reazione «migliori e più grandi» senza produrre anche scarti «migliori e più grandi». Così quando, nei paesi con una produzione industriale «migliore e più grande», tutti sono stati letteralmente schiacciati dall'inquinamento, tanto gli scienziati quanto gli economisti sono stati colti di

¹³ Cfr. *supra*, nota 10.

sorpresa. Ma ancora oggi nessuno sembra capire che la causa di tutto questo è che abbiamo mancato di riconoscere la natura entropica del processo economico. Una prova convincente di quest'affermazione è che ora le diverse autorità in materia d'inquinamento cercano di venderci da un lato l'idea di macchine e reazioni chimiche che non producono scarti, e dall'altro la prospettiva di una salvezza affidata a un perpetuo riciclaggio degli scarti. Non vogliamo negare che, almeno in linea di principio, l'uomo sia in grado di riciclare anche l'oro disperso nella sabbia dei mari, così come è in grado di riciclare l'acqua bollente dell'esempio fatto più sopra. Ma in entrambi i casi dobbiamo usare un ammontare addizionale di bassa entropia molto maggiore della diminuzione dell'entropia di ciò che viene riciclato. Non esiste un riciclaggio gratuito, come non esiste un'industria senza scarti.

VI. Il globo cui la specie umana è legata fluttua per così dire entro il magazzino cosmico dell'energia libera, che può anche essere infinita. Ma per le ragioni indicate nel paragrafo precedente l'uomo non può accedere a questo formidabile ammontare nella sua interezza, e neppure a tutte le forme possibili di energia libera. Non può, per esempio, attingere direttamente l'immensa energia termoneucleare del sole. L'ostacolo più importante (che si frappone anche all'utilizzazione industriale della «bomba a idrogeno») è che nessun contenitore materiale può resistere alla temperatura di reazioni termoneucleari massicce. Tali reazioni possono avvenire soltanto nello spazio libero.

L'energia libera cui l'uomo può accedere proviene da due fonti distinte. La prima fonte è uno *stock*, lo stock di energia libera dei giacimenti minerari nelle viscere della terra. La seconda fonte è un flusso, quello delle radiazioni solari intercettato dalla terra. Tra queste due fonti esistono parecchie differenze, che occorre sottolineare con forza. L'uomo ha un controllo quasi completo sulla «dote» terrestre; e non è impossibile immaginare che la utilizzi interamente nel giro di un solo anno. Non ha invece, a tutti i fini pratici, alcun controllo del flusso delle radiazioni solari. Né può usare ora il flusso del futuro. Un'altra asimmetria tra le due fonti è legata ai loro specifici ruoli. Soltanto la fonte terrestre ci fornisce i materiali a bassa entropia con cui fabbrichiamo le nostre attrezzature

più importanti. D'altro canto, le radiazioni solari sono la fonte prima di tutta la vita sulla terra, che comincia con la fotosintesi clorofilliana. Infine, lo stock terrestre è una fonte ben misera a paragone con quella solare. Con ogni probabilità, la vita attiva del sole – ossia il periodo durante il quale la terra riceverà un flusso di energia solare di intensità significativa – durerà altri cinque miliardi di anni.¹⁴ Ma, per quanto appaia difficile crederlo, l'intero stock terrestre non potrebbe produrre più che pochi giorni di luce solare.¹⁵

Tutto questo getta una nuova luce sul problema demografico, oggi così cruciale. Alcuni studiosi sono allarmati dalla possibilità che la popolazione mondiale raggiunga nel 2000 i sette miliardi – il livello previsto dai demografi delle Nazioni Unite. Sull'altro lato della barricata vi sono coloro che, come Colin Clark, sono convinti che con un'appropriata amministrazione delle risorse la terra possa nutrire fino a quarantacinque miliardi di persone.¹⁶ Ma nessun esperto di demografia sembra aver sollevato un'altra questione, molto più vitale per il futuro dell'umanità: quanto a lungo una data popolazione mondiale – si tratti di un miliardo o di quarantacinque miliardi di anime – può sopravvivere? Soltanto se solleviamo questa questione possiamo scorgere la reale complessità del problema demografico. Anche il concetto analitico di popolazione ottimale, su cui sono stati edificati molti studi demografici, si rivela una vana finzione.

Sotto questo profilo, ciò che è accaduto nel corso degli ultimi duecento anni alla lotta entropica dell'uomo costituisce una vicenda impressionante. Da un lato, grazie allo spettacolare progresso della scienza, l'uomo ha raggiunto un livello di sviluppo economico che ha del miracoloso. Dall'altro, questo sviluppo l'ha costretto a spingere il suo sfruttamento delle risorse terrestri a un grado sbalorditivo (si pensi alle perforazioni petrolifere in mare aperto). Esso ha altresì sorretto una crescita demografica che ha aggravato la lotta per il cibo, portando in alcune aree questa pressione a livelli critici. La soluzione, invocata unanimemente, è un'accresciuta meccaniz-

¹⁴ Gamow 1958, pp. 493 sg.

¹⁵ Quattro giorni, secondo Ayres 1950, p. 16. Ma, anche ammettendo la possibilità che i calcoli siano sbagliati di un migliaio di volte, la situazione non cambia.

¹⁶ Clark 1963, p. 35.

zazione dell'agricoltura. Ma cerchiamo di capire che cosa significhi questa soluzione in termini di entropia.

In primo luogo, eliminando il partner tradizionale dell'agricoltore – l'animale da tiro – la meccanizzazione dell'agricoltura permette l'allocazione dell'intera superficie agricola alla produzione alimentare (e al foraggio soltanto nella misura in cui questo è necessario alla produzione di carne). Ma il risultato ultimo (e il più importante) è uno spostamento dell'input di bassa entropia dalla fonte solare alla fonte terrestre. Il bue o il bufalo – che derivano la loro energia meccanica dalle radiazioni solari catturate dalla fotosintesi clorofilliana – sono sostituiti dal trattore, la cui produzione e il cui funzionamento avvengono con l'aiuto di bassa entropia terrestre. E lo stesso avviene nel passaggio dal letame ai concimi artificiali. Il risultato finale è che la meccanizzazione dell'agricoltura è una soluzione che, pur inevitabile nella presente impasse, è a lungo andare antieconomica. In futuro, l'esistenza biologica dell'uomo si troverà a dipendere in misura sempre maggiore dalla più scarsa delle due fonti di bassa entropia. C'è anche il rischio che l'agricoltura meccanizzata finisca con l'intrappolare la specie umana in un *cul-de-sac*: è cioè possibile che alcune delle specie biologiche legate all'altro metodo di sfruttamento della terra siano condannate all'estinzione.

In realtà, il problema dell'utilizzazione economica dello stock terrestre di bassa entropia non è limitato alla sola meccanizzazione dell'agricoltura, ma è il problema principale da cui dipende il destino della specie umana. Per rendercene conto, stabiliamo che S designi lo stock presente di bassa entropia terrestre, e r un dato ammontare annuo medio di impoverimento. Se facciamo astrazione (come qui possiamo tranquillamente fare) dalla lenta degradazione di S , il numero massimo *teorico* di anni che ci separa dal completo esaurimento dello stock è S/r . E in capo al medesimo numero di anni la fase *industriale* dell'evoluzione dell'umanità avrà forzatamente termine. Stante la formidabile sproporzione tra S e il flusso di energia solare che raggiunge annualmente il globo, è fuor di dubbio che, anche supponendo un'utilizzazione molto parsimoniosa di S , la fase industriale dell'evoluzione dell'uomo avrà fine molto tempo prima che il sole cessi di risplendere. Che cosa accadrà allora (se l'estinzione della specie umana non avviene

prima a opera di qualche insetto corazzato contro ogni attacco o di una qualche insidiosa sostanza chimica) è difficile dire. L'uomo potrebbe continuare a vivere ritornando allo stadio di specie raccoglitrice di bacche che un tempo fu il suo. Ma, alla luce di ciò che sappiamo dell'evoluzione, una siffatta inversione del processo evolutivo non appare probabile. Comunque sia, resta il fatto che quanto più alto è il grado dello sviluppo economico, tanto maggiore è necessariamente l'ammontare annuo di impoverimento r , e di conseguenza tanto più breve diventa la speranza di vita della specie umana.

VII. Il risultato di tutto questo è chiaro. Tutte le volte che produciamo una Cadillac distruggiamo irreversibilmente un ammontare di bassa entropia che potrebbe essere invece usato per produrre un aratro o una vanga. In altre parole, tutte le volte che produciamo una Cadillac lo facciamo a prezzo della diminuzione del numero delle vite umane nel futuro. Lo sviluppo economico attraverso l'abbondanza di prodotti industriali può essere una benedizione per noi adesso, e per coloro che potranno goderne nel prossimo futuro, ma va sicuramente contro l'interesse della specie umana nel suo insieme, se questo interesse è di avere una durata nel tempo limitata soltanto dalla sua dotazione di bassa entropia. In questo paradosso dello sviluppo economico si manifesta il prezzo che l'uomo deve pagare per il privilegio che lo contraddistingue: la capacità di oltrepassare, nella sua lotta per la vita, i limiti biologici.

I biologi amano ripetere che la selezione naturale è una serie di formidabili cantonate, giacché le condizioni future non vengono prese in considerazione. L'osservazione, la quale implica che l'uomo è più saggio della natura, e deve rilevarne il ruolo, dimostra che la vanità degli uomini e la presunzione degli scienziati non conosceranno mai limiti. La corsa allo sviluppo economico, che è il contrassegno della civiltà moderna, non lascia infatti dubbi sulla mancanza di preveggenza dell'uomo. È solo grazie alla sua natura biologica (la sua eredità istintuale) che l'uomo si prende cura della sorte di un certo numero di discendenti immediati, in genere non oltre il livello dei suoi pronipoti. E non c'è né cinismo né pessimismo nel ritenere che, quand'anche divenisse consapevole del problema entropico della specie umana, l'umanità non sarebbe dispo-

sta a rinunciare ai suoi lussi presenti per alleviare la vita di coloro che vivranno di qui a diecimila, o anche solo a mille anni. Ampliando i propri poteri biologici mediante gli artefatti industriali, l'uomo non soltanto è divenuto *ipso facto* dipendente da una fonte di sostegno della vita che è molto scarsa, ma si è contemporaneamente assuefatto ai lussi industriali. E come se la specie umana avesse deciso di avere una vita breve ma eccitante, lasciando alle specie meno ambiziose il destino di un'esistenza lunga ma monotona.

Questioni come quelle discusse in questa conferenza riguardano forze di lungo periodo. Siccome tali forze agiscono con estrema lentezza, noi tendiamo a ignorare la loro esistenza, o, se le riconosciamo, a sminuirne l'importanza. La natura dell'uomo è tale che egli s'interessa invariabilmente a ciò che succederà domani, e non a ciò che avverrà di qui a molte migliaia di anni. Eppure sono proprio le forze che agiscono lentamente quelle di norma più letali. La maggioranza degli esseri umani muore a causa non di questa o quella forza ad azione rapida - come una polmonite o un incidente automobilistico - ma delle forze ad azione lenta che provocano l'invecchiamento. Come ha osservato un filosofo giainista, l'uomo comincia a morire nel momento in cui nasce. La verità è che formulare alcune riflessioni riguardo al futuro lontano dell'uomo non sarebbe in nulla più arrischiato che predire a grandi linee la vita di un bambino appena nato. Una di queste riflessioni è che l'accresciuta pressione sullo stock di risorse minerarie generata dal moderno, frenetico sviluppo industriale, insieme con il problema via via più grave di ridurre la nocività dell'inquinamento (che impone ulteriori contribuzioni al medesimo stock), finirà inevitabilmente col concentrare l'attenzione dell'uomo sui mezzi atti a utilizzare più largamente le radiazioni solari, che costituiscono la fonte più abbondante di energia libera.

Oggi vediamo alcuni scienziati proclamare orgogliosamente che il problema alimentare è prossimo a una soluzione completa grazie all'imminente conversione su scala industriale di oli minerali in proteine alimentari - un'idea stupida, alla luce di ciò che sappiamo del problema dell'entropia. La logica di questo problema giustifica invece la previsione che sotto la pressione della necessità l'uomo finirà col volgersi all'opposta conversione di prodotti vegetali in

benzina (seppure saprà ancora come utilizzarla).¹⁷ Possiamo inoltre essere pressoché certi che, sotto la medesima pressione, l'uomo scoprirà mezzi capaci di trasformare direttamente l'energia solare in forza motrice. E riguardo al problema entropico dell'uomo una scoperta del genere costituirà sicuramente la più grande delle conquiste possibili, perché assoggetterà al suo controllo la fonte più abbondante dei mezzi necessari alla vita. L'opera di riciclaggio e la lotta contro l'inquinamento continueranno a consumare bassa entropia, ma non a spese dello stock (soggetto a rapido esaurimento) del nostro globo.

¹⁷ Che non si tratti di un'ipotesi assurda lo dimostra il fatto che durante la seconda guerra mondiale in Svezia si fecero marciare le automobili usando un gas ottenuto riscaldando legname a mezzo di altro legname.

3.

Il programma bioeconomico minimale"

Primo, la produzione di tutti i mezzi bellici, *non solo la guerra*, dovrebbe essere completamente proibita. È assolutamente assurdo (e ipocrita) continuare a coltivare tabacco se per ammissione generale nessuno intende fumare. Le nazioni così sviluppate da essere le maggiori produttrici di armamenti dovrebbero riuscire senza difficoltà a raggiungere un accordo su questa proibizione se, come sostengono, hanno abbastanza saggezza da guidare il genere umano. L'arresto della produzione di tutti i mezzi bellici non solo eliminerebbe almeno le uccisioni di massa con armi sofisticate, ma renderebbe anche disponibili forze immensamente produttive senza far abbassare il tenore di vita nei paesi corrispondenti.

Secondo, utilizzando queste forze produttive e con ulteriori misure ben pianificate e franche, bisogna aiutare le nazioni in via di sviluppo ad arrivare il più velocemente possibile a un tenore di vita buono (non lussuoso). Tanto i paesi ricchi quanto quelli poveri devono effettivamente partecipare agli sforzi richiesti da questa trasformazione e accettare la necessità di un cambiamento radicale nelle loro visioni polarizzate della vita.'

Terzo, il genere umano dovrebbe gradualmente ridurre la propria popolazione portandola a un livello in cui l'alimentazione possa

* [Testo tratto da *Energy and economic myths*, in «The Southern Economic Journal», XLI (1975), 3; poi in Georgescu-Roegen 1976a; già pubblicato in N. Georgescu-Roegen, *Energia e miti economici*, Bollati Boringhieri, Torino 1998, pp. 90-92].

¹ Al Congresso di Dai Dong (Stoccolma 1972), ho proposto di adottare una misura, che mi sembra molto più semplice della costituzione di strutture di qualunque tipo. La mia proposta era di permettere alle persone di spostarsi liberamente da una nazione a qualsiasi altra: l'accoglienza che ricevette non fu nemmeno tiepida. Cfr. Artin 1973, p. 72.

essere adeguatamente fornita dalla sola agricoltura organica.² Naturalmente le nazioni che adesso hanno un notevole tasso di sviluppo demografico dovranno impegnarsi duramente per raggiungere risultati in tal senso il più rapidamente possibile.

Quarto, finché l'uso diretto dell'energia solare non diventa un bene generale o non si ottiene la fusione controllata, ogni spreco di energia per surriscaldamento, superraffreddamento, superaccelerazione, superilluminazione ecc. dovrebbe essere attentamente evitato e, se necessario, rigidamente regolamentato.

Quinto, dobbiamo curarci dalla passione morbosa per i congegni stravaganti, splendidamente illustrata da un oggetto contraddittorio come l'automobilina per il golf, e per splendori pachidermici come le automobili che non entrano nel garage. Se ci riusciremo, i costruttori smetteranno di produrre simili «beni».

Sesto, dobbiamo liberarci anche della moda, quella «malattia della mente umana», come la chiamò l'abate Fernando Galiani nel suo famoso *Della moneta* (1750). È veramente una malattia della mente gettar via una giacca o un mobile quando possono ancora servire al loro scopo specifico. Acquistare una macchina «nuova» ogni anno e arredare la casa ogni due è un crimine bioeconomico. Altri autori hanno già proposto di fabbricare gli oggetti in modo che durino più a lungo (per esempio, Hibbard 1968, p. 146). Ma è ancor più importante che i consumatori si rieduchino da sé così da disprezzare la moda. I produttori dovrebbero allora concentrarsi sulla durabilità.

Settimo (strettamente collegato al punto precedente), i beni devono essere resi più durevoli tramite una progettazione che consenta poi di ripararli. (Per fare un esempio pratico, al giorno d'oggi molte volte dobbiamo buttar via un paio di scarpe solo perché si è rotto un laccio).

Ottavo (in assoluta armonia con tutte le considerazioni precedenti), dovremmo curarci per liberarci di quella che chiamo «la circumdrome del rasoio», che consiste nel radersi più in fretta per aver più tempo per lavorare a una macchina che rada più in fretta per poi aver più tempo per lavorare a una macchina che rada ancora

² Per evitare fraintendimenti, è bene aggiungere che l'attuale moda dei cibi organici non ha niente a che fare con questa proposta.

più in fretta, e così via, *ad infinitum*. Questo cambiamento richiederà un gran numero di ripudi da parte di tutti quegli ambienti professionali che hanno attirato l'uomo in questa vuota regressione senza limiti. Dobbiamo renderci conto che un prerequisito importante per una buona vita è una quantità considerevole di tempo libero trascorso in modo intelligente.

Studiate su carta, in astratto, queste esortazioni sembrerebbero, nel loro insieme, ragionevoli a chiunque fosse disposto a esaminare la logica su cui poggiano. Ma da quando ho cominciato a interessarmi della natura entropica del processo economico, non riesco a liberarmi di un'idea: è disposto il genere umano a prendere in considerazione un programma che implichi una limitazione della sua assuefazione alle comodità esosomatiche? Forse il destino dell'uomo è quello di avere una vita breve, ma ardente, eccitante e stravagante piuttosto che un'esistenza lunga, monotona e vegetativa. Siano le altre specie – le amebe, per esempio – che non hanno ambizioni spirituali, a ereditare una terra ancora immersa in un oceano di luce solare.

4.

Lo stato stazionario e la salvezza ecologica.
Un'analisi termodinamica*

Il conflitto è origine e fonte di tutte le cose.
Eraclito, fr. 43

1. Lo stato stazionario: rassegna *storica*

Il cambiamento rappresenta la massima sfida per ogni studioso dei fatti reali nonché l'elemento più imbarazzante per chiunque voglia progettare una società ideale. Non c'è dunque da meravigliarsi se lo Stato pressoché immutabile ha offerto un tranquillo rifugio per la mente dello studioso. Nella sua Repubblica, Platone prescrive non solo che le dimensioni della popolazione siano mantenute costanti (ricorrendo, se necessario, persino all'infanticidio), ma anche che qualunque germe di cambiamento sia stroncato sul nascere (Leggi, 740-41; Repubblica, 424, 546). Anche Aristotele, pur non accettando per intero i precetti del maestro, predicò che lo Stato ideale dovesse mantenere una dimensione della popolazione proporzionata al territorio ed evitare qualunque fattore potesse indurre un cambiamento (Politica, 11.2; V.3, 6-7; VII.14). Com'è naturale, se siamo in grado di prevenire un cambiamento, con ciò stesso assicuriamo una stabilità sociale permanente, ovvero una società che si avvicina il più possibile all'immortalità, come sognava Platone (Leggi, 739).

La stessa idea sta alla base della recente riscoperta di un tema, caro a John Stuart Mill (1848, libro IV, cap. 6), secondo cui la salvezza ecologica sarebbe possibile soltanto se l'umanità raggiungesse uno stato stazionario. Benché l'individuo sia mortale, comunque la

* [The steady state and ecological salvation: A thermodynamic analysis, in «BioScience», XXVII (1977), 4, pp. 266-70; già pubblicato in Georgescu-Roegen, *Energia e miti economici* cit., pp. 93-107].

specie umana potrebbe diventare immortale a condizione che l'umanità si decida a seguire questo consiglio prodigatole con la massima energia da Kenneth E. Boulding (1966) e soprattutto da Herman E. Daly (1973).

Tuttavia, la maggior parte degli economisti ha sempre considerato molto negativamente l'avvento di una economia stazionaria. Adam Smith (1937, pp. 71-95) temeva una prospettiva del genere, perché la tendenza alla diminuzione dei profitti sarebbe di ostacolo a ogni ((ulteriore acquisizione)). Egli sosteneva che è nello stato di progresso che la condizione della massa della popolazione è più felice. «Essa è dura nello stato stazionario e miserabile nello stato di declino [...]. Lo stato stazionario è tedioso, quello di decadenza malinconico». E ricorreva all'esempio della Cina per dimostrare che il benessere generale dipende non dal livello della ricchezza, ma dal modo in cui essa varia nel tempo.

Dal canto suo, David Ricardo (1951-55, vol. I, pp. 109, 119-22; vol. IV, p. 234; vol. VII, pp. 16 sg.) pensava che l'economia stazionaria si sarebbe attuata solo a causa della pressione della popolazione per ottenere il cibo, quando le dimensioni demografiche avessero raggiunto il massimo. Ma egli esprimeva anche la speranza che «noi siamo ancora molto lontani» da una situazione così spiacevole.

Negli ultimi tempi, gli economisti ortodossi si sono spinti ancora oltre, considerando con grande orrore lo stato stazionario, che sarebbe assimilabile alla «stagnazione». Essi credono non solo nella possibilità di una crescita materiale continua, ma anche nella sua necessità assiomatica. Questa eresia – la mania della crescita [*growthmania*], come l'ha chiamata Ezra Mishan (1967) – ha stimolato la pubblicazione di un grande numero di lavori secondo cui la crescita esponenziale è considerata lo stato normale delle cose. Ma il sollievo intellettuale dovuto all'assenza di cambiamento spiega lo strano matrimonio di questa filosofia con l'affezione unilaterale di questi stessi economisti all'analisi statica. L'ingrediente fondamentale di questa analisi è lo stato stazionario (chiamato anche statico o stabile): un sistema economico in cui unità economiche invariabili (ma non necessariamente identiche tra loro) sostengono allo stesso tasso, giorno dopo giorno, la produzione e il consumo.

C'è anche un'altra ragione per cui l'analisi statica ha fornito il fondamento su cui sarebbe stata costruita la nuova scienza econo-

mica. Per buona parte della seconda metà del XIX secolo, la filosofia meccanicistica godette ancora di un ineguagliabile prestigio fra gli scienziati e i filosofi, e questo spiega perché la scienza economica neoclassica fu considerata come una scienza sorella della meccanica. Di conseguenza, lo stato stazionario fu visto, sia pure tacitamente, come un concetto analogo a quello di equilibrio statico della meccanica (Georgescu-Roegen 1966, pp. 18 sg.; 1971a, pp. 40-42; 1976, cap. 1).

Questo sviluppo aggravò la confusione ereditata da Adam Smith, Ricardo e soprattutto John Stuart Mill i quali, tutti, si rivelarono incapaci di chiarire che cosa intendessero per stato stazionario. Lionel Robbins (1930) fu così indotto a rilevare che lo «stato stazionario» è avvolto datante ambiguità che ciascuno dovrebbe specificare il livello particolare di tale stato. Inoltre, egli insistette affinché si facesse una rigorosa distinzione tra lo stato stazionario *concepito come equilibrio finale di un processo evolutivo (o anche dinamico)* – come voleva il vecchio uso della scuola classica – e lo stato che è stazionario perché i suoi fattori principali (la popolazione e il capitale) *non possono variare* – il che è solo una finzione analitica dell'economia analitica.

La necessità di questa distinzione appare molto problematica. Il concetto geometrico di «quadrato», per esempio, è sempre identico a se stesso, sia che ci riferiamo a un corpo perfettamente rigido o ai limiti di un quadrilatero elastico soggetto a determinate forze dinamiche. È evidentemente un problema del tutto diverso sapere se una certa forma geometrica può essere un quadrato. Si può benissimo affermare – come ha fatto in particolare Alfred Marshall (Robbins 1930, p. 200) – che lo stato stazionario non ha analogo nel mondo reale. Tutte le finzioni analitiche hanno i loro difetti. Tuttavia, l'insistenza di Daly nel distinguere lo «stazionario» dallo «statico» costituisce l'asse del ragionamento che fa passare la salvezza ecologica per lo stato stabile. In effetti, lo stato stazionario, come lo concepirono gli economisti classici, e in particolare John Stuart Mill, è così elastico che può essere adattato senza molte difficoltà a quasi tutte le esigenze di una polemica.

2. *Il pendolo meccanico contro la clessidra termodinamica*

L'adozione dell'epistemologia meccanicistica da parte della scienza economica dominante comporta varie conseguenze deplorabili. La più importante tra queste è la completa ignoranza della natura evolutiva del processo economico. Stabilita come una scienza sorella della meccanica, la teoria ortodossa non fa all'irreversibilità più posto di quanto ne faccia la meccanica stessa. L'analisi dominante del mercato è interamente fondata sulla completa reversibilità da uno stato di equilibrio a un altro. A eccezione di Alfred Marshall e di pochi altri, i teorici dell'economia ragionano come se un evento (per esempio una siccità o una inflazione) non lasciasse alcuna traccia nel processo economico (Georgescu-Roegen 1966, pp. 64-66, 171-83; 1971a, pp. 126 sg., 338). L'assimilazione del processo economico a una giostra che girerebbe tra la produzione e il consumo ha comportato una seconda omissione deplorabile, quella del ruolo delle risorse naturali in tale processo.²

Per trovare la radice di tutte queste anomalie, ci basta osservare che, secondo l'epistemologia meccanicistica, l'universo non è altro che un enorme sistema dinamico. Di conseguenza, esso non si muove in un senso particolare. Come un pendolo, può spostarsi altrettanto nel senso opposto senza violare qualche principio della meccanica. Persino i morti potrebbero rivivere una vita in senso opposto e morire alla nascita. Ma la sorte fatale dell'epistemologia meccanicistica fu decisa quando più di un secolo fa la termodinamica ci costrinse a prendere in considerazione l'irrevocabile diversità che domina il mondo fisico a livello macroscopico.

Per tentare di illustrare tale questione della termodinamica, ammettiamo che la clessidra della figura 4.1 rappresenti un sistema *isolato*, cioè un sistema che non scambia né energia né materia con l'esterno. Ammettiamo inoltre che la sabbia contenuta nella clessidra rappresenti la materia-energia. Come in ogni clessidra ben costrui-

² Il solo fattore relativo all'ambiente che compaia nella teoria classica della produzione è il suolo, nel suo senso ricardiano, cioè come spazio indistruttibile. John Stuart Mill (1848) sembra essere l'ultimo economista di fama ad aver condiviso esplicitamente la vecchia concezione di William Petty secondo cui il lavoro è il padre e la natura la madre di ogni ricchezza (Georgescu-Roegen 1966, p. 22).

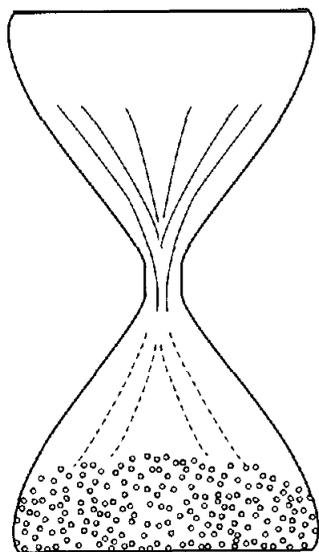


Figura 4.1
La clessidra dell'universo.

ta, la quantità di sabbia resta sempre costante, e questo spiega la prima legge della termodinamica. Allo stesso modo, come in ogni clessidra, la sabbia scorre sempre dalla metà superiore alla metà inferiore dell'apparecchio. Ma due aspetti importanti distinguono il nostro sistema da una clessidra comune.

Per prima cosa, mentre scorre, la sabbia cambia di qualità. La sabbia contenuta nella metà superiore rappresenta materia-energia *utilizzabile*, ovvero materia-energia nella forma in cui essa può essere impiegata da tutti gli esseri umani, nonché da tutte le altre strutture biologiche del pianeta.³ La sabbia contenuta nella metà inferiore rappresenta materia-energia *inutilizzabile* in questo senso. In secondo luogo, la clessidra dell'universo non può mai essere capovolta. Queste due caratteristiche particolari esprimono l'essenza della seconda legge della termodinamica secondo la quale, in

³ A causa della sua costruzione manifestamente antropomorfica, la termodinamica costituisce una scienza singolare (cfr. *infra*, nota 6). Ma la termodinamica comprende anche una zona di mistero, poiché non ci dice se le sue leggi sono valide o no per forme di vita extraterrestri. Cade opportuno rilevare qui che il famoso paradosso del diavolello di Maxwell riguarda per l'appunto questo problema e che, di conseguenza, le argomentazioni che pretendono di averlo risolto sono, per forza di cose, non pertinenti (Georgescu-Roegen 1966, pp. 80 sg.; 1971a, pp. 187-89).

un sistema isolato, la materia-energia utilizzabile si degrada continuamente e irrevocabilmente in uno stato inutilizzabile. L'equilibrio termodinamico è raggiunto quando, in fin dei conti, tutta la materia-energia è diventata inutilizzabile. Se si considera ora che l'entropia è una misura del livello relativo di inutilizzabilità della materia-energia, possiamo dire anche che l'entropia di un sistema isolato tende costantemente verso un massimo.

Ora dobbiamo fare due osservazioni. La prima (ignorata se non contestata dalla letteratura abituale) è che la trasmutazione entropica si opera nello stesso senso del flusso della nostra coscienza, cioè parallelamente alla nostra vita. Senza questa precisazione, non è possibile parlare dell'aumento della materia-energia inutilizzabile. In secondo luogo, i sistemi isolati rivestono per noi un interesse limitato. Se lasciamo da parte il problema della totalità dell'universo, si trovano sistemi isolati (d'altronde con un margine di tolleranza) solo nei laboratori. Quanto al resto esistono solo sottosistemi dell'universo, i quali non sono isolati.

3. Sistemi aperti e sistemi chiusi

Un sistema si dice *aperto* se può scambiare con l'ambiente circostante tanto materia quanto energia. Evidentemente, l'entropia di un tale sistema può sia crescere sia diminuire. Il sistema aperto stabile presenta un interesse notevole proprio perché gli organismi viventi sembrano così costituiti. Ma benché gli interessantissimi lavori avviati da Lars Onsager e proseguiti soprattutto da Ilya Prigogine abbiano gettato molta luce sugli aspetti fisici dei fenomeni biologici, siamo ancora molto lontani dal comprendere questo campo in modo soddisfacente (Katchalsky e Curran 1965, p. 235).

Conviene inoltre essere estremamente prudenti nell'applicazione di questi lavori alle questioni economiche. Proprio perché i famosi rapporti di reciprocità di Onsager per la stabilità di un sistema aperto rappresentano una relazione complessa (o meglio delicata) tra i numerosi vettori del sistema, uno stato stabile aperto è altrettanto estraneo alla realtà che un sistema reversibile. Per la stessa ragione il bel teorema di Prigogine, secondo cui l'entropia prodotta da un sistema aperto raggiunge il minimo quando il sistema diventa stabile, è impropriamente invocato da certi soste-

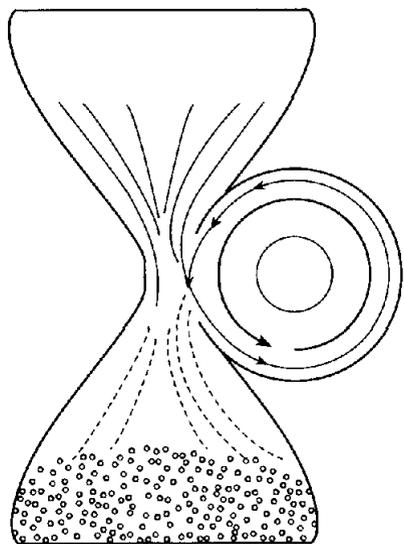


Figura 4.2
Un sottosistema chiuso e stabile

nitori di un'umanità allo stato stabile. Contrariamente a quanto essi sostengono, questo teorema non afferma che l'entropia prodotta da un sistema aperto stabile è necessariamente inferiore a quella prodotta da un sistema non stabile.

D'altra parte, sembra che nessuna obiezione sistematica possa essere utilizzata contro l'idea che, almeno in teoria, il processo economico potrebbe costituire uno stato stabile finché le risorse di materia e di energia utilizzabili restano accessibili con la stessa facilità (il che nella realtà non potrebbe durare per sempre). Ma anche se fosse ammessa, questa idea non giustificherebbe la tesi della salvezza ecologica attraverso lo stato stabile. In effetti, la terra non è un sottosistema aperto, ma *chiuso*, vale a dire un sistema che scambia solo energia con il suo ambiente. Si può rappresentare tale sistema con un anello circolare in grado di scambiare solo energia con la clessidra universo (fig. 4.2). La quantità di materia all'in-

⁴ Certo esiste il fenomeno della pioggia di meteoriti. Ma benché la loro quantità possa sembrare notevole (150000 tonnellate all'anno) in proporzione essa è trascurabile e costituisce soltanto una polvere. Le particelle materiali che potrebbero occasionalmente sfuggire alla forza di attrazione sono ancora meno importanti.

terno del sistema, rappresentata qui da una freccia circolare in grassetto, resta sempre costante.⁵

3.1. Il problema dell'entropia

Benché il sistema chiuso costituisca la base teorica della termodinamica classica, il problema di sapere se un tale sistema possa essere uno stato stabile (per quanto io sappia) non è stato esaminato sistematicamente. Forse si ha in genere la sensazione che finché si ha a disposizione abbastanza energia utilizzabile, non c'è alcun limite alla quantità di lavoro che si può compiere. In ogni caso, è questa l'idea che domina attualmente le nostre concezioni del problema entropico dell'umanità. Per giustificarla, ci si riferirà probabilmente alla formula fondamentale della termodinamica classica per i sistemi chiusi, $dU = AQ - AW$, dove dU è l'energia interna del sistema, Q la quantità di energia ricevuta sotto forma di calore, e W la quantità di lavoro compiuto dal sistema. Per uno stato stabile $dU = 0$ e quindi $AQ = AW$. Qualsiasi operazione può dunque essere effettuata da una quantità corrispondente di energia.

I manuali correnti di termodinamica illustrano la formula $dU = AQ - AW$ mediante apparecchi estremamente familiari che comportano un pistone. Ma, per quanto classico, questo ragionamento trascura nondimeno certi fatti decisivi. Una prima omissione è stata rilevata da Silver (1971, pp. 29-31): non tutta l'energia può essere convertita in lavoro effettivo; una parte costituita dal lavoro contro l'attrito è sempre convertita in energia termica dissipata.

Una seconda omissione riguarda la velocità della trasformazione. È per noi sicuramente impossibile lanciare un razzo bruciando il suo gas di propulsione accendendo dei fiammiferi l'uno dopo l'altro.

L'ultima e più grave omissione consiste nel fatto che, non essendo possibile alcuna conversione di energia senza supporto materiale, l'attrito dissipa non solo energia ma anche materia. Può darsi che, durante una singola prova, l'usura della maggior parte degli apparecchi sia impercettibile, ma non è questa una ragione sufficiente per farne astrazione. A lungo termine o sulla scala immensa

⁵ La quarta ipotesi - quella di un sistema in grado di scambiare soltanto materia con l'esterno - è di fatto impossibile, poiché tutta la materia in movimento trasporta energia cinetica.

della «macchina del mondo», la dissipazione della materia raggiunge proporzioni sensibili. Intorno a noi, tutto si ossida, si rompe, si disperde, si cancella ecc. Non ci sono strutture materiali immutabili, perché la materia come l'energia si dissipa continuamente e irrevocabilmente.

D'altra parte, non dimentichiamo che, a parte la degradazione entropica naturale, la dissipazione di materia e di energia è aggravata dal consumo che di esse fanno tutte le creature e soprattutto gli esseri umani.⁶ Ovunque l'humus è trasportato negli oceani, soprattutto come conseguenza diretta della legge dell'entropia. Anche l'uomo accresce immensamente la dissipazione tanto della materia quanto dell'energia, per esempio consumando alimenti o bruciando legna lontano dai luoghi dove sono stati prodotti.

3.2. Importanza della materia nel sistema chiuso

Dato che in un sistema chiuso la materia utilizzabile diminuisce costantemente, perché non impiegare (si potrebbe suggerire) l'apporto del flusso di energia utilizzabile per produrre materia in applicazione dell'equivalenza di Einstein $E = mc^2$? A questo bisogna rispondere che, anche nella fantastica macchina dell'universo, non c'è creazione di materia a partire dalla sola energia in proporzioni minimamente significative, ma che, in compenso, quantità colossali di materia sono continuamente convertite in energia.⁷ Per esempio, c'è ora sulla terra meno uranio di quanto ce ne fosse qualche milione di anni fa. Tuttavia, il numero di molecole di rame o di altri elementi stabili non è variato dalla formazione del nostro pianeta.⁸

In questa prospettiva, l'energia utilizzabile non potrebbe aiutarci a risolvere la penuria di materia in un altro modo? In effetti, servendoci di un frigorifero, possiamo separare di nuovo le molecole calde dalle molecole fredde che si sono mescolate in occasione

⁶ Oggi sappiamo tutti che, in tutte le branche delle scienze fisiche e chimiche, la termodinamica è la sola dove la vita ha importanza. Le piante verdi rallentano e gli animali accelerano la degradazione entropica. Ma le piante stesse non possono convertire tutta la radiazione solare in lavoro effettivo: questo contraddirebbe la legge dell'entropia.

⁷ Nei reattori nucleari, il plutonio 239 è prodotto a partire da una base materiale importante - uranio 238 o uranio 235 - e una certa quantità di energia.

⁸ Cfr. tuttavia *supra*, nota 3.

della fusione dei cubetti di ghiaccio in un bicchier d'acqua. Allo stesso modo dovremmo essere capaci di contrastare la dispersione della materia e di riunire di nuovo le molecole disperse di una moneta o di un pneumatico.

Questa idea di riciclaggio completo è attualmente molto popolare; essa costituisce nondimeno un pericoloso miraggio. In generale, sono gli ecologisti che l'hanno alimentata, descrivendo con schemi deliziosi come l'ossigeno, l'anidride carbonica, l'azoto e qualche altra sostanza chimica vitale sono riciclati da processi naturali mossi dall'energia solare. Se queste spiegazioni sono accettabili, è perché la quantità delle sostanze chimiche in questione è talmente immensa che il deficit entropico diventa visibile solo su lunghi periodi. Sappiamo in effetti che una parte dell'anidride carbonica finisce sotto forma di carbonato di calcio negli oceani e che il fosforo d'innomerevoli scheletri di pesci morti tendenzialmente resta disperso sul fondo degli oceani.

Ma, si potrebbe sostenere, pensando all'interpretazione statistica della termodinamica, che è sicuramente possibile riunire le perle di una collana spezzata. Il riciclaggio non è per l'appunto un'operazione di questo tipo? Per scoprire l'errore che nasce estrapolando da una scala all'altra, supponiamo che quelle stesse perle siano state prima dissolte in qualche acido e che la soluzione sia stata dispersa negli oceani - esperimento che riproduce quel che accade effettivamente alle diverse sostanze materiali, le une dopo le altre. Anche disponendo di tutta l'energia che vogliamo, avremmo bisogno di un tempo fantasticamente lungo e pressoché infinito per rimettere insieme le perle.

Questa conclusione ricorda uno degli insegnamenti che figurano nella parte introduttiva di tutti i manuali di termodinamica: tutti i processi che si svolgono a una velocità infinitamente piccola sono reversibili, perché in tali condizioni l'attrito è pressoché nullo. Tuttavia, un simile movimento richiede un tempo praticamente infinito. E questa in effetti, scientificamente parlando, la ragione per cui nella realtà i processi reversibili non sono possibili. Ed è anche la vera ragione per cui la materia non può essere completamente riciclata.

4. Una quarta legge della termodinamica e la macchina economica

Una delle conseguenze delle osservazioni che precedono a proposito della materia, è che c'è qualcosa che non va nel concetto di *energia netta* come misura del rendimento (Cottrell 1953; Odum 1973). Se l'estrazione di 10 tonnellate di carbone da una miniera può avvenire consumando solo l'equivalente di una tonnellata, ci si dice che abbiamo guadagnato un'energia netta di 9 tonnellate. In altri termini, ogni estrazione si salderebbe con la produzione di *materia netta* ma di *energia netta negativa*. Una centrale elettrica, in compenso, produrrebbe *materia netta negativa*.

La difficoltà evidente discende dal fatto che ogni operazione implica necessariamente energia e materia, di modo che il solo concetto applicabile è quello di *accessibilità globale*. Un semplice modello di flussi-fondi (Georgescu-Roegen 1971a, cap. 9; 1976a, cap. 9) chiarirà questa nozione e ci fornirà per di più una base analitica che spieghi il ruolo simmetrico della materia in ogni processo fisico (Georgescu-Roegen 1976b).

Il diagramma della figura 4.3 rappresenta la circolazione globale dei flussi tra l'ambiente e il processo economico. Quest'ultimo è diviso in sei sottoprocessi aggregati: cE = produzione di energia controllata (per esempio elettricità o benzina); cM = produzione di materia controllata (per esempio lingotti di acciaio); K = produzione del capitale d'esercizio; C = produzione dei beni di consumo; R = industria di riciclaggio; e Hb = economia domestica. In entrata, i flussi primari sono eE ed eM che rappresentano l'energia e la materia tratte dall'ambiente. In uscita, i flussi finali del processo economico sono dE , energia dissipata; dM , materia dissipata; e W che rappresenta gli scarti (per esempio roccia frantumata o scorie nucleari).

Inoltre, tutte le attività economiche producono *garbojunk*, rGJ , che non sono né materia dissipata né rifiuti, ma *materia utilizzabile* che, tuttavia, non si presenta sotto forma per noi utile. Ne fanno parte cose come bottiglie rotte, vecchi giornali, automobili e abiti usati. Ora, non si insisterà mai abbastanza sul fatto che noi possiamo riciclare solo *garbojunk*: la *materia dissipata non è riciclabile*. L'industria R ricicla tutta la *garbojunk*, compresa quella da lei stessa prodotta, sicché non esiste in uscita un flusso del genere.

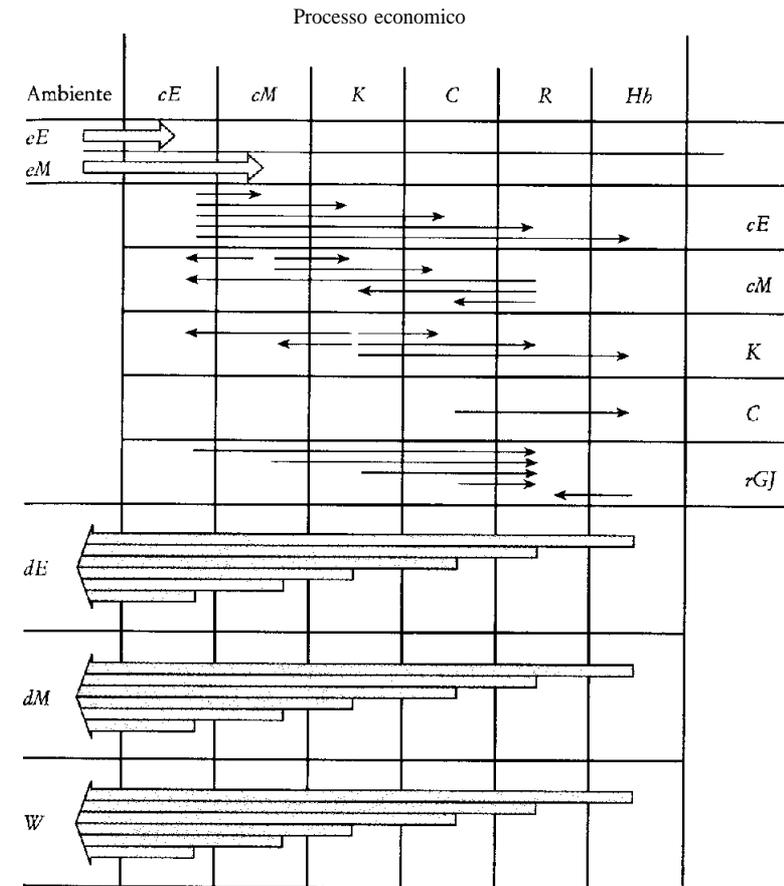


Figura 4.3
Circolazione globale dei flussi (indipendentemente dalla scala) tra l'ambiente e il processo economico

- cE = produzione di energia controllata;
- cM = produzione di materia controllata;
- K = produzione del capitale d'esercizio;
- C = produzione dei beni di consumo;
- R = industria di riciclaggio;
- Hb = economia domestica;
- eE = energia tratta dall'ambiente;
- eM = materia tratta dall'ambiente;
- dE = energia dissipata;
- dM = materia dissipata;
- W = scarti;
- rGJ = *garbojunk* (neologismo formato dalle parole *garbage*, rifiuto, e *junk*, cosa inutile).

Il diagramma dei flussi rivela diversi punti importanti. In primo luogo, nessun sistema economico può sopravvivere senza un apporto continuo di energia *e* di materia: ovvero non può costituire un sistema chiuso allo stato stabile. Anche se tutti i rifiuti *W* potessero essere riciclati,⁹ la dissipazione della materia impedirebbe ai fondi del capitale di restare costanti. Infatti in realtà il mantenimento di quei fondi transitori che sono gli uomini *e* le loro «parti staccabili» (il capitale d'esercizio) è il solo obiettivo materiale del sistema, anche se il prodotto reale dell'intera attività dev'essere ricercato nel misterioso flusso immateriale della gioia di vivere.

Due conclusioni importanti derivano dall'analisi che precede. In primo luogo – e ciò riguarda soprattutto l'economista – poiché l'energia e la materia non possono essere ridotte praticamente a un comune denominatore, noi non possiamo confrontare con considerazioni puramente fisiche l'efficacia di due sistemi che eseguano lo stesso compito, di cui uno utilizza più energia e l'altro più materia. Questa scelta resta *di carattere economico*. Dunque non si può assolutamente sperare di ridurre il valore economico a una coordinata fisica. Il valore economico è condizionato dalla bassa entropia tanto della materia quanto dell'energia, ma non è a essa equivalente (Georgescu-Roegen 1966, pp. 93 sg.; 1971a, pp. 282 sg.). È nella bassa entropia e nello sforzo del lavoro (altro flusso immateriale) che consistono le radici del valore economico.

Per via della sua maggiore generalità, la nostra seconda conclusione può essere enunciata come la quarta legge della termodinamica: *in un sistema chiuso, l'entropia della materia deve tendere verso un massimo*.¹⁰

È capitato a Jonathan Swift di sostenere che ((chiunque riesca a far crescere due pannocchie di granturco o due fili d'erba dove prima ne cresceva uno solo, dovrebbe essere un benemerito dell'umanità» (Swift 1914, p. 176). La legge che precede ci insegna che sarebbe un miracolo far spuntare nello stesso luogo non foss'altro che un solo filo d'erba anno dopo anno (Georgescu-Roegen 1971a, p. 302).

⁹ Una parte dei rifiuti può essere eliminata. La roccia frantumata prodotta contemporaneamente all'olio di scisto potrebbe teoricamente essere reiniettata nel suo giacimento. Tuttavia una parte dell'olio potrebbe allora non essere più accessibile. Realtà del genere sono completamente ignorate da coloro che predicano che noi potremmo incidere sull'ambiente a nostro piacimento (Johnson 1973).

¹⁰ Il caso di un elemento chimico isolato richiama il famoso paradosso di Gibbs.

5. Dalla termodinamica all'ecologia e all'etica

Ai nostri giorni, quasi tutti possono discorrere a sazietà sui rapporti esistenti fra termodinamica ed ecologia. Ma, come abbiamo visto in più di un caso, non basta esibire gli insegnamenti dei manuali per spiegare quel che accade nella macchina del mondo e nemmeno per esaminare le diverse prescrizioni ecologiche che vengono da ogni parte, a cominciare dalla tesi di John Stuart Mill.

Un'economia che comportasse «una ricchezza *fisica* (capitale) costante e uno stock costante di esseri umani (popolazione)» come la definisce Daly (1973, pp. 14, 153), costituirebbe lo stato stabile di un sistema che potrebbe essere aperto o chiuso. La stabilità di un sistema chiuso è esclusa dalla quarta legge. Se si tratta di un sistema aperto, può essere soltanto quasi stabile, perché le relazioni di Onsager non possono essere tutte esattamente soddisfatte. Ciò presuppone inoltre un'accessibilità quasi costante delle risorse naturali.

In realtà, per la maggior parte della sua storia, l'umanità ha vissuto in uno stato del genere nell'ambito delle comunità di villaggio tradizionali che non sono ancora del tutto scomparse. Tuttavia, una società industriale si scontra con un'accessibilità decrescente della materia-energia di cui ha bisogno. Se questa circostanza non è controbilanciata da innovazioni tecnologiche, il capitale deve necessariamente essere aumentato e le persone devono lavorare di più, se la popolazione deve rimanere costante. In questa prospettiva, c'è un limite alla capacità di lavoro nonché ai bisogni di cibo e di comodità. Se le innovazioni compensano l'accessibilità decrescente, il capitale non può restare costante in un qualche senso definito. La difficoltà principale consiste allora nell'impossibilità che le innovazioni continuino all'infinito in un sistema chiuso.

I progressi tecnologici troppo vantati e propagandati nella nostra epoca non dovrebbero renderci ciechi. Dal punto di vista dell'economia delle risorse terrestri – base del modo di vita industriale dell'umanità – la maggior parte delle innovazioni rappresenta uno spreco di bassa entropia. In proposito, che i rasoi siano gettati tutti interi quando la loro lama ha perso il filo o che montagne di fotocopie siano buttate senza essere nemmeno degenerate di uno sguardo,

è poca cosa rispetto alla meccanizzazione dell'agricoltura e del ricorso alla «rivoluzione verde» (cfr. Georgescu-Koegen 1971a, p. 302; 1976a, cap. 3). Automobili, vetture per il golf, falciatrici ecc. «più grandi e migliori» significano necessariamente un inquinamento e un esaurimento delle risorse «più grandi e migliori».

In ultima analisi, è questa mania della crescita che John Stuart Mill e i sostenitori moderni dello stato stazionario vogliono arrestare. Ma essi hanno ragionato un po' come se la negazione della crescita dovesse sfociare in uno stato stabile. Probabilmente, in quanto economisti, non potevano pensare anche a uno stato di «decrescita». Ora, vale la pena rilevare che la maggior parte degli argomenti a favore dello stato stabile milita ancor più a favore di quest'altro stato.

Come riconosce lo stesso Daly (1973, pp. 154 sg.), la tesi dello stato stazionario non ci insegna nulla circa le dimensioni della popolazione o il livello di vita. In compenso, un'analisi termodinamica mette di nuovo in evidenza che la grandezza auspicabile della popolazione è quella che potrebbe essere sostenuta da un'agricoltura esclusivamente organica.

Nondimeno la tesi di John Stuart Mill ci insegna una grande lezione: «la lotta per andare avanti, l'urtarsi, lo spingersi gli uni con gli altri, che rappresenta il modello esistente di vita sociale», per riprendere le sue parole, dovrebbero finire.

Per realizzare questo sogno potremmo cominciare con un programma bioeconomico minimo che dovrebbe prendere in considerazione non solo la sorte dei nostri contemporanei, ma anche quella delle generazioni future. Per troppo tempo gli economisti hanno predicato a favore della massimizzazione dei nostri profitti. È tempo che si sappia che la condotta più razionale consiste nel *minimizzare* i rimpianti. Ogni arma come ogni grande automobile significano meno cibo per coloro che oggi soffrono la fame e meno aratri per alcune generazioni future (per quanto lontane esse siano) di esseri umani simili a noi (cfr. Georgescu-Roegen 1971a, p. 304; 1976a, cap. 3).

Ciò di cui il mondo ha più bisogno è una nuova etica. Se i nostri valori sono giusti, tutto il resto – prezzi, produzione, distribuzione e anche inquinamento – dev'essere giusto. Alle origini l'uomo si è sforzato (almeno in una certa misura) di osservare il comandamen-

to: «Non uccidere»; più tardi: «Amerai il prossimo tuo come te stesso». Ecco il comandamento della nostra era:

«Amerai la tua specie come te stesso*».

Nonostante tutto, anche questo comandamento non potrebbe porre termine alla lotta che l'umanità combatte contro l'ambiente e contro se stessa. Il dovere degli studiosi è quello di contribuire ad attenuare questa lotta e non quello di ingannare gli altri con idee che sfuggono alla capacità della comprensione umana. Con umiltà, questa è la responsabilità che insegna la bioetica di Van Rensselaer Potter (1771).

5.

Ineguaglianza, limiti e crescita da un punto di vista bioeconomico"

1. Le differenze tra individui o gruppi di individui sono non solo normali ma anche inevitabili nel mondo biologico. Solo all'interno della specie umana, tuttavia, esistono sin dagli albori della storia ineguaglianze di diversa natura - ineguaglianze sociali, che hanno poco o niente a che vedere con quelle biologiche. Come hanno osservato i primi filosofi sociali - Platone e Aristotele - queste differenze sono fonte di grandi sconvolgimenti, e questo punto è confermato con perfetta regolarità dalla storia. In tutti i tempi, i conflitti sociali sono stati alimentati dall'ineguaglianza economica tra le classi sociali. anche quando le motivazioni dichiarate del conflitto non avevano natura economica. Altre specie come le termiti, le formiche e le api, per citare solo alcuni casi noti, vivono in società ma, stranamente, non conoscono il conflitto sociale.

In questo articolo, mi propongo di spiegare le ragioni fondamentali di questa differenza che rende diversa la specie umana. e di usare questo risultato per fare luce sulle difficoltà che hanno condizionato i programmi economici tesi alla rimozione delle ineguaglianze economiche tra strati sociali e tra nazioni. Tenterò di dimostrare inoltre che la soluzione di tutte le tensioni che oggi esistono nel mondo e di quelle ancora più gravi che ci aspettano nel prossimo futuro, richiede un approccio totalmente diverso rispetto a quello dell'economia convenzionale, che si fonda esclusivamente sul meccanismo dei prezzi e sui trasferimenti finanziari. Propongo

* [*Inequality, limits and growth from a bioeconomic viewpoint*, in «Review of Social Economy», XXXV (1977), pp. 361-75].

di chiamare questo nuovo approccio «bioeconomia», per sottolineare l'origine biologica dei processi economici e chiarire che l'esistenza dell'umanità deve fare i conti con la limitatezza delle risorse, localizzate e distribuite in modo diseguale.

2. Il fatto che tutte le creature biologiche dipendano per la propria vita, direttamente o indirettamente, dall'energia disponibile che raggiunge la terra attraverso le radiazioni solari, è un'idea relativamente vecchia che risale come minimo a Hermann Helmholtz. A seguito delle recenti crisi ecologiche, questa idea è ormai divenuta un luogo comune. Per dirla tutta, la vita ha bisogno anche di un tipo particolare di materia, che per simmetria si può definire materia disponibile. Materia disponibile in una forma sufficientemente ordinata, tale da poter essere utilizzata ai nostri fini. Si tratta per esempio del minerale di rame, in contrapposizione alle molecole di rame sparse ai quattro angoli della terra. Tramite varie trasformazioni geologiche e biologiche, la materia disponibile per la vita si trova negli strati superficiali del terreno e nei corpi acquiferi. sotto i sedimenti e nelle sostanze disciolte.

Tutte le specie, inclusa quella umana, affrontano il problema della manutenzione, riproduzione e difesa di se stesse con gli organi di cui ciascun individuo è biologicamente dotato sin dalla nascita. Seguendo il biologo Alfred Lotka, questi organi possono essere definiti endosomatici. Tutte le specie, inclusa quella umana, si adattano alla vita tramite mutazioni genetiche favorevoli. Ma queste mutazioni accadono di rado, e inoltre il miglioramento da esse apportato è tremendamente lento rispetto alla percezione umana del tempo. Ci sono voluti non meno di quarantacinque milioni di anni affinché l'*eohippus* - un animale che nell'era eocenica aveva le dimensioni del bracchetto inglese - si trasformasse nell'animale potente che adesso conosciamo come cavallo. La singolarità della specie umana è di trascendere il miglioramento endosomatico, e questo aspetto evolutivistico ha cambiato in modo determinante il destino degli uomini.

A parte pochi casi di significato marginale, la specie umana è la sola che ha prima usato e successivamente prodotto organi esosomatici, e cioè arti separabili quali clave, martelli, coltelli, barche e, più importanti ancora, fucili, automobili, aeroplani ecc. Per quanto

ne sappiamo oggi si può ipotizzare che tutto questo sia cominciato circa venti milioni di anni fa, quando uno dei nostri primi antenati raccogliendo una clava nella foresta si rese conto che le sue braccia erano diventate più lunghe e più potenti: si trasformò così in animale con clava. Sicuramente questo fenomeno unico non avrebbe avuto grandi conseguenze se non fosse stato favorito dall'evoluzione biologica - dal miglioramento del cervello umano e dal parallelo sviluppo degli istinti vebleniani di abilità tecnica e di curiosità oziosa. Da quando la specie umana imparò a produrre organi esosomatici, il progresso diventò spettacolare, o esponenziale, come alcuni lo hanno definito.

Sfortunatamente, l'evoluzione esosomatica non è stata una benedizione senza macchie. Ha messo il genere umano di fronte a due situazioni difficili.

3. La prima è l'assuefazione alle comodità (legittime, ma solo fino a un certo punto) fornite dagli organi esosomatici, ma anche al «piacere» derivante dai gadget più stravaganti e più ingombranti, splendidamente illustrati dalla contraddizione di avere automobili così grandi da occupare un garage a due posti. Questa assuefazione, del tutto simile a quella dei primi pesci trasformati in rettili capaci di respirare e poi divenuti irreversibilmente dipendenti dall'aria, costituisce oggi un problema perché da un certo momento in avanti la produzione di organi esosomatici divenne dipendente dall'uso di energia e materia disponibili immagazzinate nelle viscere della terra.

Il guaio è che lo stock di energia e materia terrestre accessibile è necessariamente finito. E inoltre la termodinamica, sostenuta da irrefutabili dimostrazioni storiche, insegna che la materia-energia disponibile si degrada continuamente e in modo irreversibile in «rifiuti», una forma di materia-energia inutile dal punto di vista degli usi umani. La radice della scarsità economica risiede nelle leggi della termodinamica, che può essere considerata la fisica del valore economico, come ha dimostrato Sadi Carnot nel suo famoso saggio del 1824. In un mondo in cui esistessero le leggi della termodinamica, la stessa energia potrebbe essere usata più volte e nessun oggetto materiale si consumerebbe. Ma in un mondo come questo, non potrebbe esistere la vita quale oggi la conosciamo.

La conclusione è chiara e ineludibile. L'attività industriale in cui è oggi impiegata larga parte dell'umanità accelera sempre di più l'esaurimento delle risorse terrestri, fino ad arrivare inevitabilmente alla crisi. Prima o poi, la «crescita», la grande ossessione degli economisti standard e marxisti, deve per forza finire. La sola questione aperta è «quando». Negli ultimi dieci anni [1967-77, N. d. R.] circa, sono emersi sintomi evidenti dei limiti ambientali alla crescita. L'inquinamento si è diffuso ovunque. Gli Stati Uniti, un tempo il maggior produttore mondiale di petrolio, non sono più in grado di aumentarne la produzione necessaria a coprire i propri fabbisogni.

Quel che è stato sempre chiaro, ma che gli economisti standard hanno sempre ignorato, è il fatto che le risorse naturali sono un fattore primario di cambiamento, sono state la causa degli spostamenti dei popoli in tutti i continenti, come durante la grande migrazione e negli ultimi duecento anni, sia nel Vecchio che nel Nuovo Mondo. Il controllo sulle risorse minerali ha sempre spinto le nazioni a farsi la guerra, ma oggi questo aspetto del problema è diventato cruciale. Le ineguaglianze nella distribuzione delle risorse rispetto alla dimensione della popolazione, in alcuni casi compensa le ineguaglianze preesistenti, ma in altri casi le accentua. Oltre a preparare il terreno a possibili future complicazioni internazionali, questa tendenza rende più difficile affrontare il problema della fame e delle malattie nel mondo, su cui tornerò più avanti.

4. La seconda difficoltà determinata dall'evoluzione esosomatica è il conflitto sociale. Un uccello, per esempio, vola con le sue ali e prende gli insetti con il suo becco, quindi con i suoi organi endosomatici. Poiché gli organi endosomatici sono proprietà naturali dell'individuo, non possono essere oggetto di conflitto. Anche in questo caso, l'unica eccezione di rilievo si trova tra gli uomini. C'è stata innanzitutto la schiavitù che ha permesso ad alcuni esseri umani di usare gli organi esosomatici di altri esseri umani. Qualcosa di simile è costituito poi dall'uso di servi personali di ogni sorta, così come l'addomesticamento degli animali.

Ci sono persone che pescano con il becco del cormorano e altre che corrono con le gambe del cavallo. Queste possibilità hanno naturalmente dato luogo a conflitti, ma non necessariamente a conflitti sociali. Neanche gli strumenti esosomatici hanno dato luogo

a conflitti sociali finché la loro produzione e uso sono stati circoscritti all'interno della famiglia o di un clan di famiglie. L'era in cui ogni famiglia o clan viveva di quel che poteva cacciare o pescare con il proprio arco, freccia o rete, è stata definita da Marx «comunismo primitivo». Grazie agli stretti legami esistenti tra i componenti di queste piccole comunità, la formula «da ciascuno secondo le sue capacità, a ciascuno secondo i suoi bisogni» funzionava abbastanza bene. I conflitti individuali esistevano, basti pensare a Caino e Abele, ma non vi erano conflitti sociali; e non c'erano le classi, a parte quelle di età.

Tuttavia la produzione di strumenti esosomatici ben presto richiese più braccia di quelle disponibili all'interno di un clan. Agli inizi, la produzione dovette essere organizzata mettendo insieme più clan, e divenne attività sociale. I clan furono aggregati, a volte fusi in un tipo di organizzazione di grado superiore, normalmente chiamata «società». Emerse allora una caratteristica indissolubile dalla produzione socialmente organizzata, la divisione del lavoro non in base alle professionalità – questa esisteva già presso le singole famiglie – ma in base ai ruoli ricoperti nell'organizzazione. La divisione, come la conosciamo da Adam Smith, è tra lavoro produttivo e lavoro improduttivo. Usando una terminologia più ampia potremmo parlare di governanti e di governati.

Un secondo fattore va considerato. Gli strumenti esosomatici non solo richiedono la cooperazione di un gran numero di persone (come nel caso di un mulino, di una grande barca o di un aereo) ma possono anche servire un vasto numero di persone; difficilmente tuttavia tutti i componenti della società. Neppure le merci più piccole possono sempre essere prodotte in quantità sufficiente per tutti. Questo fatto solleva una questione totalmente nuova: quali membri della società devono beneficiare dell'uso degli strumenti esosomatici? La risposta non è né semplice né diretta. Per loro natura, gli strumenti esosomatici non sono la proprietà naturale di nessun particolare individuo. *Prima facie*, la domanda su chi deve usare le merci prodotte sembra dar luogo a un conflitto individuale, ma non è così, perché il conflitto sulla distribuzione degli strumenti esosomatici e sui loro prodotti è definito in base alle esigenze della produzione organizzata.

In breve, l'evoluzione esosomatica, creando una divisione sociale, dà luogo a un primo tipo di conflitto tra chi deve andare sotto terra a scavare il carbone e chi invece dirige le operazioni minerarie, normalmente seduto al tavolo di un ufficio. Il secondo conflitto, su chi può usare la maggior parte del carbone estratto, è definito anch'esso in base alla divisione sociale tra governanti e governati.

A questo punto, dobbiamo affrontare la questione cruciale esposta nella sezione iniziale di questo articolo. Le specie diverse dalla nostra vivono in società basate sulla produzione organizzata, ciononostante non sono afflitte da nessun tipo di conflitto sociale. La risposta a questo interrogativo è che quelle specie sono arrivate alla vita sociale attraverso un'evoluzione endosomatica, il che significa che a ciascun componente è attribuito un posto preciso nella produzione dal suo soma, fin dalla nascita. Per esempio, la formica portinaia nasce con la testa piatta e i suoi istinti sono tali per cui non desidera fare niente altro se non bloccare l'ingresso alla colonia di formiche con la sua stessa testa. In una società come questa, non ci può essere conflitto di «classe». Quando l'ape operaia uccide i parassiti all'avvicinarsi dell'inverno, non ci troviamo di fronte a una guerra civile ma a un normale evento biologico per quella specie.

I conflitti sociali delle società umane esistono solo perché la specie umana ha cominciato a vivere in società a seguito dell'evoluzione esosomatica. Niente nel soma del nuovo nato definisce il suo ruolo futuro. Potrà diventare un portatore di riscio oppure un mandarino. E il guaio è che, diversamente dalla formica portinaia, il portatore di riscio vorrebbe essere un mandarino, e la lotta per modificare il suo ruolo fa parte della sua normale esperienza di vita.

5. Non c'è dubbio che qualcuno proveniente da un altro pianeta troverebbe difficile capire molti aspetti del nostro processo economico. Prima di tutto non riuscirebbe a capire perché il lavoro improduttivo è sempre stato privilegiato sul piano economico. Chi svolge lavoro improduttivo di qualsiasi tipo dovrebbe essere svantaggiato nella ripartizione del reddito nazionale. In contrasto con i lavoratori manuali, i governanti (senatori, giudici, scrittori o matematici) non possono dimostrare in nessun modo verificabile né quanto lavorano né con quale impegno. Il segreto del loro successo

risiede precisamente nel fatto che non esiste nessuna misura oggettiva del loro lavoro: e infatti ci si può vantare solo di quel che non può essere misurato in modo oggettivo. E per questo che le élite sociali di tutti i tempi, dai sommi sacerdoti dell'antico Egitto ai tecnocrati contemporanei, hanno sempre accampato la loro superiorità, ponendo sempre la stessa domanda: «Dove sareste voi governati, se non ci fossimo noi ad aiutarvi a sopravvivere?» E la verità è che in tutti i periodi storici questa domanda risponde in parte a verità. I sommi sacerdoti dell'antico Egitto informavano i contadini che era giunto il momento di preparare i terreni per la semina; con le loro imprese, i capitalisti hanno creato occupazione; e i tecnocrati rispondono al bisogno legittimo di un sistema di vita complesso. Ma è egualmente vero che, intorno a questi ruoli legittimi, hanno sempre creato una mitologia sociale per giustificare la crescita abusiva dei loro privilegi.

Il modello matematico costruito da Léon Walras, per spiegare perché certe condizioni di mercato – non difficili da riscontrare nella realtà – dovrebbero garantire la distribuzione ottimale del reddito nazionale, è stato analizzato da diversi punti di vista... Abbiamo però trascurato la parte essenziale e cioè che l'equilibrio walrasiano presuppone l'esistenza di una distribuzione del reddito preesistente, determinata dalla divisione della società in classi.

Come risulta chiaro da questa analisi, il conflitto sociale continuerà sfortunatamente a far parte dell'esperienza umana finché il nostro modo di vita dipenderà dalla produzione su vasta scala di strumenti esosomatici. Contrariamente alla fede fondamentalista di Marx, la socializzazione dei mezzi di produzione non porta all'esaurirsi del conflitto sociale. Dove non ci sono più direttori e presidenti, ci saranno ancora – come sappiamo bene – commissari e segreterie, una nuova classe con gli stessi privilegi della vecchia.

I modelli economici che utilizzano tasse, sussidi e trasferimenti di reddito non sono adeguati a garantirci dalla violenza dell'ineguaglianza sociale, della quale la storia recente e meno recente offre esempi illuminanti. Gli economisti dovrebbero accettare la verità essenziale che l'ineguaglianza sociale è iscritta nel nostro modo di vita esosomatico. I soli strumenti per prevenirne il peggioramento sono di tipo politico, e devono assicurare la libertà di critica e il diritto di approvare o rifiutare con il voto i governanti e i loro emis-

sari. Senza dubbio la pressione che la crescita della popolazione esercita su un ambiente finito e avaro, è tale da sconvolgere il quadro contemporaneo. Vi sono dunque ragioni ancora più decisive per abbandonare il positivismo sbagliato degli ultimi cento anni e per cominciare a guardare al processo economico da un punto di vista fisiologico ed evolutivista.

Dobbiamo liberarci anche del mito secondo cui l'aumento dell'industrializzazione curerà tutti i mali. Al contrario, renderà più acuto il conflitto sociale. Il fatto che il benessere portato dall'industrializzazione non sia privo di costi sociali, era già stato capito da Platone e Aristotele. Il primo insisteva che nel suo modello bisognava guardarsi dalle derive del sistema repubblicano; il secondo sosteneva che in una società sana devono trovare soddisfazione solo i bisogni materiali vitali. La stessa convinzione ha sempre caratterizzato i fautori della distribuzione delle terre di tutti i colori e di tutti i tempi, e riprende vigore ora di fronte alle crisi che affliggono l'umanità, causandogli crescente disagio. Quello che stiamo mettendo in discussione è la crescita fine a se stessa: la psicosi delle automobili, dei frigoriferi, dei super-jet (persino degli altoparlanti) sempre più grandi e potenti.

La crescita tuttavia ha un suo ruolo legittimo, specie in una situazione come l'attuale dove un altro tipo di ineguaglianza chiede urgentemente il nostro intervento. Il mondo biologico è diviso in un numero infinito di specie, conseguenza dell'evoluzione perenne, esistente ovunque, attraverso le mutazioni biologiche. A causa della sua evoluzione esosomatica, l'umanità si trova divisa in diverse specie esosomatiche. Questa espressione va intesa in senso proprio.

L'umanità è sempre stata, ed è ancora, divisa in razze. Ciò comporta che due qualsiasi di esse potrebbero mescolarsi, senza incontrare alcun ostacolo biologico. Ma l'evoluzione esosomatica è diversa: al tempo in cui gli egiziani erano impegnati a costruire le piramidi, che ancora oggi sono oggetto della nostra ammirazione, i popoli dell'Europa centrale vivevano in un'economia simile a quella degli uomini di Cro-Magnon. Differenze analoghe ancora esistono, e talvolta sono persino maggiori. Basta confrontare il modo di vita dei nordamericani con quello degli uomini del deserto del Kalahari. Dal punto di vista esosomatico, l'*homo indicus* è un individuo totalmente differente dall'*homo americanus*. Il primo si muove soprat-

tutto a piedi, o al massimo con un piccolo carro trainato dall'asino, e cucina su fornelli portatili primitivi (*hibachi*) che impiegano lo sterco essiccato come combustibile. Il secondo viaggio in automobile, quando non vola in aeroplano, e cuoce i suoi cibi con l'elettricità in cucine automatizzate. La separazione è persino più grande e marcata di quella tra due specie biologiche derivanti dallo stesso gene - per esempio, una tigre e un leone. A una persona proveniente da un altro mondo, che non riesca a distinguere il coltello dalla mano che lo impugna, homo indicus e homo americanus possono apparire non come due distinte specie esosomatiche ma come due generi o addirittura due famiglie separate.

Negli ultimi venticinque anni [1952-77, N. d. R.], un massiccio aiuto finanziario proveniente soprattutto dagli Stati Uniti è stato destinato al miglioramento economico di numerosi paesi. In alcuni casi - Europa occidentale e Giappone - l'obiettivo è stato pienamente raggiunto. In molti altri, specie nei paesi più bisognosi, il risultato è stato vicino allo zero nonostante l'ampiezza dello sforzo compiuto. Una differenza tanto marcata può essere facilmente spiegata alla luce dei seguenti fatti: Giappone ed Europa occidentale appartengono alla stessa specie esosomatica degli Stati Uniti, il fornitore ultimo della tecnologia necessaria alla ripresa. I paesi meno sviluppati, invece, appartenevano - e tuttora appartengono - a una specie esosomatica diversa. La tecnologia importata dall'estero - prima dagli Stati Uniti, poi dall'Europa occidentale - non è adatta alla loro struttura esosomatica, così come la piuma di un uccello non può diventare la pinna di un pesce.

Anche in questo caso la nostra comprensione parrocchiale (e dunque superficiale) del funzionamento interno del processo economico ci ha portato fuori strada. L'homo indicus ci ha chiesto aiuto perché il suo asino era caduto nel fosso e si era rotto le gambe. Su consiglio delle autorità economiche, l'homo americanus gli è andato in aiuto con uno pneumatico radiale di acciaio per riparare i danni del suo «mezzo di trasporto». Non scherzo affatto dicendo che la R&S (ricerca e sviluppo) dei paesi occidentali è interessata soltanto a migliorare gli strumenti esosomatici utili a questi stessi paesi - un rasoio elettrico per radersi più in fretta, un forno a microonde più automatizzato, un condizionatore d'aria più silenzioso, e così via. Nessuno di questi miglioramenti può essere di alcun aiuto alle

popolazioni del Sud-est asiatico o dell'Africa, per la semplice ragione che queste popolazioni appartengono a una diversa specie esosomatica, e usano pertanto strumenti esosomatici totalmente differenti. Mettere un forno elettrico o la televisione a colori in ogni casa del Bangladesh è un bel sogno. La responsabilità ricade su coloro che hanno creduto di poter realmente superare le differenze in breve tempo grazie ai «piani di sviluppo».

6. Al sottosviluppo si può essere di aiuto solo se la R&S dei paesi sviluppati si preoccupa di migliorare il livello esosomatico dei paesi sottosviluppati. [...]

Nelle nazioni avanzate, la crescita alimenta la crescita. Ma le nazioni sottosviluppate possono crescere solo se aiutate, e il problema di più difficile soluzione è che, per liberare le altre nazioni dalle carestie e dalla povertà, le nazioni sviluppate dovrebbero ridurre il loro livello di benessere, data la finitezza degli ecosistemi.

Le ragioni di questa affermazione sono semplici. Primo, la popolazione mondiale ha raggiunto una dimensione impressionante; superando la soglia dei 4 miliardi di individui. Al tasso attuale [1977, N. d. R.], ogni anno una popolazione di 80 milioni si aggiunge al totale della nostra affollata nave spaziale. Va sottolineato che solo una parte di questi 80 milioni sono nuovi nati, infatti il grosso dell'aumento deriva dalla differenza della popolazione tra i gruppi di età del passato e quelli del presente. Questo è il modo in cui normalmente cresce la popolazione. Gli 80 milioni aggiuntivi - che presto diventeranno 100 e persino di più - devono essere nutriti, vestiti, educati, alloggiati e curati, imponendo un fardello crescente sopra una popolazione già sovraccaricata.

Secondo, le popolazioni non sono equamente distribuite sulla terra, e di conseguenza, il più delle volte, neanche le risorse sono equamente distribuite. Per avere un quadro che renda l'idea, un occidentale dovrebbe provare a immaginare (se ne fosse capace) gli Stati Uniti densamente popolati come il Bangladesh, dunque con una popolazione non inferiore ai 5 miliardi di individui, il 25 per cento in più dell'attuale popolazione mondiale. E difficile credere che persino un'economia tecnologicamente avanzata come quella degli Stati Uniti sarebbe in grado di nutrire una popolazione così numerosa. Se lo fosse, la fame nel mondo non esisterebbe.

Terzo, le scarsità, coperte nell'ultimo secolo dall'abbondanza dei giacimenti mineralogici disponibili, sono ora venute alla luce. L'embargo petrolifero ci ha fatto capire il problema soltanto all'ultimo momento. E quando la scarsità arriva, il perdente è inevitabilmente il più povero. I paesi sviluppati, grazie alla loro immensa capacità industriale, hanno anche maggiore potere d'acquisto. Possono dominare il mercato petrolifero escludendo totalmente i paesi sottosviluppati. Ed è un guaio, perché il petrolio è ancora più necessario in questi paesi, se non altro per sostenere la loro produzione agricola attraverso la meccanizzazione e le varietà ad alta resa. Dato il potere monopsonistico dei paesi avanzati sul mercato delle risorse naturali, è ragionevole attendersi che il gap tra i paesi sottosviluppati poveri di materie prime e le nazioni avanzate diventi sempre più grande. E questo succederebbe anche se le nazioni avanzate non incrementassero il loro livello di benessere.

Un abitante dei paesi avanzati può consumare in media centinaia di volte di più di un abitante di certe nazioni dell'Africa occidentale. Gli Stati Uniti, che rappresentano il 5 per cento della popolazione mondiale, assorbono circa un terzo del consumo mondiale di risorse naturali. Per assicurare lo stesso livello di benessere alla loro popolazione in crescita, le nazioni avanzate dovranno mettere all'angolo i poveri in ogni mercato in cui l'offerta è anelastica a causa della scarsità reale di risorse.

Ciò che occorre per ridurre le maligne diseguaglianze di un mondo che sembra avere raggiunto i suoi limiti ecologici, non è dunque un programma basato sulla meccanica della domanda e dell'offerta in un mercato ormai disumanizzato, ma un cambiamento di valori sia nei paesi sviluppati sia in quelli sottosviluppati. I primi devono rinunciare a tutto quel che affossa la vita sotto una montagna di gadget inutili, i secondi (i paesi sottosviluppati) devono riconoscere l'illusione nascosta nella mania della crescita e ridurre la popolazione più dei primi.

7. La mania della crescita è ancora molto forte, almeno tra gli economisti e i cosiddetti tecnocrati. Essi affermano che la tecnologia deve continuare a crescere in modo esponenziale. «Accada quel che accada, la tecnologia troverà una soluzione». Coloro che condividono questa fede, scelgono di ignorare i più elementari

principi della natura. Affermano per esempio che il «reattore autofertilizzante» è una fonte illimitata di energia, sostenendo contro tutti i principi della termodinamica che quel reattore produce più energia di quanta ne consuma. E non si chiedono se lo sforzo necessario per costruire e alimentare quel reattore è sostenibile in termini di energia e materia. Equazioni astratte bastano a nutrire la loro fede.

Né sono interessati a considerare il fatto che le risorse naturali presentano una certa gerarchia in relazione ai bisogni esosomatici dell'umanità e anche rispetto alla loro disponibilità. Si ode ancora il grido di vittoria per la possibilità tecnologica di produrre proteine alimentari dal petrolio greggio. La parola «eureka» sarebbe più appropriata, invece, a commentare il processo con cui in molti paesi, durante la seconda guerra mondiale, si produceva, dall'avena e dal legno, il carburante per il trasporto.

In ultimo, costoro ignorano che spesso il progresso tecnologico ha rappresentato un movimento contro il risparmio delle risorse. Si possono citare, in proposito, la guida automatica, il carburatore (super) e (guai a dimenticarsene) l'automobilina per il golf.

Ma il caso più strabiliante, sotto questo profilo, è quello dell'agricoltura meccanizzata e delle sue varietà ad alta resa. Entrambe rappresentano una sostituzione delle radiazioni solari, sostanzialmente libere, con una risorsa scarsa - l'energia terrestre. Per non parlare del degrado materiale causato dall'uso del trattore, dai pesticidi e dai fertilizzanti chimici. Ma l'agricoltura intensiva andrà avanti, non perché è profittevole ai prezzi prevalenti nei paesi avanzati, ma perché le alte rese sono necessarie a sfamare la popolazione mondiale in crescita.

Questo punto prelude a un imperativo immediato: la popolazione globale deve diminuire al livello della capacità di carico del globo, e cioè al livello in cui può essere nutrita con la sola agricoltura biologica. Naturalmente questo livello è abbastanza piccolo, perché nell'agricoltura biologica l'uomo deve dividere il suolo coltivabile con gli animali da lavoro: ci devono essere cibo per gli umani e mangime per gli animali.

8. Come spero di avere dimostrato con questa analisi, la crisi multipla che fronteggia l'umanità alla fine del xx secolo richiede,

piuttosto che un generalizzato arresto della crescita economica, una riduzione della popolazione e delle comodità materiali. La crescita dovrebbe restare un obiettivo dei soli paesi sottosviluppati e solo fino al livello di vita modesto, che deve poi diventare la regola per tutti. Ma per un lungo periodo il problema più pressante resterà il cibo per i paesi che soffrono la fame. Il programma dovrebbe basarsi sullo slogan: «Non cibo ma aziende agricole agli affamati», aziende agricole che permettano loro di sostenere la meccanizzazione dell'agricoltura fino a quando non sarà superata la pressione esercitata dalla popolazione. Questa posizione, che richiede una redistribuzione del potere industriale - accettata in questo contesto - è valida quanto quella che postula una riduzione della popolazione. Rattrista constatare che questa verità sia stata nascosta per sterili controversie ideologiche.

Le risorse per un programma come questo possono venire da più parti. Come ho già detto, possono venire dalla rinuncia agli strumenti esosomatici inutili, come il rasoio da gettare quando la lama è spuntata e, soprattutto, dalla fine della produzione di armi. Tutto ciò comporta essenzialmente il «desviluppo» [*undevelopment*] dei paesi sviluppati.

In chiusura, è d'obbligo raccomandare la prudenza. Avendo capito che la crescita è difficile da realizzare proprio là dove più serve, non dobbiamo essere indotti a credere che il desviluppo sia una questione semplice. Se il problema dell'accumulazione è stato il più grande rompicapo dei pianificatori, la deaccumulazione potrebbe rivelarsi un rompicapo persino maggiore. Per fare un esempio: se la popolazione diminuisse troppo in fretta, gli anziani diverrebbero troppo numerosi rispetto ai gruppi di età dai quali dipende la produzione economica. Il conflitto sarebbe così aspro da minacciare l'ordine sociale, alimentato da quel conflitto di natura biologica che è l'eutanasia regolamentata (cioè la riduzione forzata della popolazione).

Se l'intuito non mi inganna, sperimenteremo presto una nuova corporazione, quella degli esperti di «desviluppo». La crescita, com'è intesa dalla teoria convenzionale con le sue curve esponenziali, non è ormai più di moda, come molte altre preoccupazioni, un tempo famose, della nostra professione.

6.

Analisi energetica e valutazione economica*

1. Introduzione

Dall'embargo petrolifero del 1973-74 tutti parlano di crisi *energetica*, e ormai sia gli «ottimisti» che i «pessimisti» riconoscono che non è futile chiedersi quali ne saranno le estreme conseguenze; solo gli economisti persistono nel non rendersi conto del rapporto indissolubile che esiste fra scarsità di risorse naturali e processo economico nel suo complesso. Una giustificazione che capita di sentire è che la limitatezza delle risorse naturali non può portare a conclusioni interessanti (Solow 1973, p. 43), come se la scarsità non fosse proprio l'elemento intorno al quale ruota e si evolve il sistema economico. Ma la posizione «ufficiale» è sistematicamente difesa dai responsabili delle organizzazioni economiche più influenti: nessun articolo fra quelli presentati al congresso mondiale della International Economic Association tenutosi a Tokyo si occupava della limitatezza delle risorse naturali. Un comunicato ufficiale spiegava che il programma era stato «molto selettivo»; il fatto curioso tuttavia è che il tema generale del congresso fosse «La crescita economica e le risorse», e l'anno il 1977! È ancor più stupefacente diventa il candido commento fatto a conclusione dei lavori da Mo-

* [*Energy analysis and economic valuation*, in «The Southern Economic Journal», XLIV (1979), pp. 1023-58; già pubblicato in Georgescu-Roegen, *Energia e miti economici* cit., pp. 108-60]. L'aurore è profondamente grato a Jean-Paul Fitoussi, Egon Matzner e William H. Miernyk per l'interesse dimostrato durante la stesura di questo articolo, e desidera ringraziare la Earhart Foundation per la concessione di una tempestiva borsa di ricerca.

gens Boserup, presidente della sezione sulle «Risorse per la crescita economica futura»:

Si è constatato un notevole consenso nel respingere, o meglio nell'ignorare, tutti gli atteggiamenti e le opinioni apocalittiche sulle risorse naturali. È anche a prescindere da quel problema specifico, praticamente non ci sono stati netti contrasti di opinioni.

Come ben sappiamo, una riunione di economisti che non generi disaccordo su questioni essenziali è un evento piuttosto raro, addirittura scandaloso, direbbe qualcuno. Viene [quindi] in mente subito una domanda: come mai gli economisti hanno trovato un'intesa così ampia sulla questione delle risorse naturali, non solo alla riunione della International Economic Association a Tokyo, ma negli ambienti accademici in generale? (Boserup 1979, vol. I, p. 243).

La situazione è diversa in altri ambienti, nei quali un numero sempre crescente di nuovi esperti energetici spazia a piacere sulla questione delle fonti accessibili di energia, contribuendo il più delle volte ad aumentare la confusione tanto degli studiosi quanto dei politici; negli ambienti di Washington e in tutti gli enti, sia pubblici che privati, c'è oggi una sola parola d'ordine: «energia».

Alcuni autori, tuttavia, senza aspettare l'avvertimento dell'embargo petrolifero, avevano da tempo riconsiderato, sotto nuovi punti di vista, il vecchio problema del rapporto fra quantità di risorse naturali accessibili, dimensioni della popolazione e benessere, ed è particolarmente significativo il fatto che questi autori, praticamente senza eccezione, abbiano anche sostenuto che l'energia è il solo supporto necessario al processo economico. Si tratta quindi di una tesi che non deriva dall'embargo petrolifero, ma che rappresenta il risultato di un vero e proprio impegno intellettuale.

E naturale chiamare dogma «energetico» la posizione secondo la quale l'energia sola conta, anche se il significato dell'aggettivo è leggermente diverso da quello che aveva in passato in fisica. Il termine «energetica» è stato coniato da Macquorn Rankine per indicare una scienza generale dell'energia che comprendesse anche quella che adesso chiamiamo «termodinamica»; in seguito si è usato il termine «energetica» per denominare una scuola di pensiero sostenuta da alcuni scienziati illustri (come Wilhelm Ostwald e George Helm in Germania, e Pierre Duhem in Francia), parzialmente influenzata dall'epistemologia di Ernst Mach (Hiebert 1971). In opposizione alla teoria avanzata da Ludwig Boltzmann

secondo cui le leggi dell'energia sono conseguenze dirette delle leggi della meccanica newtoniana applicate al moto delle particelle *materiali*, la scuola energetica sosteneva che, al contrario, la materia deve essere in ultima analisi ridotta alla sola «sostanza», l'energia. L'attuale concezione per cui, dato lo specifico modo di esistenza del genere umano, l'energia sola conta, non si identifica del tutto con quella scuola, ma in fondo le due posizioni sono sufficientemente simili per giustificare l'uso del termine «energetica» come etichetta di entrambe.

L'animata controversia sulla vecchia scuola energetica è stata, all'epoca, una disputa puramente accademica; lo stesso non può dirsi invece per l'attuale dogma energetico, che, essendo adesso predominante, determina i principi che guidano i responsabili delle decisioni politiche in materia di carenza energetica e di valutazione tecnologica. C'è chi pensa che anche la validità di questi principi sia solo una questione accademica; al contrario, per il genere umano nel suo insieme si tratta di un problema vitale.

In questo articolo mi propongo, innanzitutto, di spiegare per sommi capi i motivi tecnici del perché il dogma energetico è erroneo, del perché anche la materia conta.¹ In secondo luogo, utilizzerò la rappresentazione analitica di un processo composito per esaminare il problema generale dell'analisi energetica; su questa base, mostrerò gli errori di chi ha recentemente sostenuto che l'analisi energetica costituisce il fondamento razionale per una valutazione economica. In terzo luogo, sulla base dell'impossibilità di ridurre la materia a energia, mostrerò come la scelta economica sia solo una questione economica e non fisico-chimica. Applicherò poi alcuni di questi risultati al problema della determinazione di una tecnologia *vitale* come cosa distinta dai metodi *realizzabili*. Come esempio pratico, esaminerò la possibilità di applicazione di una tecnologia basata sull'utilizzazione diretta della radiazione solare tramite i

¹ È forse opportuno spiegare come, fin dalla mia prima analisi sulla natura entropica del processo economico, io abbia sostenuto che *tanto* l'energia *quanto* la materia subiscono un'irreversibile degradazione da forme disponibili in forme non disponibili (Georgescu-Roegen 1966, trad. it., pp. 113-15; 1971, pp. 142, 277-80). Allora ritenevo che la mia tesi fosse normalmente accettata perlomeno dagli studiosi di scienze naturali e non mi addentravo negli aspetti tecnici, ma il Successo che sta riscuotendo la posizione energetica dopo l'embargo petrolifero mi ha convinto che sbagliai, e ho così cominciato a suffragare le mie conclusioni con argomentazioni specifiche (cfr. cap. 4; Georgescu-Roegen 1976a, c, d, e; 1977a, b; 1979c).

metodi *oggi conosciuti*.² Per sorprendente che possa sembrare nell'attuale clima energetico, la conclusione dell'esperimento è che questa tecnologia non è *vitale*, e che qualunque utilizzazione diretta della radiazione solare con un metodo qualsiasi fra quelli oggi conosciuti è «parassitaria» rispetto all'attuale tecnologia basata su altre fonti. Un simile risultato implica una completa revisione delle idee correnti sulla natura dell'attuale crisi delle risorse naturali e sui suoi possibili sviluppi. L'ultima parte di questo articolo sarà dedicata a un aspetto fondamentale, ma completamente ignorato, dell'evoluzione tecnologica del genere umano, e cioè che finora solo due innovazioni hanno creato tecnologie vitali: la prima è stata il controllo del fuoco, la seconda l'invenzione della macchina termica.

2. Il dogma energetico

Autori diversi danno giustificazioni diverse, spesso sostanzialmente diverse, del dogma moderno dell'energetica. Per esempio, uno dei suoi primi fautori, Fred Cottrell (1953), sostiene che il genere umano ha solo bisogno di *energia netta*, un concetto la cui definizione non sembra presentare difficoltà: se, per esempio, con l'equivalente energetico di 1 t di petrolio greggio vengono estratte 10 t di petrolio di scisto, una semplice sottrazione aritmetica ci dice che l'energia netta è l'equivalente di 9 t di petrolio. Venti anni dopo, uno dei migliori ecologi americani, Howard Th. Odum (1973), ha fatto rivivere l'idea di Cottrell e l'ha elevata al rango di unico criterio di efficienza: un processo è tanto più efficiente quanto maggiore è l'energia netta che produce.³ Data la sua semplicità, questo principio è stato da allora ampiamente accettato e difeso con forza anche maggiore. In effetti, che cosa potrebbe essere più senza senso che utilizzare 1 t di petrolio per ottenere meno di 1 t di petrolio e nient'altro?

² L'opposizione degli economisti tradizionali a una qualsiasi discussione sui problemi sollevati dall'esauribilità delle risorse è così tenace che il direttore dell'«American Economic Review» non ha esitato a sostenere che nemmeno una valutazione tecnologica - come quella che viene qui presentata - costituisce motivo di interesse legittimo per gli economisti. Non sono certo tenuto a scusarmi per il fatto di trattare tale problema in questa sede.

³ Una diversa impostazione è invece quella basata sull'energia lorda (§ 6).

Tuttavia, proprio questo concetto spinge a chiedersi: «Perché non riferire l'efficienza alla *materia netta*?» Per esempio, nel processo di produzione del rame si usa rame, quindi c'è un guadagno di materia netta. Comunque si decida di procedere, si incontrano nuovi ostacoli: l'estrazione del rame implica anche un'energia netta *negativa*, mentre qualsiasi centrale elettrica implica numerose materie nette *negative*.

Sebbene su questo punto Odum non sia esplicito quanto sarebbe desiderabile, gli va riconosciuto il merito di aver detto che l'energia netta si deve calcolare sottraendo dalla produzione totale non solo l'energia direttamente utilizzata nel processo, ma anche quella necessaria per produrre o ripristinare tutte le parti *materiali* consumate durante il processo (§ 6). Questa spiegazione però tradisce grossolanamente l'esistenza di un pregiudizio in favore dell'energia, perché se così non fosse, si potrebbe benissimo proporre, per simmetria, di ridurre tutto alla materia netta, definita come eccesso dell'output di materia rispetto alla materia necessaria per produrre la materia e l'energia consumate. Questa proposta servirebbe a mettere in risalto che in una centrale elettrica si usa materia per produrre energia, proprio come in un altro processo si usa energia per produrre materia. La verità, come vedremo a suo tempo, è che né l'energia netta da sola, né la materia netta da sola possono costituire un principio di valutazione tecnologica (§ 8).

Un'altra giustificazione recente dell'energetica può essere fatta risalire all'opera, ormai classica, *The Next Hundred Years*, dove si legge che «basta aggiungere sufficiente energia a un sistema per ottenere qualunque materiale si desideri» (Brown, Bonner e Weir 1957, pp. 90, 95, 114). Innumerevoli autori hanno predicato il vangelo energetico in questa forma elementare, ma Harrison Brown e i suoi collaboratori lo hanno anche giustificato con l'assioma che il riciclaggio della materia può, in teoria, essere completo (ivi, pp. 90-92). È significativa anche l'aggiunta immediatamente successiva: ((sostanzialmente non esiste un limite inferiore di ricchezza per lo sfruttamento di un giacimento)), che costituisce un naturale corollario di quell'assioma.⁴

⁴ Anche la posizione assunta da Brown nella sua precedente opera è permeata di energetica, ma stranamente entrambi i lavori citano fatti in totale contrasto con il dogma energetico (cfr. § 5).

Anche i pochi fisici e chimici che si sono occupati della questione sembra che siano fautori dell'energetica: per esempio, Alvin Weinberg chiama l'energia «la materia prima finale» perché «l'energia è convertibile nella maggior parte delle altre sostanze di vitale necessità*, che non possono essere che materia. Glenn Seaborg (1972) ha sostenuto anche che la scienza finirà per eliminare tutte le inefficienze tecniche, così da poter, con un'abbondante quantità di energia,

riciclare quasi ogni scarto [...] estrarre, trasportare e restituire alla natura, quando necessario, tutti i materiali in forma, quantità e luogo accettabile, in modo che l'ambiente naturale rimanga tale e permetta la continuazione della crescita e dell'evoluzione di tutte le forme di vita.

Preso alla lettera, si tratta di una posizione energetica molto forte, quasi equivalente all'asserzione che tutto il pianeta potrebbe essere conservato intatto per sempre. Una formulazione ancora più netta del dogma energetico moderno è però quella di Kenneth Boulding (1966): ((Fortunatamente, non, esiste una legge per cui l'entropia materiale debba crescere».⁵ E una dichiarazione che palesa senza ombre la radice di quel dogma: nella lotta economica del genere umano la materia non conta affatto perché non subisce una degradazione qualitativa.

Le precedenti varianti dovrebbero comprendere la gamma completa delle argomentazioni energetiche; tutte, comunque, portano allo stesso quadro analitico del processo economico in relazione all'ambiente, quello rappresentato dalla matrice dei flussi e fondi del processo composito della tabella 6.1 (Georgescu-Roegen 1971a).⁶

⁵ Molto probabilmente Boulding è influenzato dal fatto che la termodinamica convenzionale ignora completamente le trasformazioni materiali (§ 3); è però difficile spiegare perché, dopo essere stato uno dei due soli economisti che hanno messo in risalto la stretta relazione esistente fra legge dell'entropia e processo economico, abbia poi sostenuto (Boulding 1976) che l'entropia costituisce un «potenziale negativo» e non è quindi un concetto adeguato per spiegare lo sviluppo evolutivo. Forse non era a conoscenza del fatto che in termodinamica «potenziale» indica una particolare funzione matematica, non una capacità latente. Inoltre l'entropia non è sempre negativa, a meno di non essere tratti in inganno dell'infelice espressione *negentropy* (quantità di informazione). In ogni caso, Boulding si è recentemente reso conto che anche i materiali sono elementi vitali dell'ambiente (Boulding 1977).

⁶ Questa rappresentazione analitica è semplice e sicura: elimina i fuorvianti diagrammi di flusso utilizzati dagli ecologi e dagli analisti energetici (nei quali vengono ignorati i fondi), ed evita la trappola analitica del «flusso interno» che è tesa a chi si serve della tabella input-output (Georgescu-Roegen 1971a, pp. 253-62). Inoltre, il modello flusso-londo non va confuso con il modello flusso-stock introdotto da John Hicks nella teoria degli squilibri di mercato: la funzione

Tabella 6.1

Il processo economico in relazione all'ambiente secondo il dogma energetico.

Prodotto	(P ₁)	(P ₂)	(P ₃)	(P ₄)	(P ₅)
<i>Coordinate flusso</i>					
CE	x ₁₁	-x ₁₂	-x ₁₃	-x ₁₄	-x ₁₅
K	-x ₂₁	-x ₂₂	-x ₂₃	-x ₂₄	-x ₂₅
C	*	*	-x ₃₃	*	-x ₃₅
RM	*	-x ₄₂	-x ₄₃	-x ₄₄	*
ES	-e ₁	*	*	*	*
W	w ₁	w ₂	w ₃	-w ₄	-w ₅
DE	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅
<i>Coordinate fondo</i>					
Dotazione di capitale	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅
Persone	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅
Terra ricardiana	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅

Per evitare discussioni superflue, dividiamo il processo economico solo in quei processi consolidati e categorie aggregate che sono pertinenti alla presente trattazione:

- P, produce energia «controllata», CE, da energia *in situ*, ES;
- P, produce beni «capitali», K;
- P₃ produce beni «di consumo», C;
- P₄ ricicla completamente gli scarti materiali, W, di tutti i processi in materia riciclata, RM;
- P, dà sostentamento alla popolazione, H.

E necessario che le caratteristiche peculiari di questo quadro siano ben chiare. Primo, né un'economia in crescita né una in declino possono fare da cartina di tornasole per il dogma energetico: una crescita materiale non può essere sostenuta solo da un flusso di energia proveniente dall'ambiente, mentre un'economia in declino può benissimo non aver bisogno di un flusso di materia proveniente dall'ambiente. La verifica va quindi compiuta su un processo stazionario o, nella più felice terminologia di Marx, su uno riproduttivo.

degli stock è di accumulare flussi e di disaccumularsi in flussi, mentre, in astratto, i fondi sono fattori che partecipano a un processo senza subire cambiamenti.

⁷ Anche se può sembrare evidente, questo punto richiede giustificazioni tecniche che verranno fornite in seguito (§ 3).

Da quando, più di cento anni fa, Lord Kelvin ha osservato che l'energia non va perduta, ma diventa semplicemente inaccessibile per noi (Thomson 1881, p. 189; Zemansky 1968, pp. 236-39), un punto, a prescindere dalla situazione specifica, è diventato indiscutibile: tutti i processi producono energia dissipata (non accessibile), DE, che ritorna all'ambiente. Nel modello energetico, invece, la materia non esce dal processo economico, ma viene riciclata completamente nel suo ambito, e quindi non è necessario inserirne di nuova prelevandola dall'ambiente. I soli flussi fra processo economico e ambiente sono quelli di energia, e cioè il flusso di input e_1 quello di output $d = \sum d_i$.

Secondo, il modello della tabella 6.1 riflette un aspetto elementare della realtà sul quale è necessario insistere di continuo, dato il «complesso del flusso» che sembra dominare il pensiero economico moderno (Georgescu-Roegen 1966, trad. it., p. 106; 1971, p. 219). Come tutti i processi effettivi, anche quello economico ha un'impalcatura materiale costituita da elementi di fondo: dotazione di capitale, K_i ; persone, H_i ; e terra ricardiana, L_i . Non è possibile maneggiare l'energia senza una leva materiale, un contenitore materiale o un trasmettitore materiale, e noi stessi siamo strutture materiali senza le quali la vita biologica non può esistere. Nell'includere nel quadro analitico i fondi materiali (in effetti gli agenti), ho fatto l'ipotesi – del tutto ammissibile, credo – che la posizione energetica non arrivi a sostenere che i processi effettivi non richiedono strutture materiali come quelle che troviamo accanto all'energia a livello macroeconomico.

Terzo, il flusso di output di capitale, x_{22} , è destinato a mantenere i fondi di capitale K_i in una condizione riproducibile; la loro usura è quindi compensata dal flusso di manutenzione x_{2i} . Analogamente, i flussi x_{25} conservano «intatta» l'intera popolazione H (comprendente H_i). Si tratta delle condizioni elementari necessarie perché i P_i siano riproducibili, e dato che nel caso in esame tutti i flussi devono essere espressi in unità fisiche (calorie o moli, per esempio), devono valere le seguenti uguaglianze, che traducono a livello aggregato le leggi di conservazione al livello macro:

$$\begin{aligned} d_1 &= e_1 - x_{11}, & d_i &= x_{1i}, & (i = 2, 3, 4, 5), \\ w_1 &= x_{21}, & w_2 &= x_{42} - x_{22}, & w_3 &= x_{23} + x_{43} - x_{33}, \\ w_4 &= x_{44} - x_{24}, & w_5 &= x_{25} + x_{35}. \end{aligned} \quad [1]$$

Quarto, si suppone che ogni processo (P_i) sia realizzabile, che cioè possa produrre quanto deve purché siano presenti i fondi e gli input specificati. Per chiarire, la fusione del ferro tramite la radiazione solare, l'alimentazione di un'automobile con accumulatori elettrici, il portare un uomo sulla luna sono tutti metodi realizzabili; mentre l'utilizzazione della dinamite in un motore a combustione interna o il controllo della potenza termonucleare non sono, per ora, metodi realizzabili. Un punto che va messo ancor più in risalto è che l'attuabilità di ogni processo (P_i) non implica che la tecnologia costituita dall'insieme di tutti i processi sia vitale: le condizioni necessarie e sufficienti per la vitalità della tecnologia del nostro sistema economico in stato riproduttivo sono costituite dalle disequaglianze $x_{i5} \geq x_{i5}^0$, dove x_{i5}^0 è un minimo determinato dal criterio di sopravvivenza, e dalle note relazioni

$$\begin{aligned} \sum' x_{1i} &= x_{11}, & \sum' x_{2i} &= x_{22}, & x_{35} &= x_{33}, \\ \sum' x_{4i} &= x_{44}, & \sum' w_i &= x_4, \end{aligned} \quad [2]$$

dove l'apice sta a indicare che l'indice variabile non può essere uguale a quello fisso.⁸

3. Moto perpetuo di terzo tipo

Secondo la terminologia termodinamica codificata da Ilya Prigogine, un sistema che con il proprio ambiente può scambiare solo energia è chiuso, e quindi tale è il processo economico descritto dalla tabella 4.1. Esso è inoltre riproduttivo, costituisce cioè uno stato stazionario, sempre secondo la terminologia termodinamica; in base al dogma energetico, può fornire lavoro meccanico interno a un tasso costante purché riceva dall'ambiente un flusso costante e, di energia. Data l'importanza teorica che questo sistema ha per la tesi energetica, oltre che per altre teorie, ho proposto di denominarlo *moto perpetuo di terzo tipo*,⁹ e poiché sostengo che tale

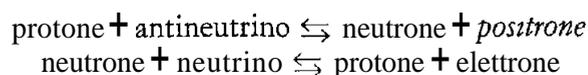
⁸ Il caso in cui tutti i w_i sono nulli, nel quale viene eliminata la necessità di riciclaggio (P_4), corrisponde all'assunto di Boulding.

⁹ Per quanto mi risulta, solo Zemansky (1968, p. 193) utilizza lo stesso termine per un sistema strettamente analogo a questo, e cioè per un sistema in cui il lavoro non viene dissipato per attrito, viscosità ecc. È chiaro che se partiamo dall'ipotesi che tutti i fenomeni che provocano un logorio materiale non esistano, ricadiamo nell'energetica di Boulding; questa è la ragione per cui la mia definizione, che non esclude gli sprechi materiali, è analiticamente più pertinente.

moto perpetuo è impossibile, questa impossibilità, in analogia con la negazione degli altri due moti perpetui per la prima e la seconda legge della termodinamica, può essere considerata una quarta legge della termodinamica (cfr. cap. 4; Georgescu-Roegen 1976*b*, e; 1977*a*, *c*; 1979*c*).¹⁰

A questo proposito, va considerato innanzitutto un aspetto tecnico riguardante la famosa equivalenza fra massa ed energia, $E = mc^2$, di Einstein, in base alla quale anche il premio Nobel Hannes Alfvén (1969) afferma che «la materia può allora essere considerata una forma di energia». Questa asserzione non fa che confermare il ben noto pregiudizio in favore dell'energia. Non è tanto perché la materia non è solo massa, ma una quantità positiva di massa e una quantità positiva di energia strutturate secondo gli schemi precisi degli elementi chimici e dei loro composti, che l'equivalenza di Einstein non può fondare tale posizione: la tesi che desidero avanzare è che fra materia ed energia esiste un'asimmetria intrinseca, dovuta all'asimmetria esistente fra massa ed energia. In effetti, finché non si ammette l'irriducibile asimmetria fra i due termini della formula di Einstein – che con un'adeguata scelta di unità di misura può essere scritta nella forma perfettamente simmetrica $E = m$ – si può parlare tanto di una «crisi di materia» quanto di una «crisi di energia».

L'energia viene convertita in massa (e viceversa) in numerose reazioni nucleari che iniziano e terminano con una certa quantità di massa. Nelle note relazioni



nelle quali i termini in corsivo hanno massa positiva, coppie di antiparticelle con massa di riposo possono essere completamente trasformate in energia pura, come avviene quando un elettrone e un

¹⁰ Questa legge non andrebbe considerata (come si è spesso dimostrato possibile) un corollario di quella dell'entropia. Secondo quest'ultima legge, un sistema *isolato* – cioè un sistema che non può scambiare né materia né energia con quanto lo circonda – tende verso la morte *termica*, oppure verso il caos, se anche la *materia* è assoggettata a quella legge (Georgescu-Roegen 1966, trad. it., p. 90; 1971, p. 132); la confusione può derivare dalla mancanza di rigore nell'usare «chiuso» invece di «isolato»: cfr., per esempio, Huetner 1976. Qui può essere utile ricordare che un sistema che può scambiare con quanto lo circonda sia materia che energia è *aperto*; la quarta categoria logica, un sistema nel quale siano possibili solo scambi di materia, è di fatto impossibile dato che ogni trasferimento di materia coinvolge anche energia.

positrone si trasformano, collidendo, in un fotone. Naturalmente anche la reazione opposta è possibile: i fotoni si possono trasformare in coppie di elettroni e positroni, come avvenne su ampia scala immediatamente dopo il big bang, quando la temperatura dell'universo era ancora superiore a 6×10^9 gradi Kelvin, che costituiscono la soglia di questa reazione. Sono coppie però estremamente instabili (come tutte le coppie di materia e antimateria) e si disintegrano quasi istantaneamente in energia pura; è per questo che i positroni esistono solo in alcuni fenomeni astronomici di grande intensità o in laboratori ad alta energia. Affinché i fotoni possano scindersi in neutroni e antineutroni, la temperatura deve essere di oltre 10^{13} gradi Kelvin, cento volte più elevata di quella che si ritiene ci fosse un centesimo di secondo dopo il big bang – circa 10^{11} gradi Kelvin –, a sua volta superiore alla temperatura delle stelle più calde (Weinberg 1977). Non è possibile fare congetture su quanto è avvenuto prima di quell'attimo, ma sappiamo che le particelle *materiali* – protoni e neutroni da soli – non vennero prodotte allora, e non possono esserlo adesso, da energia pura, e dato che senza nucleoni non ci possono essere atomi, e quindi materia, le attuali spiegazioni sull'origine degli elementi chimici non possono prescindere dall'ipotesi che il numero totale di protoni e neutroni sia sempre stato uguale a quello presente nel brodo caldo primordiale (Tayler 1972; Weinberg 1977). Per esprimere il fatto che in nessun punto dell'universo è possibile creare materia da energia pura, la relazione di Einstein andrebbe riscritta $E + mc^2 = E_0 + m_0c^2$, con $m > 0$, ogni volta che m comprende massa nucleica. (L'indice 0 indica le quantità iniziali).

La fusione di elementi leggeri in elementi più pesanti si sta verificando solo nelle stelle, dove la temperatura raggiunge valori astronomici, fra 10^7 e 10^{10} gradi Kelvin, ai quali la materia esiste solo in stato disaggregato, come plasma. Se un sistema chiuso dovesse

¹¹ Nei ragionamenti di questo tipo è legittimo considerare solo gli elementi che si siano già dimostrati funzionanti; le congetture non hanno valore di prova e possono anche dimostrarsi pericolose. Per esempio, se coloro che sono al servizio della scienza dovessero insistere che di certo scopriremo come vincere la gravità grazie a qualche cavorita – il materiale scoperto dal signor Cavor in uno dei racconti di Herbert G. Wells – la gente potrebbe essere indotta a costruire case senza scale e senza ascensori.

¹² Nonostante le dimensioni immense di tali forni, l'universo materiale è ancora costituito Soprattutto da idrogeno, che ammonterebbe, secondo alcune stime, al 92,06 per cento, mentre l'elio rappresenterebbe il 7,82 per cento (Allen 1973).

divenire così caldo, non potrebbe più produrre lavoro meccanico (e ancor meno ospitare vita).

Anche sul nostro pianeta si verificano continuamente reazioni nucleari: gli elementi radioattivi decadono a ogni attimo, ma questi fenomeni, come tutte le reazioni nucleari provocate dagli uomini, di solito trasformano massa in energia e non viceversa. C'è trasformazione di massa in energia anche quando si accende un fiammifero, ma la perdita di massa è straordinariamente piccola, dato l'elevato valore di c . Invece la differenza di peso fra le scorie nucleari spente e le materie iniziali è rilevabile con bilance normali, mentre a dimensioni solari vengono «perdute» 4 200 000 t di massa ogni secondo. Possiamo anche convertire energia in massa, ma questo è visibile solo in casi molto speciali (di solito in laboratorio) in quantità relativamente piccole e non in masse *nucleiche*.

Alle temperature alle quali il lavoro meccanico è possibile, i principali elementi chimici sono stabili. In un sistema chiuso, la quantità di ogni elemento rimane costante: «i materiali non vengono distrutti*, ci dice Slessor, uno specialista in energia, «la molecola di ferro di un giacimento di ferro rimane sempre una molecola di ferro anche quando viene trasformata in acciaio o quando finisce per diventare ruggine» (Slessor 1975). Seaborg (1972) sostiene anche che «qui sulla terra la quantità di materia è la stessa fin dagli albori della storia»; in realtà, fin da quando la terra è divenuta un pianeta stabile. Però sia Slessor sia Seaborg intendevano, con le loro osservazioni, sostenere la tesi energetica, proprio come Brooks e Andrews (1974) quando dichiarano che «preso alla lettera, il concetto di un esaurimento delle risorse minerarie è ridicolo. Il pianeta è tutto composto di minerali*».

Il metodo più semplice per mostrare l'errore del ragionamento di Brooks e Andrews è quello di usare il loro stesso argomento e sostenere che non è possibile che venga a mancare l'energia perché tutto il pianeta ne è pieno. In effetti, l'energia termica contenuta nelle acque degli oceani sarebbe da sola sufficiente a sostenere per miliardi di anni un'attività industriale impensabile. L'ostacolo è che tutta (o praticamente tutta) questa fantastica quantità di energia non può essere convertita in lavoro meccanico da una macchina di dimensioni *finita* e funzionante necessariamente in cicli. In effetti, come osservava Planck (1906; 1910) l'energia termica di un bagno

a temperatura costante potrebbe essere trasformata in lavoro meccanico da un cilindro e un pistone di lunghezza infinita che si muovesse a velocità infinitesimamente lenta (in base agli stessi noti principi che regolano l'espansione isoterma del gas in un ciclo di Carnot).¹³

È vero che tutto il pianeta è costituito da materia, ma va tenuto conto del fatto che, come per l'energia termica della terra, non tutta la materia terrestre è in forma disponibile: anche la materia si degrada continuamente verso una forma non disponibile.

Ci sono due possibili motivi per cui questo fatto viene abitualmente ignorato: il primo è la curiosa attrazione esercitata dai modelli meccanici di tutti i tipi, probabilmente perché la nostra azione sull'ambiente consiste soprattutto in spinte e strattoni. Il dogma meccanicistico era già scosso in fisica quando, nelle lezioni di Baltimora del 1894, Kelvin ancora confessava di non riuscire a capire un fenomeno se non poteva rappresentarlo con un modello meccanico. E il fascino della *Weltbild* meccanicistica a indurci a credere che la materia possa essere senz'altro recuperabile. In effetti, in meccanica la materia può cambiare solo di posto, non di qualità, e perciò un sistema può compiere spostamenti pendolari senza subire alcun cambiamento.¹⁴

¹³ Il fatto che, portuttavia, di solito si insegna che il lavoro meccanico può essere convertito completamente in calore, mentre la conversione totale inversa è impossibile, fa pensare alla dichiarazione di Dirk ter Haar secondo cui il concetto di entropia «non viene facilmente compreso nemmeno dai fisici» (Georgescu-Roegen 1971). Potrebbe sembrare un giudizio severo, tipico di un'autorità in materia, sta di fatto però che la maggioranza dei fisici attuali hanno (al meglio) solo una conoscenza superficiale della termodinamica e quindi alcuni si possono sbagliare anche per quanto riguarda la nozione di calore (cfr. «Journal of Economic Literature», dicembre 1972, p. 1268; cfr. anche *infra*, nota 14).

¹⁴ Un sintomo diventato celebre dell'attuale tendenza meccanicistica è il tentativo di Ludwig Boltzmann di spiegare i fenomeni irreversibili fondendo il determinismo perfetto delle leggi reversibili della meccanica di Newton con la probabilità. Questa costruzione ibrida è di interesse cruciale per gli economisti: sostenendo che la rigenerazione dell'energia non disponibile è molto *improbabile*, ma non impossibile, i fautori della teoria probabilistica inducono a credere che sia possibile barare al gioco entropico (proprio come possiamo barare a qualsiasi gioco di fortuna) oppure, secondo l'immagine ironica coniata circa cinquant'anni fa da Percy W. Bridgman, che sia possibile «contrabbandare l'entropia» (Georgescu-Roegen 1966; 1971). È spiacevole quindi che non tutti i fisici sappiano che la costruzione di Boltzmann è stata criticata in modo irrefutabile da alcuni dei più grandi fra i loro colleghi, per cui cfr. Ehrenfest (1959) e Georgescu-Roegen (1971a). Ancora peggiore è il fatto che non sappiano che pionieristici contributi di Ilya Prigogine hanno dimostrato che la «teoria meccanica» di Boltzmann sull'evoluzione della materia [si basa sui argomenti intuitivi] che quanto sostiene non è mai stato realizzato, nonostante frequenti affermazioni in senso contrario» (Prigogine 1971; 1973; Prigogine e altri 1973). Solo chi non è andato oltre Boltzmann può sostenere (come Auer 1977) che la legge dell'entropia non pone ostacoli a una crescita economica infinita.

Il secondo motivo consiste nel fatto che, per curioso che possa sembrare, il fondamento della termodinamica - come intuì Rankine - è energetico, dato che la termodinamica si occupa solo di ciò che succede all'energia. Naturalmente anche la materia entra nel quadro teorico, ma solo come supporto delle reazioni chimiche (che implicano sempre trasformazioni energetiche) e in problemi di miscele pure (non chimiche), perché la separazione delle miscele richiede lavoro. Entrambi questi aspetti sono stati introdotti nella teoria termodinamica da J. Willard Gibbs, che viene così considerato il fondatore dell'«energetica chimica» (Seeger 1974).

Si prenda la comunissima apparecchiatura consistente in un pistone e un cilindro contenente qualche gas, con la quale abitualmente si descrivono e giustificano le leggi fondamentali della termodinamica e si dimostra la tesi essenziale di Carnot, secondo cui l'efficienza massima si ottiene solo con una macchina perfettamente *reversibile*. Per ovviare al fatto innegabile che, a causa dell'attrito, nessun movimento può essere reversibile, la teoria termodinamica parte dal presupposto che qualunque movimento sia reversibile se la sua velocità è infinitesimamente piccola.¹⁵ Tale velocità elimina l'attrito, ma introduce un ostacolo ancor più essenziale: a una velocità infinitesimamente piccola, un pistone impiega un tempo infinito per percorrere qualsiasi distanza finita. Ancora una volta, interviene l'infinito a porre le cose al di là della portata umana.¹⁶ Poiché quindi una macchina reversibile esiste solo sulla carta, nessuna macchina effettiva può operare a efficienza massima.

Alla fine la termodinamica ha dovuto riconoscere l'esistenza dell'attrito e di alcuni fattori a esso collegati, che non solo spiegano l'irreversibilità in natura, ma anche il fatto che l'energia disponibile non può essere trasformata completamente in lavoro *utile*: parte di questa energia viene sempre trasformata in calore irrecuperabile.

L'attrito compare dunque come un fantasma, per così dire, sullo sfondo della scena termodinamica, un fantasma che ci deruba di energia disponibile. La termodinamica non è però andata oltre, a

¹⁵ Può essere opportuno spiegare che, in termodinamica, reversibilità significa che ogni movimento è *tutto quello che è nell'intorno in cui il movimento si verifica* può essere riportato alle condizioni originarie (Planck 1906; Zemansky 1968).

¹⁶ Si ricordi il già menzionato pistone infinito di Planck, che costituisce il motivo per cui non si può navigare sfruttando l'energia termica dell'acqua di mare.

riconoscere e analizzare il fatto elementare che l'attrito ci deruba anche di materia *disponibile*; non ha nemmeno affrontato il problema delle leggi specifiche dell'energia degradata dall'attrito, lasciandolo agli ingegneri, che si sono limitati a costruire tabelle per le forze di attrito dei materiali più frequentemente usati. Tramite le tabelle è possibile stabilire il lavoro da compiere per vincere l'attrito W_f , e da inserire nella formula (ancora incompleta) di trasformazione:

$$Q_a = W_u + W_f \quad [3]$$

dove Q , è l'energia disponibile e W , il lavoro utile (con l'ipotesi che l'energia interna del sistema rimanga costante).¹⁷

Ancora non sappiamo praticamente niente della dissipazione della materia per attrito. Una possibile giustificazione di questa cospicua lacuna è la difficoltà di spiegare il fenomeno dell'attrito: le leggi meccaniche applicate alle particelle materiali non sono in grado di farlo, dato che hanno una base puramente empirica e, a un esame sempre più attento, si rivelano di solito sempre più «false» (Feynman, Leighton e Sands 1966). Uno specialista del problema conclude che la questione dell'attrito «rimane molto controversa, e le certezze in materia sono assai poche» (Rabinowicz 1965).

Ma l'attrito non è la sola «imperfezione» della materia agglomerata che ci derubi *sia* dell'energia *che* della materia: non esistono né materiali perfettamente rigidi né perfettamente elastici; non ci sono né isolanti né conduttori perfetti; né esistono materiali per i quali la forza di attrito sia infinita (il caso opposto dei materiali privi di attrito). Ed è per queste numerose imperfezioni (l'elenco non è completo) che il ladro, il solo ladro, di energia e materia è proprio la materia.

In tutto il mondo materiale c'è levigazione per attrito, si hanno incrinature e rotture per cambiamenti di temperatura o evaporazione, si verificano occlusioni di tubi e membrane, fatica metallica e combustione spontanea: la materia è così continuamente sposta-

¹⁷ La formula tradizionale è $Q = W$, dato che in termodinamica il lavoro viene definito solo in assenza di attrito (Denbigh 1971). Una formula analoga alla [3] si ritrova in Silver (1971), ma anch'egli non arriva a parlare dell'effetto materiale dell'attrito. Inoltre, per tenere conto di tutti gli sprechi energetici, la formula dovrebbe essere $Q_a = W_u + W + Q_f$, dove Q_f è la perdita in energia termica, cioè la quantità di energia termica che scende sempre di un gradiente di temperatura, *senza effettuare lavoro*, dato che non esistono materiali perfettamente isolanti.

ta, modificata e dispersa ai quattro venti, e diviene quindi sempre meno disponibile per i nostri scopi.

Il dogma energetico sostiene che questa dissipazione può essere completamente corretta purché l'energia disponibile sia sufficiente. In ogni caso, si tratta di un'operazione che deve far ricorso a qualche strumento materiale, e dato che non esistono strutture materiali eterne, questi strumenti devono consumarsi per forza ed essere sostituiti con altri, prodotti da qualche altro strumento che si logorerà a sua volta e dovrà essere sostituito, e così via, in una regressione senza fine. Questo è già un motivo sufficiente per negare la possibilità di un riciclaggio completo, proprio come lo stesso tipo di regressione è il motivo spesso invocato in termodinamica contro la possibilità di annullare completamente i cambiamenti prodotti nella struttura dell'*energia* da un processo naturale (Denbigh 1971, p. 24).

Infine va considerato un altro possibile (e importante) argomento a sostegno di un riciclaggio completo: riguarda la dimostrazione di John von Neumann secondo cui si può progettare una macchina di Turing universale capace di riprodursi se lasciata fluttuare in un mezzo contenente un gran numero di ciascuna delle sue parti elementari (von Neumann 1951). Non è possibile che gli elementi di fondo del processo rappresentato dalla tabella 6.1 costituiscano una tale «macchina»? Questa macchina «galleggia» in un mezzo che, sebbene chiuso, contiene tutti gli elementi necessari alla sua riproduzione, e cioè gli output di scarto dei processi (P). Tuttavia l'idea che il processo economico possa essere una macchina di Turing universale va rifiutata: la dimostrazione di von Neumann è un esercizio teorico molto ingegnoso, ma basato su un requisito che rende il progetto inattuabile in pratica, e cioè il requisito che la sua capacità di istruzione sia illimitata (Georgescu-Roegen 1971, pp. 86-93). Anche se questa condizione venisse attenuata in «praticamente infinita», la riproduzione della macchina richiederebbe sempre una sequenza praticamente infinita di intervalli temporali, dato che ogni «mossa» della macchina ha una durata. Quest'ultimo argomento a sostegno di un riciclaggio completo incontra il solito ostacolo degli schemi ideali: l'irraggiungibilità dell'infinito; è però possibile analizzare la tesi energetica anche sotto altri punti di vista.

4. La dissipazione della materia e la legge di Planck

Ho parlato di una certa asimmetria fra energia e massa e fra energia e materia, ma di asimmetria ce n'è anche un'altra: tanto la massa quanto l'energia sono «sostanze» omogenee; l'energia è sempre la stessa, che sia associata con un fotone o con la forza del vento; ed è senz'altro per questo che l'idea di ridurre tutto a energia esercita una tale attrattiva. Nemmeno fra la massa, per esempio, di un protone e quella di qualsiasi altra particella elementare ci sono differenze qualitative, eppure questo fatto è del tutto irrilevante per la relazione fra processo economico e ambiente. Nel processo economico non si considera la massa in quanto tale, ma la materia in blocco (e naturalmente l'energia), e il problema è che, a differenza della massa e dell'energia, la materia costituisce una categoria assai eterogenea: quasi tutti gli elementi chimici hanno perlomeno una proprietà che li caratterizza completamente e quindi li rende indispensabili in certe applicazioni tecniche.

Ci si deve quindi aspettare che, a differenza della teoria generale dell'energia (termodinamica), lo studio delle trasformazioni della materia aggregata sia complicato, come abbiamo visto sopra per il caso dell'attrito. È piuttosto semplice capire come l'energia si degradi, con la dissipazione del calore dai corpi più caldi ai più freddi di un sistema, diventando sempre meno disponibile per una conversione in lavoro meccanico. Si ricordi il famoso principio di Carnot: per ottenere lavoro meccanico tramite una macchina ciclica dev'esserci una differenza di temperatura fra caldaia e refrigeratore. Senza entrare nel labirinto dei particolari tecnici, si può vedere perché l'aumento nella dissipazione dell'energia venga misurato dalla formula termodinamica per l'entropia:

$$\Delta S = \left(\frac{\Delta Q}{T} \right)_{\text{reversibile}} \quad [4]$$

dove ΔQ è il calore trasferito da un processo reversibile alla temperatura assoluta T .¹⁸

¹⁸ Sebbene il «caldo» sia una delle sensazioni più comuni, il flusso di calore (secondo la concezione rigorosa della termodinamica) non ha un significato fisico diretto e non esistono operazioni dirette per misurarlo (Bridgman 1927; Denbigh 1971).

Per l'entropia della miscela semplice di due gas ideali *distinti* che siano alla stessa pressione P e alla stessa temperatura T , vale la famosa formula di Gibbs:

$$S = -R \left[m_1 \ln \left(\frac{m_1}{m} \right) + m_2 \ln \left(\frac{m_2}{m} \right) \right] + (c_1 m_1 + c_2 m_2) \ln T + (\alpha_1 m_1 + \alpha_2 m_2) - R m \ln P, \quad [5]$$

dove m, m_1, m_2 è la somma delle moli, R è la costante del gas e α_i, c_i le caratteristiche fisiche dei gas. La miscelazione di due gas con la stessa temperatura e la stessa pressione fa quindi aumentare l'entropia di¹⁹

$$\Delta S = -R \left[m_1 \ln \left(\frac{m_1}{m} \right) + m_2 \ln \left(\frac{m_2}{m} \right) \right], \quad [6]$$

una formula molto nota, che attualmente viene applicata più o meno a proposito.

Di solito questa formula viene citata con riferimento a un paradosso evidenziato dallo stesso Gibbs (cfr. Seeger 1974): se i due gas sono identici, la [6] è sempre positiva, anche se la miscela non provoca alcun cambiamento entropico. C'è però un altro aspetto della [6] che deriva da un'osservazione di Max Planck (1706, p. 104) e che è pertinente a questa discussione: Planck ha osservato che per quanto riguarda la [6], «sarebbe più appropriato parlare di dissipazione di materia che di dissipazione di energia».²⁰

Secondo le formule sia [6] sia [5], per una data m si ha la massima dissipazione quando $m_1 = m_2 = m/2$. Si consideri però il caso in cui $m_1 = 1$ e $m_2 = 10^{100}$; allora ΔS diventa del tutto trascurabile; ma, secondo un concetto intuitivo di dissipazione, sembra logico sostenere che, *se il gas 1 è quello che conta*, la dissipazione, dal punto di vista dell'uomo, è molto maggiore in questo secondo caso che non nel primo. È in quest'ultimo caso che si può veramente dire che una mole del gas 1 non è più disponibile; in effetti, riunire quelle

¹⁹ Dato che questo stesso particolare tecnico si ripresenterà nel § 6, può essere opportuno aggiungere che l'entalpia, H , non cambia. L'entalpia, che corrisponde a una nozione intuitiva di contenuto calorico, è la quantità di energia termica necessaria per portare una sostanza dallo zero assoluto alla sua temperatura attuale a pressione costante; in pratica l'entalpia è il potere calorifico di un combustibile, cioè la quantità massima di energia termica ottenibile facendolo bruciare.

²⁰ Comprendibilmente, Planck non disse «dissipazione di massa».

molecole sarebbe arduo quanto riunire le molecole dell'aria che respirò Platone, molte delle quali fanno parte di ogni respiro che inaliamo!

È ovvio che si possono ritrovare tutte le perle di una collana che si sia rotta in una stanza, in un teatro, o addirittura in qualche punto di Manhattan, purché si sia disposti a impiegare tempo ed energia sufficienti e a consumare numerosi oggetti nella ricerca; ma l'estrapolazione di questo processo macroscopico al livello microscopico delle molecole, o anche di piccoli pezzi di materia, è chiaramente inammissibile. In base a tutto quel che sappiamo, come si può credere alla possibilità di riunire, anche se non proprio tutte, praticamente tutte le molecole di gomma dei pneumatici consumati, tutto il piombo dissipato attraverso i tubi di scappamento, o tutto il rame delle monete logorate con l'uso? E addirittura in un tempo finito e ragionevole? Si deve concludere che a livello microscopico il processo che permette di riunire le perle di una collana rotta richiederebbe, oltre a strumenti difficilmente concepibili, un tempo *infinito*. Si tratta quindi di un'operazione che appartiene alla stessa categoria della macchina irreversibile e al progetto di Planck per utilizzare il calore degli oceani. Planck conclude addirittura che, dato che $\Delta S > 0$, «la diffusione, come l'attrito e la conduzione del calore, è un processo irreversibile» (Planck 1906, p. 113; 1910, p. 78).

L'analisi precedente mostra comunque come la [6] dia una misura dell'intensità di diffusione opposta a quella che sembrerebbe ragionevole, dato il tipo di operazione che attualmente effettuiamo sulla materia: secondo quella formula, mescolare un vagone di aghi con un vagone di paglia provoca una diffusione maggiore che non perdere quell'ago particolare in un vagone di paglia; il problema del suo ritrovamento corrisponde al problema di un riciclaggio completo o a quello dell'estrazione di un minerale da una roccia qualsiasi. È facile estrarre metallo da un giacimento ricco, ma il compito diventa sempre più difficile con la diminuzione del contenuto metallico, e per un contenuto, per esempio, di 10^{-100} diventa impossibile.

Si considerino due miscugli, uno di 10 t di limatura di ferro con 10 t di sabbia fine, l'altro di 10 t di limatura di ferro con 10 miliardi di t di sabbia fine; sebbene il contenuto di ferro sia lo stesso nei due

miscugli, sembra ovvio che sia molto più difficile estrarlo dal secondo che non dal primo. Invece secondo la [6] dovrebbe essere vero il contrario.

Come si spiega questa discrepanza? Sebbene la [6] sia stata applicata indiscriminatamente a miscugli di componenti qualsiasi, la sua validità è limitata (con approssimazioni) a miscele di gas, dato che la formula si basa su miscele di gas ideali. Si ricordi che nella teoria termodinamica TAS rappresenta il lavoro necessario per riportare il sistema corrispondente alla posizione originale, il che, in questo caso, significa separare di nuovo completamente i due gas. Una procedura teorica per effettuare questa separazione è stata concepita da Jakobus Henrikus van't Hoff (il primo vincitore del premio Nobel per la chimica). Il dispositivo - la scatola di Van't Hoff - consiste in un cilindro perfettamente isolato con due pistoni che lavorano in direzione opposta; ciascun pistone è costituito da una membrana semipermeabile, una permeabile solo al gas 1 e l'altra solo al gas 2: la miscela viene posta fra i due pistoni che, all'inizio, sono molto distanziati tra loro (fig. 6.1a). Via via che i pistoni vengono spinti a velocità infinitesimamente lenta l'uno verso l'altro, i gas vengono separati, dato che ciascun gas passa dietro la propria membrana semipermeabile (fig. 6.1b). È facile dimostrare come il lavoro necessario per questa spinta sia effettivamente uguale al prodotto

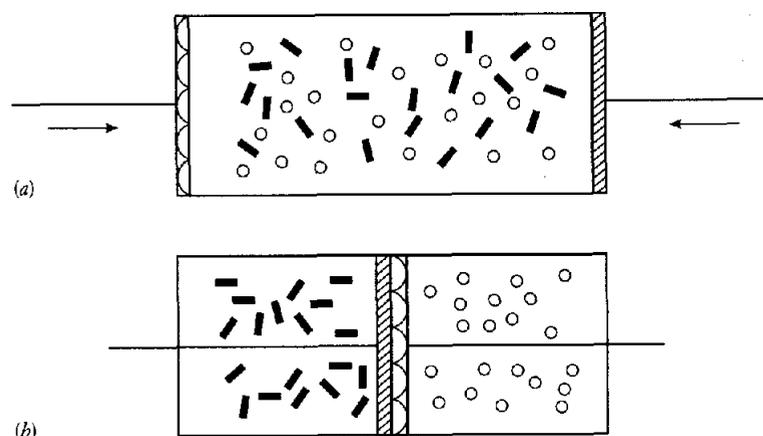


Figura 6.1
La scatola di Van't Hoff

della [6] per T (Planck 1910; Zemansky 1968). È un risultato che sembra rappresentare un forte sostegno del dogma energetico nella forma più pura: con energia sufficiente (perlomeno uguale a TAS), si può estrarre da qualunque miscela tutta la quantità presente di qualunque gas. L'applicazione pratica di quest'idea si scontra però con diversi ostacoli.

Innanzitutto, proprio come in realtà non esistono materiali completamente privi di attrito, né materiali perfettamente elastici, né materiali perfetti di altro tipo, non esistono nemmeno membrane semipermeabili perfette, e quindi la separazione non può essere completa.²¹ Secondo, con l'uso tutte le membrane si occludono (Planck 1906; 1910), si consumano come qualunque parte di un meccanismo, e alla fine devono essere sostituite, dando così inizio alla regressione infinita ricordata prima.²²

La scatola di Van't Hoff costituisce perlomeno un procedimento ideale per la separazione dei gas, ma per le altre miscele non esiste neppure un'apparecchiatura del genere: in pratica, la separazione di ogni miscela viene effettuata tramite qualche processo particolare, come reazioni chimiche, forze centrifughe o magnetiche ecc. Naturalmente la mancanza di un procedimento generale non dimostra che non esista un procedimento ideale per ciascuna miscela, però le argomentazioni contro questa possibilità sono molte.

Si ricordi il diavoleto di Maxwell, quello che dovrebbe separare le molecole veloci di un gas da quelle lente; ormai si ritiene che esso sia stato «esorcizzato» e che, come qualsiasi altra creatura vivente, debba consumare più energia disponibile di quanta ne crei separando le molecole «calde» da quelle «fredde». Per scindere una miscela di azoto e ossigeno, per esempio, ci vuole un diavolo molto più miracoloso di quello di Maxwell: quello di Maxwell non deve riportare assolutamente tutte le molecole nel contenitore iniziale, ma può lasciarne alcune nel contenitore sbagliato, dato che conta solo la velocità media. Il nostro nuovo diavolo, al contrario, *non deve lasciare nemmeno una molecola mescolata con quelle dell'altro*

²¹ Un'altra imperfezione importante è responsabile del fatto che, in realtà, fra le membrane rimangono sempre alcuni gas mescolati, per quanto i pistoni vengano spinti l'uno contro l'altro.

²² Particolarmente attinente all'argomento di questo saggio è la recente scoperta (dovuta a R. K. Knoll e S. M. Johnson della NASA, Cleveland) che anche i collettori solari sono soggetti a una progressiva occlusione.

tipo; per esorcizzarlo, non dobbiamo solo fornirgli energia sufficiente, ma anche farlo materialmente esistere, e dato che la materia si dissipa continuamente, il problema si riduce a vedere se il nostro diavolo possa riciclarsi completamente, riciclando allo stesso tempo completamente la miscela di gas. Il sistema della tabella 6.1 raffigura proprio qualcosa di simile; non c'è da meravigliarsi che molte teorie sulla rinnovabilità illimitata delle risorse materiali implicino, sotto sotto, un diavolo dotato di facoltà miracolose.

Sembra che l'idea di uno sfruttamento minerario di tutta la crosta terrestre tramite l'energia degli elementi radioattivi che se ne otterrebbero sia di Harrison Brown (1954): questa miracolosa tecnologia troverebbe un limite solo quando tutte le rocce fossero state frantumate, ma la triste verità è che nessuno è in grado di proporre un piano per farla funzionare. In realtà l'idea viene considerata un puro volo di fantasia praticamente da tutti i geologi, che in genere si dicono d'accordo con l'affermazione di Peter Flawn secondo cui nemmeno «la roccia di qualità media sarà mai sfruttata dal punto di vista minerario» (Flawn 1966; Cloud 1974; Skinner 1969). Preston Cloud, che è noto per essersi opposto con tutto il peso della sua reputazione ai voli di fantasia mineralogici, lo spiega in termini accessibili a chiunque: «Sono le qualità meno comuni di una roccia che la rendono idonea allo sfruttamento minerario». È per questo che quasi certamente il giardino di casa non è una miniera potenziale.

Brooks e Andrews hanno contestato la posizione di Flawn richiamandosi al fatto che anche il titanio viene estratto (come sottoprodotto) da giacimenti presumibilmente meno ricchi della media; altri autori hanno sostenuto che il mondo non si troverà mai a corto di risorse geologiche, assicurando che sono solo le limitazioni energetiche che possono impedire lo sfruttamento minerario di qualsiasi genere di roccia. Per i più è però difficile non lasciarsi turbare da fatti come, per esempio, l'esistenza di una barriera geochemica che rende impossibile l'estrazione del rame se la sua presenza non è sedici volte superiore alla media (COMRATE 1975, p. 129).

Occorre inoltre osservare che se anche fosse possibile sfruttare a fini minerari la roccia media, questo non implicherebbe l'accessibilità di tutto il contenuto minerale della crosta terrestre: la distribuzione dei tenori minerali ha un caratteristico andamento bimodale ed è quindi particolarmente asimmetrica (Skinner 1969), così

che la stragrande maggioranza delle rocce ha un tenore minerale molto inferiore alla media. La possibilità o meno di estrarre un minerale da una data roccia dipende dal limite teorico specifico di quel minerale e di quel tipo di roccia, non dalla sua abbondanza media nella crosta terrestre. La materia, tanto per ricordarlo, è eterogenea, e quindi per ogni sostanza e per ogni roccia esistono uno o più procedimenti minerari specifici; è per questo che sembra praticamente impossibile elaborare una formula generale per stabilire se una sostanza di un dato composto sia o no disponibile, ed è proprio in questo che risiede la difficoltà teorica (cui abbiamo prima accennato) di definire quale sia la forma in cui la materia non è disponibile tramite una formula analitica generale.

Le curve che descrivono il variare della quantità di roccia frantumata rispetto al contenuto metallico sono numerose e tutte asintotiche rispetto all'asse verticale (Page e Creasey 1975); quelle per l'energia dovrebbero invece essere asintotiche rispetto a una retta parallela a quell'asse, per tener conto dell'esistenza di un limite teorico, sia pure piccolo.

Come ultima osservazione possiamo ricordare una dichiarazione di Planck che, sebbene molto importante, non sembra sia stata notata: a conclusione di un'elaborata discussione su tutti i tipi di miscele, Planck è arrivato a una formula che gli ha permesso di concludere che né un gas, né un liquido, né un solido possono essere completamente liberati da tracce di sostanze estranee contaminanti (Planck 1906; 1910); ci sono eccezioni, ma solo allo zero assoluto (ivi; Kirkwood e Oppenheim 1961, p. 46).

Secondo la terza legge della termodinamica, enunciata da Walter Nernst, la temperatura dello zero assoluto non può essere raggiunta, quindi le conclusioni negative di Nernst e Planck si integrano: la prima dice che la materia *aggregata* non può essere «purificata» dall'energia termica, la seconda che non può esserlo da tutte le sostanze contaminanti.

Quello che va messo fortemente in rilievo è che, a differenza della legge dell'entropia, la verità di queste due ultime leggi non è sottoposta a limiti strumentali: esse sono vere in senso assoluto. In altri termini, in *teoria* si può riportare un sistema parziale esattamente alla posizione iniziale, avendo a disposizione una certa quantità di energia e qualche apparecchiatura specifica; non c'è però

modo di prescindere dalle impossibilità enunciate dalla legge di Nernst o da quella di Planck.

È la legge di Planck sulla materia che ci fornisce un potente strumento analitico contro il dogma energetico, che forzatamente implica *la possibilità di un riciclaggio completo e dello sfruttamento minerario di qualsiasi roccia.*

5. Anche la materia conta

Dato che un riciclaggio completo è impossibile, le «transazioni» fra il processo economico e l'ambiente devono necessariamente includere, anche in stato stazionario, una certa quantità di materia disponibile per compensare la materia che viene continuamente e irrevocabilmente dissipata. Come ha osservato Harrison Brown (1954), se nel 1950 fosse stato ancora utilizzabile tutto il ferro prodotto negli Stati Uniti fra il 1870 e il 1950 (circa 2 miliardi di t), ci sarebbero state 13,5 t pro capite, quasi il doppio della quantità effettiva, e la differenza sarebbe ancor più impressionante se si facesse un confronto con tutta la produzione passata. Sappiamo tutti dove è andata a finire la quantità mancante: «L'ossidazione da parte degli agenti atmosferici, la corrosione dovuta ai liquidi e altre usure generali, certamente l'attrito e la fatica metallica hanno esatto pesanti balzelli» (ivi), e come sempre accade, parte del ferro viene «perduta» anche durante il processo di produzione. Sebbene non sia possibile valutare la quantità di ferro «che è andata definitivamente perduta», Brown, Bonner e Weir (1957) calcolano che sia circa il 10 per cento del ferro utilizzato per la produzione dell'acciaio sia quello che rimane, in cent'anni diventi materia non disponibile. Solo per conservare la quantità di ferro esistente nel 1954 (senza alimentare una crescita economica), sarebbe stato necessario un flusso di minerale di circa 0,3 t per persona.

Naturalmente il flusso di mantenimento varia da sostanza a sostanza, non solo per motivi tecnologici, ma anche a seconda delle dimensioni dello stock esistente nel processo. Nel caso dell'oro, questo flusso è naturalmente piccolo per diversi motivi: la sua resistenza chimica, l'uso particolare che se ne fa e la quantità relativa-

mente piccola esistente; tuttavia non è certo esatto sostenere che «la maggior parte dell'oro estratto nel corso del tempo è ancora disponibile» (Skinner 1969); milioni e milioni di braccialetti, collane, monete ecc. del passato non sono certo stati conservati a Fort Knox.

Il fatto che il flusso di materia dissipata aumenti con l'aumentare dello stock materiale deve essere riconosciuto come un elemento importante a favore della tesi sostenuta in questo articolo, perché spiega, da un lato, come l'effetto di alcuni limiti, sia pure così bassi da essere difficilmente individuabili in laboratorio, non possa, alla lunga e su scala planetaria, essere ignorato; d'altro canto chiarisce perché si sia portati a credere nella perennità dei cosiddetti cicli naturali di ossigeno, carbonio, azoto ecc. che adornano tutti i testi di ecologia.²³

Per quanto concerne il processo economico, non va ignorata la consistente dissipazione di materia dovuta non a fenomeni puramente naturali, ma ad attività di creature viventi, soprattutto dell'uomo. E questa la dissipazione di alcuni elementi vitali provocata dal consumo di cibo e legname da parte dell'uomo, lontano dalla fattoria e dalla foresta che li hanno prodotti; tale pratica - conseguenza dell'elevato e crescente livello di urbanizzazione in tutte le parti del mondo - provoca anche uno spreco di energia disponibile. Stranamente, di questo spreco ce ne rendiamo conto, ma non di quello di materia disponibile, ed è a questa differenza che si deve l'errore di ritenere che le foreste possano fornire «una riserva illimitata di legno» dato che il flusso di luce solare è praticamente illimitato (Nash 1978); le foreste non possono essere perenni più di quanto il suolo agricolo non possa conservare per sempre le proprie caratteristiche senza un intervento esterno.

E di Jonathan Swift la frase: «Chiunque riesca a far crescere due pannocchie di granturco o due fili d'erba dove prima ne cresceva uno solo, dovrebbe essere un benemerito dell'umanità». Secondo quanto adesso ci insegna la quarta legge della termodinamica, sarebbe un miracolo anche far crescere nello stesso punto, anno dopo

²³ È l'immensità di ognuno di questi stock a far sì che la quantità che abbandona continuamente il ciclo non sia evidente su periodi brevi. Uno dei sintomi rivelatori è che praticamente tutto il carbonio depositato sul fondo degli oceani come carbonato di calcio non rientrerà nel cosiddetto ciclo del carbonio; e questo è solo un fattore di disturbo minore nella circolazione globale del carbonio ambientale (Woodwell e altri 1978).

anno, una pannocchia di granturco, in un sistema chiuso come praticamente è la terra (Georgescu-Roegen 1971, p. 302).²⁴

La termodinamica convenzionale pone dei limiti a quanto è possibile fare con l'energia dell'ambiente, limiti della stessa natura, come abbiamo appena visto, di quelli che valgono per la materia; questi due gruppi di limiti possono essere disposti in un confronto parallelo perfetto.

Energia	Materia
1. Senza consumo di energia non si ha lavoro meccanico.	1a. Senza consumo di materia non si ha lavoro meccanico.
2. È impossibile ottenere da una data quantità di energia disponibile più della quantità equivalente di lavoro meccanico.	2a. Da un dato sistema materiale si può ottenere solo una limitata quantità di lavoro meccanico (quella che ho chiamato quarta legge della termodinamica).
3. Non c'è modo di eliminare completamente da un sistema l'energia non disponibile.	3a. È impossibile eliminare completamente da un miscuglio materiale una sostanza contaminante.

Queste leggi possono essere esemplificate da una clessidra, la clessidra termodinamica (fig. 6.2). La sostanza all'interno della clessidra rappresenta la materia-energia; il fatto che si supponga che la clessidra sia ben isolata rappresenta la prima legge della termodinamica, e cioè che la materia-energia non può essere né creata né distrutta; la sostanza contenuta nella metà superiore della clessidra rappresenta la materia-energia disponibile, mentre quella nella metà inferiore la materia-energia non disponibile (indicata dalle diverse ombreggiature della figura 6.2); il continuo aumento di materia-energia non disponibile (cioè di entropia) in un sistema isolato è raffigurato dal flusso continuo che va dalla parte superiore a quella inferiore (cfr. cap. 4; Georgescu-Roegen 1976e; 1977a). La legge di Planck-Nernst dice che in nessuna clessidra termodinamica la parte inferiore può essere vuota, cioè che l'entropia non può essere nulla. Non va però trascurato un altro aspetto: a differenza delle clessidre normali, quella termodinamica non può essere capovolta, così da rendere interscambiabili le due metà; la degradazione entropica è irrevocabile.

²⁴ Molto probabilmente saranno gli sprechi più tangibili - quelli dell'energia consumata per il trasporto - che, in caso di serie difficoltà di reperimento di bassa entropia ambientale, provocheranno una sensibile disurbanizzazione (Georgescu-Roegen 1976b).

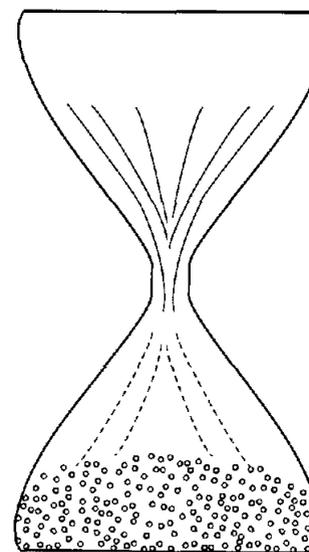


Figura 6.2

Com'è ben noto, Arthur Eddington, che ha grandemente contribuito al chiarimento di molti aspetti della legge dell'entropia, ha paragonato l'aumento di entropia alla freccia del tempo; lo stesso concetto sembra rappresentato più direttamente dalla clessidra termodinamica, che segna il tempo in modo familiare.

Una conclusione importante dell'analisi precedente è che per le transazioni con l'ambiente vanno tenuti due conti separati - uno per la materia e uno per l'energia - perché al macrolivello non esiste alcun procedimento pratico per trasformare energia in materia o materia di qualunque forma in energia: il rapporto fra materia ed energia non è come quello, per esempio, fra dollari e lire, e nemmeno come quello fra terra e attrezzature nella produzione agricola (§ 7).

La matrice di un nuovo processo composito deve quindi sostituire quella della tabella 6.1; in essa (tab. 6.2) il processo addizionale (P,) trasforma la materia in *situ*, MS, in materia controllata, CM, mentre tutti gli altri processi hanno gli stessi compiti di prima e sono identificati con la stessa notazione, il che però non toglie che vi siano differenze importanti.

Innanzitutto, nuovi flussi, s_i , rappresentano la materia dissipata, DM, prodotta da ciascun processo e trasferita all'ambiente; secondo, il processo di riciclaggio, (P_4), non ricicla più tutto lo scarto materiale, come si suppone nel modello energetico; dato che la materia dissipata è definitivamente perduta, (P_5) può riciclare solo materia ancora disponibile, ma non più in forma a noi utile: bottiglie rotte, tubi rotti, batterie esaurite, motori danneggiati ecc. Dato che le materie riciclabili sono quelle che vanno a finire nei bidoni della spazzatura o fra le cose vecchie, possiamo chiamarle, per brevità, *garbojunk*, GJ [da *garbage*, spazzatura, e *junk*, cosa inutile].²⁵ Terzo, un altro aspetto caratteristico del processo economico è il flusso degli altri oggetti restituiti all'ambiente con l'etichetta, questa volta, di «rifiuto», R: è un flusso in parte costituito da materia ed energia disponibili, ma in forme adesso non potenzialmente utili. Le rocce frantumate di una miniera di rame a cielo aperto, la maggior parte dei rifiuti urbani e gli scarti nucleari appartengono, per esempio, a questa categoria.²⁶

Tabella 6.2
Relazione effettiva tra processo economico e ambiente.

Prodotto	(P_0)	(P_1)	(P_2)	(P_3)	(P_4)	(P_5)
	Coordinate <i>flusso</i>					
CM	x_{00}	*	$-x_{02}$	$-x_{03}$	$-x_{04}$	*
CE	$-x_{10}$	x_{11}	$-x_{12}$	$-x_{13}$	$-x_{14}$	$-x_{15}$
K	$-x_{20}$	$-x_{21}$	$-x_{22}$	$-x_{23}$	$-x_{24}$	$-x_{25}$
C			*	$-x_{33}$	*	$-x_{35}$
RM		*	$-x_{42}$	$-x_{43}$	x_{44}	*
ES	*	$-e_1$	*	*	*	*
MS	$-M_0$	*		*	*	*
GJ	w_0	w_1	w_2	w_3	$-w_4$	w_5
DE	d_0	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5
DM	s_0	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5
R	r_0	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5

²⁵ La possibilità di riciclare *garbojunk* costituisce una seconda asimmetria fra energia e materia: il riciclaggio della materia è possibile perché alcuni oggetti materiali sono «durevoli» nel senso che, a differenza dell'energia, non vengono istantaneamente degradati partecipando alla produzione di lavoro meccanico o di altri tipi. Questo punto è rilevante nei confronti della vecchia controversia economica fra un'utilizzazione ripetuta e un consumo istantaneo.

²⁶ Per risparmiare spazio, nella tabella 6.2 le coordinate fondo non vengono esplicitamente rappresentate

Come nel caso della tabella 6.1, le relazioni

$$\begin{aligned} \Sigma' x_{0i} = x_{00}, \quad \Sigma' x_{1i} = x_{11}, \quad \Sigma' x_{2i} = x_{22}, \\ x_{35} = x_{33}, \quad \Sigma' x_{4i} = x_{44}, \quad \Sigma' w_i = w_4 \end{aligned} \quad [7]$$

rappresentano la possibilità di esistenza dello stato stazionario, ma dato che R può comprendere tanto energia quanto materia, le relazioni per la conservazione di questi elementi non possono più essere scritte separatamente, come nella [1].

6. Analisi energetica ed economia

Ho ritenuto in passato (e ancora ritengo) che la legge dell'entropia sia la radice profonda della scarsità economica: in un mondo in cui non vigesse tale legge, sarebbe possibile utilizzare tutta l'energia, compresa quella del ghiaccio delle calotte polari, trasformandola in lavoro meccanico, e gli oggetti materiali non si consumerebbero; ma certamente non esisterebbe neppure la vita.²⁷ Nel nostro mondo, tutto ciò che per noi ha una certa utilità (desiderabilità) è costituito da bassa entropia, ed è per questo che il processo economico è entropico in tutte le sue fibre materiali (Georgescu-Roegen 1966; 1971a). Ho tuttavia anche sostenuto (senza essere sempre interpretato correttamente) che sebbene la bassa entropia sia una condizione necessaria dell'utilità, non è però sufficiente (proprio come l'utilità è una condizione necessaria ma non sufficiente del valore economico). I funghi velenosi, per esempio, hanno bassa entropia (Georgescu-Roegen 1966, trad. it., p. 114; 1971a, p. 282).

Nonostante la natura entropica del processo economico, sarebbe un grosso errore ritenere di poterlo rappresentare con un grande sistema di equazioni termodinamiche, come ha, per esempio, proposto Lichnerowicz (1971). Il processo economico si attua in un'intricata ragnatela di categorie antropomorfe, soprattutto di utilità e di lavoro; il suo vero prodotto non è un flusso fisico di materia

²⁷ La legge dell'entropia viene spesso associata al disordine, ma senza di essa nei fenomeni reali non ci sarebbe ordine. La verità è che la legge dell'entropia è la legge della successione ordinata: senza di essa, per dare un esempio divertente, non si oserrebbe fare un bagno, dato che metà dell'acqua potrebbe diventare da soia così calda da ustionare il collo, e l'altra metà così fredda da congelare le dita dei piedi.

ed energia dissipate, ma il godimento della vita, tenendo anche conto della fatica del lavoro (Georgescu-Koegen 1971a, cap. 10); e, nonostante alcune voci contrarie, non esiste una precisa legge quantitativa che colleghi il piacere al consumo di bassa entropia, così come non ce n'è alcuna che colleghi la «disutilità» del lavoro a tale consumo; William Petty aveva ragione a insegnare che la natura è la madre e il lavoro il padre della ricchezza, solo che avrebbe dovuto dire «della nostra esistenza». Quindi, se anche accettassimo il punto di vista energetico, secondo il quale l'intero processo economico è sostenuto solo dal flusso di energia proveniente dall'ambiente e., non sarebbe ugualmente possibile ridurre il valore economico a energia.²⁸

Tuttavia la possibilità di ridurre i prezzi a unità energetiche invece che dollari è stata al centro dell'attenzione fin da quando l'embargo petrolifero ci ha costretto a pensare all'energia e a tentare di compiere un'analisi della sua circolazione nelle attività dell'uomo; Gilliland (1975; 1976) ha perfino sostenuto che l'analisi energetica è la soluzione naturale del problema di aggiungere mele ad arance, che è quanto devono fare gli economisti. Slessor (1975) e R. S. Berry (citato da Slessor) sostengono la formulazione più estrema di tale dogma: la misura del costo delle cose in termini di denaro, «che dopotutto non è che un giudizio di valore molto sofisticato», non costituisce una base solida per una valutazione economica; in realtà, se gli economisti dovessero analizzare la scarsità in modo più completo, le loro «valutazioni si avvicinerebbero sempre più a quelle degli studiosi di termodinamica». Ciò vuol dire semplicemente far fuori l'economia e rimpiazzarla con la termodinamica.²⁹ Questa posizione gode adesso di una tale popolarità che l'ana-

²⁸ Personalmente ho insistito sul fatto che i prezzi sono elementi limitati del sistema economico e anche sul fatto che il meccanismo di mercato da solo non è in grado di ovviare alle catastrofi ambientali; non ho però negato la necessità del meccanismo di mercato per la distribuzione delle risorse e del reddito fra membri della stessa generazione (Georgescu-Roegen 1976e).

²⁹ Parecchio tempo fa Hayek (1952, p. 51), come mi ha recentemente ricordato Keith Wilde, si è espresso contro «le varie forme di "energetica" sociale [del tipo di quelle sostenute da Ernest Solvay, Wilhelm Ostwald e Frederick Soddy]». Nessuno di questi autori, tuttavia, era sulle posizioni dei moderni fautori dell'energetica: essi sostenevano che, indipendentemente da come si determina il valore economico, il processo economico non può violare alcuna legge naturale, incluse quelle della termodinamica. In effetti Ostwald è stato il primo a osservare che il progresso tecnologico, fin dagli albori del genere umano, è sempre consistito in un aumento delle capacità degli organi biologici; e contrariamente all'accusa di Hayek, Ostwald (1908, p. 164) ha esplicitamente dichiarato che «sbaglieremo se misureremo il valore solo in rapporto alla quan-

lisi dell'energia netta costituisce il criterio delle valutazioni tecnologiche e della politica energetica degli Stati Uniti (ERDA 1975).

Il fatto è molto sorprendente, se si considera che anche fra gli esperti di analisi energetica predomina una gran confusione. Innanzitutto esiste la controversia fra l'analisi di Odum dell'energia netta e quella dell'energia totale basata su alcuni principi enunciati nel 1974 a una riunione della International Federation of Institutes of Advanced Studies (IFIAS). Slessor, un rappresentante della seconda scuola, sostiene che non è ancora stata fornita una «definizione rigorosa di energia netta» (Slessor 1977), ed è vero che nemmeno nelle sue ultime opere Odum è sufficientemente chiaro su molti punti importanti, per esempio se si debba tener conto dell'energia del lavoro; inoltre spesso confonde il lettore ponendo requisiti quali l'inclusione del denaro nel flusso generale (Odum 1977). Comunque la situazione non è molto migliore nell'altro campo, come viene evidenziato da una serie di lettere molto critiche al direttore e di piccole note che non hanno certo chiarito la situazione.³⁰ Un critico ha mosso il seguente appunto: poiché «gli analisti energetici sono in disaccordo sui principi fondamentali», con l'analisi energetica si può dimostrare «qualsiasi tesi si desideri» (Kenward 1975). Anche uno dei maggiori analisti energetici, Peter F. Chapman, ha riconosciuto che «i metodi di analisi sono quasi quanti gli studiosi nel campo», e che l'analisi energetica può perseguire quattro fini diversi adottando tre diversi metodi (Chapman 1974); i risultati, come ha dimostrato, possono addirittura essere contraddittori: ci sono state controversie persino su come misurare l'energia (come adesso vedremo).

La questione se l'analisi energetica fornisca una base equivalente al sistema dei prezzi è stata discussa da David Huettner (1976), ma anche in questo caso le lettere al direttore che hanno fatto seguito al suo articolo inducono a ritenere che nemmeno lui sia riuscito a dimostrare in modo convincente il proprio assunto.³¹ Nello sviluppare le sue equazioni dei prezzi, Huettner segue l'erronea proce-

di «energia libera». Solo Soddy si è interessato di questioni propriamente economiche e ha dedicato diversi lavori a studiare un rimedio contro le instabilità provocate dalla creazione di credito. Recentemente, un interessante articolo di Daly (1980) intende riabilitare Soddy.

³⁰ Cfr. «New Scientist», LXV, 9, 16 e 23 gennaio 1975.

³¹ Cfr. «Science», n. 196, 15 aprile 1977, pp. 259-63, soprattutto M. Slessor. Cfr. anche «Science», n. 192, 2 aprile 1976, pp. 8-12.

dura dell'economia tradizionale di ignorare la differenza essenziale tra flussi – gli elementi materiali che vengono modificati dal processo di produzione – e fondi – gli agenti che provocano il cambiamento (Georgescu-Roegen 1976b); come conseguenza, le sue equazioni dei prezzi hanno esattamente la stessa forma delle sue equazioni per gli equivalenti energetici, e tale identità non ha permesso di chiarire quale sia la differenza effettiva fra valutazione economica e calcoli energetici, e quindi di risolvere il problema sollevato da Price (1974): «Perché l'analisi energetica dà una risposta diversa dall'analisi economica? I modelli flusso-fondo delle mie tabelle risolveranno la questione senza grandi difficoltà.

Cominciamo col considerare il caso più semplice, quello della tabella 6.1, e partiamo dall'analisi dell'energia netta. Dobbiamo innanzitutto decidere che cos'è l'energia netta in quella struttura: ritengo che, nello spirito della posizione di Cottrell-Odum, si possa presumere che l'energia netta voglia misurare quanta energia controllata, CE , sia accessibile in una qualunque forma ai consumatori finali. Sono necessarie alcune osservazioni ulteriori: innanzitutto, per quanto riguarda il concetto di energia netta non è necessario distinguere fra i diversi tipi di energia ambientale, ES , e cioè non importa se l'energia netta provenga, per esempio, da combustibili fossili o dal vento. Secondariamente, nel calcolare l'energia netta non va calcolato il calore dissipato, cioè non bisogna aggiungere d_1 all'output netto di energia x_{11} , o sottrarre d , dall'input totale x_{1i} . Infine dobbiamo non tenere in alcun conto l'energia consumata dalle persone nel lavorare o consumare i beni: l'analisi verrebbe in tal caso falsificata da un conteggio doppio che darebbe luogo a un'ampia cancellazione, perché in uno stato stazionario – che rimane il nostro campo di prova – il flusso totale di input di qualsiasi elemento ambientale è esattamente uguale al corrispondente flusso totale di output.

Fra le possibili definizioni di energia netta, quattro sembrano degne di attenzione: a) x_{11} ; b) la differenza fra x_{11} e l'equivalente energetico di x_{21} ; c) x_{15} ; d) x_{15} più l'equivalente energetico di x_{25} *ex...* La prima possibilità può essere facilmente scartata: se, per esempio, x_{11} è l'elettricità prodotta dai combustibili fossili *in situ*, essa non è energia netta nemmeno per quanto riguarda il processo (P), perché parte di quell'elettricità è stata usata in un processo circo-

lare per produrre, fra l'altro, il flusso materiale x_{21} necessario per compensare il consumo e l'usura di K_1 durante l'estrazione di e , e la sua utilizzazione in una centrale termica.

La proposta (b) porta a

$$\text{Energia netta} = x_{11} - (x_{21})_e, \quad [8]$$

dove $(x)_e$ indica l'equivalente energetico di x . Questa definizione solleva però una domanda difficile: qual è l'equivalente energetico di una sbarra di acciaio?

Anche in questo caso sono state avanzate molte proposte: un metodo semplice consiste nel tener conto solo dell'energia utilizzata *direttamente* da un processo, perché si tratta di dati facilmente ricavabili dalle statistiche ufficiali. Tale metodo porta a

$$(x_{21})_e = x_{21} \left(\frac{x_{12}}{x_{22}} \right), \quad [9]$$

e a

$$\text{Energia netta} = \frac{(x_{11}x_{22} - x_{12}x_{21})}{x_{22}} \quad [10]$$

È chiaro che questa sarebbe una stima sostanzialmente in difetto, dato che per la produzione di x_{22} sono necessarie anche x_{42} unità di RM; si deve quindi calcolare anche $(x_{42})_e$ e si entra così in un algoritmo che termina solo quando è stato stabilito un equivalente energetico per tutti i tipi di prodotto.³² Il risultato è un sistema di equazioni che ricorda quello di Leontief (Chapman, Leach e Slesser 1974; Wright 1974).³³ Si indichi con a , l'equivalente energetico per unità di prodotto di flusso di (P); dalla tabella 6.1 si ha:

³² Può essere opportuno mettere in risalto che il termine «equivalente energetico» non implica un'equivalenza fisica nel senso che 1 kg di rame, per esempio, possa essere convertito nel suo equivalente energetico o viceversa.

³³ Si tratta di un problema quasi irrisolvibile, anche se si dispone di una tabella dettagliata degli input e degli output in termini reali, però tale difficoltà è del tutto irrilevante ai fini di questa trattazione. Chapman (1974), comunque, insiste che in questo metodo si dovrebbe a *rigore* considerare un *sottosistema* e non l'intera economia nazionale; inoltre, nell'applicazione illustrativa di tale sistema al settore energetico, non è chiaro come sia stata calcolata l'equivalenza energetica degli elementi non energetici (Chapman, Leach e Slesser 1974); da ripetute osservazioni al riguardo, si può dedurre che per tali elementi è stato usato l'equivalente energetico del dollaro, una procedura del tutto incompatibile con l'analisi energetica.

$$\begin{aligned}
 \text{Energia netta} &= x_{11} - a_2 x_{21}, \\
 -x_{12} + a_2 x_{22} - a_4 x_{42} &= 0, \\
 -x_{13} + a_2 x_{23} - a_4 x_{43} - a_3 x_{33} &= 0, \\
 -x_{14} - a_2 x_{24} + a_4 x_{44} &= 0,
 \end{aligned} \quad [11]$$

che, per la [2], dà:

$$\text{Energia netta} = x_{15} - a_2 x_{25} + a_3 x_{35} = 0. \quad [12]$$

Questa relazione mostra che la proposta (b) è equivalente alla proposta (d), e inoltre che (c) non andrebbe bene. Dimostra anche che, per esempio, il costo medio di K in unità di energia controllata (energia netta) è a_2 .

L'energia netta definita dalla [11] può anche essere espressa come funzione delle sole coordinate flusso:

$$\text{Energia netta} = \begin{vmatrix} x_{11} & -x_{21} & 0 \\ -x_{12} & x_{22} & -x_{42} \\ -x_{14} & -x_{24} & x_{44} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x_{22} & -x_{42} \\ -x_{24} & x_{44} \end{vmatrix}. \quad [13]$$

Questa formula porta al risultato estremamente curioso che, nel caso di un sistema energetico, l'energia netta non dipende dai flussi dell'industria dei beni di consumo.

Gli analisti energetici sono ben lungi dall'essere d'accordo se a W vada attribuito o meno un equivalente energetico. E la stessa difficoltà che si incontra in economia nell'attribuzione di un costo ai prodotti congiunti. Ma se si introducono i w'_i nella [11] e si indicano con un apice i nuovi equivalenti energetici e con a_i l'equivalente energetico di w , per la [1] si ottiene immediatamente

$$a'_i - a'_w = a_i \quad [14]$$

il che significa che i nuovi equivalenti non sono determinati completamente, un risultato, forse piuttosto scomodo per alcune tesi, che era prevedibile.

Si può adesso passare all'analisi dell'energia lorda: il fine dichiarato di tale analisi è quello di determinare la quantità di energia *in situ* «necessaria, direttamente e indirettamente, per consegnare un bene o un servizio all'utilizzatore finale» (Leach 1975; Slesser 1977); sembra però che a proposito delle regole precise su come raggiungere tale fine domini «un guazzabuglio di confusione» (Leach 1975). L'analisi dell'energia lorda considera soprattutto i

combustibili fossili, e per questo l'unità di energia più usata è il potere calorifico, che rappresenta l'energia potenzialmente disponibile bruciando una data quantità di quei combustibili (Chapman, Leach e Slesser 1974; Price 1974).³⁴ Una difficoltà è costituita dal fatto che non esiste un potere calorifico accettato per i combustibili nucleari, né si può parlare di tale potere per l'input energetico di un impianto idroelettrico. La teoria suggerisce anche di non tener conto come input dell'energia solare, dato che è un «bene libero*» (CED 1977), una posizione che presenta i suoi inconvenienti (e che non tocca l'approccio in termini di energia netta). Un autore sostiene che il lavoro, e addirittura i profitti, «sono anch'essi input energetici» (Wright 1974), tuttavia la maggior parte di coloro che applicano l'analisi dell'energia lorda aderiscono alle regole secondo le quali il calcolo non tiene conto né del lavoro né degli scarti (Tayler 1972). Ci sono altri aspetti che riguardano entrambi i metodi e sui quali nessuno degli studiosi in materia è esplicito: per esempio, che cosa includere esattamente nel costo di capitale x_{2i} .

Sia ora X la matrice trasposta delle prime quattro righe e delle prime quattro colonne della tabella 6.1; sia e il vettore colonna $(e, 0, 0, 0)$, e sia b (b_1, b_2, b_3, b_4) il vettore colonna degli equivalenti energetici in unità di ES . Si ha:

$$Xb = e. \quad [15]$$

Da questo e dalla [2] si ottiene

$$e_1 = b_1 x_{15} + b_2 x_{25} + b_3 x_{35}, \quad [16]$$

che mostra quanta energia *in situ*, b_1 , sia necessaria per un'unità di ciascun prodotto consumato dalle famiglie.³⁵

Il confronto fra [11] e [15] dà

$$\text{Energia netta} = \frac{e_1}{b_1}, \quad [17]$$

³⁴ È una spiegazione in forma più sofisticata del fatto che dovremmo tener conto solo dell'energia libera, che determina la quantità massima di lavoro meccanico ottenibile a pressione e temperatura normali. Specificamente, ci si riferisce all'energia libera di Gibbs, $G = H - TS$ (Price 1974; Slesser 1975). Viene comunque utilizzata l'entalpia, H (cfr. *supra*, nota 19), perché quando si brucia un combustibile in condizioni normali, ΔG non è sostanzialmente diverso da ΔH (Denbigh 1971, p. 73).

³⁵ È facile vedere come solo h , sia influenzato dalle coordinate flusso di (P_i) ; inoltre l'introduzione di un equivalente energetico b'_w per W porta a un sistema identico a [15] nel quale h è sostituito da b' , dove $b'_i = b_i$, $b'_i = b_i - b'_w$, $i \neq 1$.

o, equivalentemente,

$$b_i = b_1 a_i \quad (i = 2, 3, 4). \quad [18]$$

Questi risultati mostrano, innanzitutto, perché il problema principale dell'analisi dell'energia lorda ruoti intorno alla scelta di un'unità di misura adeguata per l'energia. Se e , consiste in combustibili fossili, allora ha ragione Chapman (1974) quando sostiene che un kWh di elettricità corrisponde a circa quattro kWh di potere calorifico, il che significa semplicemente che $b_i = 4$.

Ma le stesse relazioni spingono a domandarsi il perché di tutte le discussioni su quale sia il metodo corretto, dato che i due insiemi di equivalenti energetici sono collegati dalle semplici relazioni [18]: la verità è che mentre a può essere dedotto da b , non è vero l'opposto. Questo però non significa che l'analisi dell'energia lorda sia il metodo migliore; secondo la regola prima ricordata, nel caso dell'energia solare $e_i = 0$, quindi $b_i = 0$,³⁶ ma in ogni caso, l'energia netta è data dalla stessa formula [13]. In breve, per come è definita, l'energia lorda non permette distinzioni fra due tecnologie basate solo sull'energia solare (cfr. anche § 8); d'altro canto, l'analisi dell'energia netta ignora completamente l'efficienza delle tecnologie con le quali le risorse *in situ* vengono trasformate in energia controllata: per l'analisi dell'energia netta, non ha importanza se per ottenere 1 t di petrolio netto si consumano 2 t o 1 milione di t di petrolio *in situ*.

In base sempre alla tabella 6.1, passiamo ora all'analisi economica per determinare quali sarebbero i prezzi normali in un simile mondo economico. A questo proposito, non si insisterà mai abbastanza sul fatto che in qualunque sistema economico hanno valore *tanto* le quantità rappresentate dagli elementi flusso *quanto* i servizi forniti. Sia $p = (p_1, p_2, p_3, p_4)$ il vettore colonna dei prezzi degli elementi flusso e siano P_K, P_H, P_L i prezzi dei servizi della dotazione di capitale, della forza lavoro e della terra durante i loro periodi specifici. Le equazioni economiche sono

$$Xp = B, \quad [19]$$

dove B è il vettore colonna (B_1, B_2, B_3, B_4) e

$$B_i = P_K K_i + P_H H_i + P_L L_i. \quad [20]$$

³⁶ Questo avviene perché, se $|X| = 0$, la [15] non ha soluzioni

Troviamo inoltre che

$$p_1 x_{15} + p_2 x_{25} + p_3 x_{35} = \Sigma B_i, \quad [21]$$

che è l'equazione di contabilità nazionale.

La [19] può determinare tutti i prezzi relativi solo nel caso, particolarmente irrealistico, in cui i bilanci B_i comprendano solo i servizi di lavoro; in pratica, si elimina l'indeterminatezza introducendo fattori di natura strettamente economica, come i gusti e la distribuzione dei redditi."

È ora del tutto chiaro che non esistono *assolutamente* situazioni in cui gli equivalenti energetici possano rappresentare valutazioni economiche. Sebbene la matrice del sistema dei prezzi [19] sia uguale a quella dei sistemi degli equivalenti energetici, [11] e [15], il primo sistema non può essere equivalente a nessuno degli altri due: in realtà, ridurre il valore economico a energia costituisce una posizione più estremistica della più pura delle teorie del valore di lavoro. Per fare un esempio semplice, secondo la posizione energetica 30 g di caviale nero (che consiste soprattutto in proteine) dovrebbero avere lo stesso prezzo di 30 g di spaghetti (quasi tutti carboidrati) se per produrli fosse necessaria la stessa quantità di energia lorda o netta: un'equivalenza di questo genere non funzionerà mai.

7. Analisi globale e scelta economica

L'analisi del caso realistico, nel quale non solo l'energia ma anche la materia conta, procede come per un sistema di Leontief generalizzato contenente più fattori primari di produzione fra loro distinti (per esempio, lavoro uniforme e terra uniforme); questo significa che è possibile stabilire le relazioni che si riferiscono a un fattore supponendo che l'offerta di tutti gli altri sia infinita (Georgescu-Roegen 1966, cap. 10).

Cominciamo col prescindere da MS. Sia Y la matrice trasposta delle prime cinque righe e colonne della tabella 6.2; sia f il vettore

³⁷ In nessuna economia reale vale $P_K = 0$; inoltre dove istituzionalmente $P_L = 0$, la rendita differenziale provoca sempre trasferimenti di capitale (illeciti, naturalmente).

³⁸ Se a W venisse attribuito un prezzo di mercato, p_w , i nuovi prezzi, p' , soddisferebbero relazioni analoghe a quelle viste nella precedente nota 35.

colonna dei nuovi equivalenti di energia lorda (f_0, f_1, f_2, f_3, f_4) ed e il vettore colonna $(0, e, 0, 0, 0)$. Come prima, abbiamo:

$$Yf = e, \quad [22]$$

che dà

$$e_1 = f_1 x_{15} + f_2 x_{25} + f_3 x_{35}, \quad [23]$$

con

$$f_1 = \frac{e_1 \Delta_{i1}}{\Delta}, \quad [24]$$

dove Δ è il determinante di Y e Δ_{i1} il minore dell'elemento con indici $(i, 1)$.

Per gli equivalenti della materia lorda prescindiamo da ES . Se g indica il vettore colonna di quegli equivalenti e m il vettore colonna $(M, 0, 0, 0, 0)$, allora

$$Yg = m, \quad [25]$$

da cui si ottiene

$$M_0 = g_1 x_{15} + g_2 x_{25} + g_3 x_{35}, \quad [26]$$

con

$$g_i = \frac{M_0 \Delta_{i0}}{\Delta}. \quad [27]$$

Le formule corrispondenti per l'energia netta seguono automaticamente:

$$\text{Energia netta} = \frac{e_1}{f_1} \quad \text{Materia netta} = \frac{M_0}{g_0}. \quad [28]$$

Quindi per fornire, per esempio, un'unità marginale di K al consumatore finale dobbiamo consumare f_2 unità di energia *in situ* e g_2 unità di materia *in situ*.

Da queste considerazioni deriva che, qualunque sia la fonte di energia utilizzata (solare o terrestre), non si deve ignorare l'esaurimento dei depositi terrestri di materia disponibile che qualsiasi processo produttivo provoca. A tutti i fini pratici, la terra è un sistema termodinamico chiuso, nonostante la caduta di meteoriti e le particelle materiali che occasionalmente sfuggono all'attrazione gravitazionale; nel lunghissimo periodo, quindi, alcuni elementi materiali diventeranno più critici dell'energia per un sistema indu-

striale del tipo attuale (Georgescu-Roegen 1971a). Di questo fatto un numero sempre maggiore di studiosi di scienze naturali si è convinto tanto da sostenere addirittura che una quantità di elementi importanti stia già avvicinandosi al preoccupante limite di scarsità (Chynoweth 1976; Skinner 1976). È però triste vedere come, invece di seguire il vecchio comandamento e «trasformare le spade in aratri», continuiamo a fondere gli aratri delle generazioni future per fabbricare le nostre micidiali «spade».

Va ricordato che l'energia e la materia aggregata non sono reciprocamente convertibili (§ 6), cioè non esiste una relazione $F(M, e) = \text{cost}$; non abbiamo quindi una griglia di isoquanti con cui poter ridurre la scelta economica riguardante le risorse naturali a calcoli fisico-chimici. Si consideri il caso di due tecnologie, $T_1(M_0^1, e_1^1)$ e $T_2(M_0^2, e_1^2)$, che producono lo stesso risultato e tali che $M_0^1 > M_0^2$, $e_1^1 < e_1^2$. Se esse utilizzano risorse terrestri, non c'è espressione fisica o chimica che possa dirci quale tecnologia sia economicamente preferibile: la natura del problema è esclusivamente economica perché riguarda una quantità di fattori di incertezza e imponderabilità storica variabili.

Dato che anche la materia conta, sarebbe erroneo ridurre la scelta economica solo a una questione di energia; anzi, in certi casi solo la materia conta. Si supponga che le suddette tecnologie utilizzino energia solare «gratuita»; la scelta deve adesso tener conto dell'energia netta, NE , e non di quella lorda, e il criterio di scelta fra $T_1(M_0^1, NE^1)$ e $T_2(M_0^2, NE^2)$, quando $M_0^1 > M_0^2$ e $NE^1 < NE^2$, è di nuovo un problema economico, non puramente tecnico. Tuttavia, se $NE^1 = NE^2$, la materia è determinante e T_2 è preferibile indipendentemente dal consumo di energia lorda.

Un fattore (oltre a quelli già citati) che può spiegare perché l'analisi moderna delle trasformazioni entropiche non abbia tenuto conto della materia è il periodo di abbondanza di combustibili fossili, iniziato duecento anni fa e ancora in corso. Questa abbondanza presenta un immenso, duplice vantaggio: per estrarre i combustibili fossili da dove giacciono, nelle viscere della terra, la quantità di materia necessaria è relativamente piccola e ancora minore è quella necessaria per trasformarli in energia termica industriale. Questo invece non è vero dell'energia nucleare, che ha bisogno di grossi impianti per la raffinazione, l'arricchimento e la conversione. Le difficoltà che attualmente si frappongono all'utilizzazione diretta

dell'energia solare tramite le metodologie *adesso conosciute* derivano anch'esse dall'immensa richiesta di materia. Da tutto ciò che è possibile adesso valutare, la quantità di materia necessaria a una tecnologia varia a seconda dell'intensità dell'energia utilizzata: è grande per energia a bassa intensità (come l'energia solare al livello del suolo), perché tale energia dev'essere concentrata per arrivare a un'intensità molto più elevata, adeguata a sostenere gli intensivi processi industriali che vengono adesso alimentati dai combustibili fossili; ed è grande per l'energia ad alta intensità, perché tale energia dev'essere controllata (oltre a dover essere prima «setacciata»).

8. *Analisi globale e valutazione tecnologica: il caso dell'energia solare*

Di questi tempi si sente ripetere con insistenza che non dovremo esitare a utilizzare una tecnologia basata sull'energia solare, perché l'energia solare «è, dopotutto, gratuita» (CED 1977). Ma qualsiasi forma di energia ambientale è gratuita, nel senso che la natura non ha una cassa alla quale dobbiamo pagare le risorse *in situ*: le *royalties* sono state istituite dall'uomo, non dalla natura. Forse quando diciamo che l'energia solare è gratuita vogliamo semplicemente dire che è «estremamente abbondante*», e in effetti lo è: il flusso annuale che raggiunge gli strati superiori dell'atmosfera è circa dodicimila volte superiore all'attuale consumo energetico mondiale da qualunque fonte! Sfortunatamente la sola abbondanza di energia *in situ* non costituisce necessariamente un vantaggio, e questo è proprio il caso dell'energia solare, che è abbondante, ma ha anche il grande difetto di essere estremamente debole quando ci raggiunge.

La possibilità di utilizzazione diretta dell'energia solare sta suscitando tante speranze³⁹ da renderne istruttiva una valutazione tecnologica in base ai concetti esaminati in questo capitolo.

** Cfr., per esempio: *Congressional Record: Senate*, 31 luglio 1975 e 10 dicembre 1975; S. Potter, *We stand on threshold of solar energy era*, in «News and Observer» (Raleigh, N.C.), 16 settembre 1975; *European Common Market heats up on solar energy*, in «Herald Tribune», 25 luglio 1977.

Cominciamo la nostra trattazione ricordando al lettore la distinzione necessaria fra «metodo» [*recipe*] e «tecnologia», nonché il fatto che metodi *realizzabili* non costituiscono necessariamente tecnologie *vitali* (§ 2): legioni di esperimenti riusciti rappresentano metodi realizzabili che non possono *attualmente* far parte di tecnologie vitali. Un esempio lampante è costituito dal metodo di estrazione mineraria sulla luna, che per adesso non può certo sostituire lo sfruttamento minerario della terra. Indirizziamo poi la nostra indagine sul caso di attualità di una tecnologia basata su metodi *già funzionanti* per accumulare direttamente l'energia solare:⁴⁰ possiamo senza remore chiamare «collettore» qualunque attrezzatura utilizzata allo scopo.

Per semplicità, possiamo dividere l'intero sistema in tre processi individuali: (P,) produce energia solare accumulata, SE, per mezzo di collettori, CL, e una certa dotazione di capitale, K; (P,) produce collettori tramite SE e K; (P,) produce K da depositi minerari utilizzando SE (tabella 6.3).⁴¹ Evidentemente,

$$x_{21} = x_{22}, \quad [29]$$

dato che i collettori non hanno utilizzazione al di fuori di (P,).

Si può legittimamente fare l'ipotesi che tutti i metodi (P,) siano realizzabili; (P,) lo è certamente. Anche i collettori vengono correntemente prodotti, sebbene tramite altre fonti di energia, soprattutto quella derivante dai combustibili fossili, FE, e lo stesso è vero di K; ma dato che l'energia è una «sostanza» omogenea, quella dei combustibili fossili potrebbe benissimo venir sostituita dall'energia raggiante solare accumulata. Il solo problema potrebbe essere l'intensità: sfortunatamente l'intensità dell'energia (espressa da dQ/dt) è un altro aspetto, oltre la materia, ignorato dalla termodinamica, la quale non può quindi chiarire in alcun modo la questione.⁴² Non bisogna comunque ignorare il fatto che metodi dimo-

⁴⁰ Di conseguenza non teniamo conto della proposta di accumulare l'energia solare nello spazio per poi inviarla a terra; si tratta di un procedimento che non si è ancora dimostrato attuabile.

⁴¹ Si noti che (P₁) deve comprendere un fondo di CL oltre al fondo di K.

⁴² Secondo la formula standard $Q = W$ si dovrebbe poter inviare un razzo sulla luna distribuendo il Q necessario su un tempo così lungo da farlo corrispondere all'accensione di un fiammifero dopo l'altro. Questa omissione spiega perché tanti studiosi rimangono perplessi davanti al paradosso per cui l'energia solare, sebbene immensamente abbondante, sembra difficilmente utilizzabile in modo diretto per le attuali necessità industriali.

Tabella 6.3
Tecnologia basata sull'energia solare.

Prodotto	(P ₁)	(P ₂)	(P ₃)	Flussi netti
SE	x ₁₁	-x ₁₂	-x ₁₃	x ₁
CL	-x ₂₁	x ₂₂	*	*
K	-x ₃₁	-x ₃₂	x ₃₃	y ₃

stratisi realizzabili riescono a elevare la temperatura dell'energia raggiante solare accumulata a valori impressionanti: il forno solare Odeillo (nei Pirenei) produce una temperatura di quasi 4000 °C e ha una potenza di circa 65 kW; se volessimo una potenza superiore, sarebbe pensabile di costruire tutti gli Odeillo necessari. Una centrale di energia solare richiede comunque un impianto immenso ed elaborato: quello progettato dall'ERDA a Barston (California) comprende non meno di 1700 specchi, ciascuno di oltre 37 m² - un totale di circa 8 ettari - mossi da un meccanismo molto complicato che li fa ruotare in modo da seguire il sole rimanendo continuamente ed esattamente a fuoco sulla caldaia; e ciononostante la sua potenza è di appena 10 MW.

Perché la tecnologia descritta dalla tabella 6.3 sia vitale, è necessario che

$$y_1 = y_{11} - x_{12} - x_{13} > 0, \quad y_3 = -x_{31} - x_{32} + x_{33} > 0, \quad [30]$$

dove y_1 e y_3 rappresentano i flussi necessari per il *mantenimento* dei corrispondenti fattori fondo (persone e capitale fisso).

È necessario comprendere bene il significato del termine in corsivo: una tecnologia vitale è come una specie in grado di sopravvivere, cioè, una volta nata da una tecnologia precedente, deve solo mantenersi; per esempio, i primi martelli di bronzo furono forgiati con martelli di pietra, ma nell'era successiva, tutti i martelli di bronzo vennero costruiti con martelli di bronzo. Indubbiamente, forgiare un martello di bronzo con martelli di pietra era un compito molto più difficile rispetto a forgiare martelli di pietra, ma la frontiera che divide una tecnologia vecchia da una nuova può essere superata solo con l'aggiunta di un costo *ai vecchi prezzi*. Se si ignora questo aspetto, è impossibile rendersi conto della debolezza del ragionamento secondo cui la tecnologia solare è vitale solo che si realizzi una conveniente produzione di collettori. Come mostra l'e-

sempio dell'età del bronzo, la vitalità di una tecnologia dipende solo dall'automantenimento della sua impalcatura materiale.

Si consideri adesso il problema dei prezzi. Se la [30] è soddisfatta, esiste un sistema di prezzi che permette al sistema di funzionare, cioè, indicando con X la matrice trasposta della tabella 6.3 e con p il vettore colonna (p_1, p_2, p_3), il sistema

$$Xp = B \quad [31]$$

ha una soluzione positiva, essendo B definito come in [20], e quindi, se per $B > 0$ tale soluzione non esiste, la tecnologia non è vitale. Curiosamente, l'opposto non è vero: la [31] può avere una soluzione positiva senza che la tecnologia sia vitale.⁴³ D'altro canto, il semplice fatto che ancora non viviamo in una tecnologia basata sulla radiazione solare non dimostra che tale tecnologia non sia vitale; può benissimo essere meno efficiente, in termini monetari correnti o di sforzo umano, della tecnologia basata su combustibili fossili. La questione è complessa, ma la mania dei prezzi degli economisti tradizionali, che insistono sul fatto che è il mercato a dare la risposta migliore a tutti i problemi, è diventata un'epidemia generale; persino gli studiosi di scienze naturali calcolano l'efficienza delle conversioni energetiche in termini di prezzi. L'errore di tale modo di procedere è stato illustrato elegantemente da un saggio di un'autorità del calibro di Melvin Calvin:⁴⁴ dopo aver dimostrato che il costo di un barile di petrolio prodotto dalla biomassa era di circa 20 dollari quando il prezzo del petrolio minerale era di soli 13 dollari al barile, Calvin ha concluso che la tecnologia basata sulla biomassa prenderà il sopravvento non appena il prezzo del petrolio minerale salirà al di sopra di 20 dollari; tuttavia la produzione basata sulla biomassa non è riuscita a modificare la situazione in suo favore nemmeno dopo che il prezzo OPEC del petrolio ha di gran lunga superato quel livello: dato che la produzione di petrolio dalla biomassa è basata su combustibili fossili (o su fonti concorrenziali), il suo costo deve salire insieme con il prezzo del petrolio minerale.

La spiegazione più accettata del perché l'energia solare non abbia ancora sostituito le altre fonti energetiche è il costo troppo

⁴³ Cfr. la Nota matematica alla fine del capitolo.

⁴⁴ Apparso in «Interdisciplinary Scientific Review», 1978, pp. 233-43.

elevato dei collettori necessari; si sostiene che, a parte questo inconveniente rimediabile, una tecnologia solare in grado di alimentare l'attività industriale moderna è in effetti possibile: la difficoltà è «un problema di costi, non di materiali» (Rose 1975, p. 17). Ma se l'unico ostacolo fosse costituito dai deficit monetari prodotti dai metodi solari, c'è una domanda che pretende una risposta: negli ultimi cinque anni [1974-79, N. d. R.], almeno, sono stati spesi centinaia di milioni di dollari per lo sviluppo di metodi più efficienti; l'ERDA, soprattutto, ha sparso negli Stati Uniti innumerevoli case modello e mulini a vento sperimentali, e tuttavia non ci sono stati sviluppi che inducano a una maggiore fiducia nell'attuabilità di una tecnologia solare. Nessuno di questi ricchi progetti sperimentali ha avanzato una sola proposta pratica che permetta a (P_1) e (P_2) di alimentarsi a vicenda, per non parlare di una proposta di una tecnologia solare completa che si dimostri produttiva *indipendentemente dai prezzi*; infatti quando si tratta di dimostrare che una concezione tecnica funziona, il costo non ha molta importanza, altrimenti non saremmo riusciti a dimostrare che si può inviare un uomo sulla luna.

La conclusione evidente è che attualmente è impossibile produrre collettori solari tramite la sola energia solare da essi accumulata e che quindi qualsiasi applicazione dei metodi esistenti basati sui collettori solari è parassitaria della tecnologia corrente e, come tutti i parassiti, non potrebbe sopravvivere senza il suo ospite (Georgescu-Roegen 1978a; 1979a, b; 1980).

Questo significa che invece della [30] abbiamo:⁴⁵

$$x_{11} < x_{12}, \quad x_{11} < x_{13}, \quad [32]$$

anche se rendiamo più debole l'altra condizione

$$-x_{31} - x_{32} + x_{33} = 0. \quad [33]$$

Per un'analisi globale del modo in cui l'energia solare viene adesso accumulata, occorre considerare la matrice di flussi della tabella 6.4, nella quale la [29] e la [32] vengono supposte valide. L'energia necessaria per produrre i collettori tramite (P_2) viene adesso da una centrale non solare (combustibili fossili) (P_4^0), che fornisce anche l'energia per la produzione della dotazione di capi-

⁴⁵ La disuguaglianza $x_{11} < x_{13}$ è un risultato inevitabile dell'altra disuguaglianza, non fosse altro per le enormi quantità di calore necessarie per estrarre i metalli dai giacimenti.

Tabella 6.4
Tecnologia attuale mista.

Prodotto	(P_1)	(P_2)	(P_3^0)	(P_4^0)	Flussi netti
SE	x_{11}	*	*		x_{11}
CL	$-x_{21}$	x_{22}	*	*	
K	$-x_{31}$	$-x_{32}$	y_{33}	$-y_{34}$	
FE	*	$-x_{12}$	$-y_{43}$	y_{44}	

tale tramite un nuovo processo (P_3^0); la discussione è ancor più istruttiva se si suppone che il solo flusso netto sia x_{11} .

Dal fatto che $y_{44} > x_{33} = x_{31} + x_{32}$, è plausibile dedurre che $y_{43} > x_{13}$. Quindi, $y_{44} = x_{12} + y_{43} > x_{12} + x_{13}$, e per la [32]

$$y_{44} > 2x_{11}. \quad [34]$$

Questo non solo dimostra che (P_1) è parassitario dei combustibili fossili, ma anche che *globalmente il metodo consuma il doppio di energia dell'altro tipo rispetto al suo output netto*.⁴⁶

Un altro risultato renderà più chiaro che cosa veramente significhi un costo non conveniente: dato che la tecnologia mista descritta dalla tabella 6.4 produce effettivamente un output netto, esiste un sistema di prezzi positivi. Se uniamo le equazioni di bilancio (P_1) e (P_2), si ottiene

$$B_1 + B_2 + p_3(x_{31} + x_{32}) = p_1x_{11} - p_4x_{12}. \quad [35]$$

Per la prima disuguaglianza della [32], $p_1 > p_4$. In altri termini, nella tecnologia mista il prezzo di un'unità energetica ottenuta tramite l'energia solare è maggiore di una ottenuta tramite combustibili fossili.⁴⁷ Si è così visto come l'attuale mancanza di convenienza a produrre una BTU tramite energia solare non è una questione di prezzo, ma riflette uno spreco implicito del metodo solare.

Un'efficace combinazione di (P_1) e (P_2) che richiedesse solo materia dall'esterno costituirebbe un progresso significativo, ma non

⁴⁶ Anche se ritenessimo che, data la maggiore intensità di FE, y_{43} non sia necessariamente più grande di [34] verrebbe sostituita da una disuguaglianza più debole, ma sempre rilevante.

⁴⁷ Non bisogna sorprendersi del fatto che le persone acquistino comunque installazioni solari domestiche: le case, per esempio, vengono riscaldate elettricamente, anche se questo comporta un maggior consumo energetico che utilizzando carbone; inoltre vengono acquistate apparecchiature elettriche che non forniscono necessariamente una quantità di energia paragonabile a quella consumata per produrle.

Tabella 6.5
Collettori prodotti con energia solare.

Prodotto	(P_1)	(P_2)	(P_3^0)	(P_4^0)	Flussi netti
SE	x_{11}	$-x_{12}$	*	*	$x_{11} - x_{12}$
CL	$-x_{21}$	x_{22}	*		*
K	$-x_{31}$	$-x_{32}$	y_{33}	$-y_{34}$	
FE		*	$-y_{43}$	y_{44}	

ancora decisivo; tale combinazione, descritta dalla tabella 6.5, richiede sempre processi come (P_3^0) e (P_4^0) : invece della [32], abbiamo

$$x_{11} > x_{12}, \quad x_{11} < x_{13}. \quad [36]$$

Dato che anche in questo caso $y_{33} > x_{33}$, abbiamo, come prima,

$$y_{44} > x_{13} > x_{11} - x_{12}. \quad [37]$$

con lo stesso risultato per quanto riguarda il deficit globale di energia (Georgescu-Roegen 1978a); in questo caso non sembra però che tale deficit debba portare a $p_1 > p_4$.⁴⁸

L'affermazione di Denis Hayes (1978) secondo cui «possiamo utilizzare subito l'energia solare perché la tecnologia esiste*, probabilmente riflette un eccesso di entusiasmo in uno studioso attento ai problemi relativi alla scarsità di energia, ma la verità è che in questo campo, come in tanti altri, esistono solo metodi realizzabili, ma non una tecnologia vitale.

Il quadro può essere radicalmente modificato dalla scoperta di metodi più efficienti. Tuttavia quello dell'utilizzazione dell'energia solare non è un problema che sia stato affrontato solo di recente, come è invece il caso dell'utilizzazione pacifica dell'energia nucleare, che è un problema presentatosi circa quarant'anni fa; allora era facile sbagliarsi sulle possibilità di utilizzazione di quel tipo di energia appena scoperto: capitò addirittura a Lord Rutherford. I collettori solari invece vengono utilizzati su scala apprezzabile da quasi un secolo, e in tutto questo tempo non ci sono praticamente stati grandi passi in avanti (Buttie Perlin 1777). Indubbiamente il sole è l'unica fonte di energia costante e completamente «pulita»,

⁴⁸ Forse questo risultato non si dimostrerà valido a un'indagine più approfondita, perché sembra davvero molto strano che un'unità energetica solare che dipende indirettamente da combustibili fossili costi meno di un'unità energetica di input.

tanto per una nuova «era del legno» che per una qualche era solare, ma attualmente sembra molto improbabile che possa permettere al genere umano di volare in aerei a reazione, di abitare in grattacieli e di viaggiare in automobile a 100 km all'ora, per esempio.

Cercare tenacemente di scoprire metodi più efficienti non è solo legittimo, è imperativo; ma sostenere che già esiste una tecnologia solare, quando non è vero, o predicare che «succeda quel che succeda, troveremo una soluzione», contribuisce solo a impedire che l'opinione pubblica capisca quanto sia serio il problema delle risorse naturali, e rende molto più difficile di quanto già non lo sia qualsiasi tentativo di formulare una politica adeguata per affrontarlo.

9. Il destino prometeico della tecnologia

Prima dell'embargo petrolifero del 1973-74, il mondo industriale era così abituato all'energia a buon mercato che dava quell'El-dorado per scontato; ma l'energia era a buon mercato solo perché il prezzo del petrolio greggio era basso sia rispetto allo stesso prezzo nel periodo successivo sia al prezzo del carbone nello stesso periodo. Naturalmente, la reazione della tecnologia a quella costellazione di prezzi, ammirevolmente descritta da Miernyk e altri (1978), è stata di ignorare il costo dell'energia: le automobili venivano progettate in modo che il guidatore avesse sempre più spazio, sempre più comodità lussuose e sempre più pulsanti inutili; con l'elettricità c'era un'abbondanza fantastica di surriscaldamento, superraffreddamento e superilluminazione. D'altro canto, la differenza di prezzo a sfavore del carbone riduceva in povertà la regione mineraria dell'Appalachia e scoraggiava qualunque ricerca verso un'utilizzazione più efficiente e pulita del carbone.

Quando apparvero sui muri - o piuttosto, alle stazioni di benzina - le prime scritte «pompe chiuse*, la reazione immediata degli esperti di economia fu di dichiarare che l'improvviso aumento del prezzo del petrolio era solo un evento transitorio, di natura essenzialmente politica, non economica. Morris A. Adelman, uno dei maggiori esperti di concorrenza monopolistica, sosteneva che l'OPEC era riuscita ad alzare i prezzi a un livello senza precedenti solo per la cattiva politica estera degli Stati Uniti; gli antichi beneficiari del

petrolio a buon mercato non potevano credere che «una litigiosa accozzaglia di sceiccati di cammelli e di repubbliche delle banane») – come venivano descritti i paesi arabi – riuscisse ad assumere il controllo dei propri interessi e, implicitamente, di quelli del corrotto mondo industriale. «The Wall Street Journal» e «Fortune», come era logico aspettarsi da tali portavoce, lasciavano capire che l'OPEC non era in condizione di effettuare i «sosticcati studi economici») necessari alle sue audaci mosse, e addirittura sostenevano la proposta di accusarla di violazione della legge antitrust per «aver cospirato per fissare il prezzo del petrolio». Curiosamente, «The Wall Street Journal» allo stesso tempo pubblicizzava la previsione di un'imminente caduta del cartello dell'OPEC, e da allora (1975) quella previsione è diventata un ritornello.⁴⁹

Altri esperti sostenevano a gran voce che non c'era assolutamente motivo di preoccuparsi per la sempre maggiore scarsità di combustibili fossili e per il loro eventuale esaurimento. Hermann Kahn, che si è identificato in questa posizione estremistica, ha sostenuto nel 1976 che dopo duecento anni (nel 2176) la popolazione mondiale avrebbe raggiunto i quindici miliardi e il reddito annuo pro capite medio i 20 000 dollari. Nella sua sfera di cristallo, Kahn ha visto che «probabilmente fra dieci o quindici anni, quasi certamente prima del 2000, è molto verosimile (*sic*) che si possano già osservare con grande orgoglio i risultati raggiunti. Respireremo aria pura, berremo direttamente dai fiumi e godremo di paesaggi piacevoli».⁵⁰

La famosa organizzazione di ricerca «Resources for the Future», che ha abbracciato anch'essa la posizione ottimistica, non è arrivata al punto di Kahn, ma è tornata sulla tesi sostenuta, con logica ammirevole ma su premesse ingiustificate, da Barnett e Morse nel loro *Scarcity and Growth* (1963). La loro tesi è che le risorse fisiche non sono mai scarse, dato che il progresso tecnologico porta sempre a scoprirne di nuove. Però i fatti su cui si baserebbe questa capacità della tecnologia si riferiscono solo all'era dei combustibili fossili; senza l'abbondanza di questi ultimi, l'elettricità, l'elettronica, la radio e così via non sarebbero divenute parte dell'attuale struttura tecnologica. Le loro argomentazioni non dimostrano che

⁴⁹ Cfr. soprattutto i primi quattro capitoli di Miernyk e altri 1978

⁵⁰ Cfr. Kahn e altri 1976.

a un periodo di abbondanza di risorse debba necessariamente seguirne un altro; è un problema che riguarda l'evoluzione e che va esaminato da un punto di vista più ampio, che tenga conto anche degli aspetti esclusivamente fisici (come adesso vedremo).

La pubblicazione del rapporto *The Limits to Growth* da parte del gruppo Meadows (1972) provocò uno shock nella cerchia degli ottimisti e in tutti gli economisti tradizionali; uno studio che utilizzava i metodi tanto cari agli econometrici – modelli dinamici quantitativi, simulazione con elaboratori ecc. – giungeva a una conclusione opposta: la limitatezza delle risorse naturali costituisce un ostacolo alla crescita economica materiale. Com'era da aspettarsi, lo studio è stato immediatamente criticato per non aver tenuto conto di alcuni fattori fra cui, in particolare, i prezzi, e per la fiducia concessa agli elaboratori, peccato da cui nessun lavoro econometrico è peraltro immune.⁵¹

Ma di fronte al brutale sviluppo degli eventi, quei contestatori hanno smesso di sostenere con tanta convinzione che il futuro sarà non meno roseo del presente. Stranamente la nuova moda è stata lanciata dal secondo rapporto del Club di Roma apparso nel 1974 per opera di Mihajlo Mesarovic e Eduard Pestel: *Mankind at the Turning Point*. Come primo tentativo, è un contributo che va lodato, ma sfortunatamente rappresenta anche l'inizio di un definitivo cambiamento di tendenza da parte del Club di Roma rispetto a *The Limits to Growth*: l'esempio è stato seguito da un numero infinito di autori, che hanno utilizzato gli elaboratori per ideare uno «scenario» dopo l'altro di futuri possibili. Si tratta di modelli che certamente esprimono previsioni quantitative, a differenza di quei lavori che si limitano a sostenere l'imminenza di una crisi senza specificare il momento in cui si verificherà, ma la loro pretesa superiorità⁵² su questa base è capziosa. Come ho osservato alla riunione di Philadelphia del Club di Roma, questi scenari ribaltano com-

⁵¹ Credo di essere stato il solo economista a prenderle difese di quel tempestivo studio. La mia obiezione principale riguardava la convinzione che la salvezza ecologica risiedesse nello stato stazionario: «Non siamo i primi della storia a proporre una forma di non-crescita per la società umana, [ma] abbiamo deciso, dopo molte discussioni, di chiamare la situazione in cui la popolazione e il capitale sono costanti [...] con il termine "equilibrio"» (Meadows e altri 1972, pp. 170 sg.). Aurelio Peccei (1976) commette un errore inspiegabile quando nega che il rapporto consigliasse una crescita zero e accusa «di non aver capito niente* chi mette in risalto quell'aspetto.

⁵² Cfr., per esempio, Ridker e Watson 1980.

pletamente il problema: invece di dare risposta a qualche domanda fondamentale, richiedono prima una risposta a un'altra domanda di tipo analogo, e solo dopo averla ricevuta il modello è in grado di rispondere alla prima domanda.

Un'altra pratica corrente consiste nel limitare l'orizzonte temporale di questi modelli a un paio di decenni. È un sintomo chiaramente messo in risalto da due monografie di Hans H. Landsberg per «Resources for the Future»: lo spazio di tempo considerato dalla prima, pubblicata nel 1964, era di trentasei anni, fino al 2000, mentre quello della più recente, apparsa nel 1980, è di soli vent'anni, e si ferma anch'essa al 2000. Anche le recenti prognosi della National Academy of Sciences si riferiscono a un intervallo di tempo ridotto, una a soli cinque anni, un'altra al periodo 1985-2010.

Questa tendenza rappresenta un'ammissione implicita della validità della posizione epistemologica secondo cui la rigidità dei modelli aritmomorfici non consente previsioni riferite a intervalli di tempo significativi per quanto riguarda l'evoluzione. Se prendiamo un intervallo molto breve - per esempio un anno - una previsione non potrà discostarsi molto da quanto poi effettivamente accadrà (se si escludono eventi veramente inattesi, come una guerra atomica o un controllo efficace della reazione termonucleare). Quando sono stato chiamato a testimoniare davanti alla Commissione presidenziale per gli anni ottanta, ho domandato perché preoccuparsi solo dei prossimi dieci anni. Forse che gli anni ottanta non saranno seguiti dai novanta, e i novanta da altri decenni? Non ci sono differenze essenziali fra *après moi le déluge* (una politica falsamente imputata a Luigi XIV) e *après 1990 le déluge*. Vorremmo vedere una Commissione presidenziale per il futuro, e basta. Sarebbe però un progetto con molte conseguenze sgradite: una simile commissione non potrebbe che elaborare un programma non molto diverso dal mio programma bioeconomico non quantitativo (cfr. *supra*, cap. 3), che sarebbe però inutile a chi costruisce modelli con l'elaboratore; inoltre impedirebbe ai candidati politici di ricorrere al loro sortilegio più efficace, la promessa di un'ulteriore crescita economica in caso di loro elezione; e metterebbe in risalto le diseguaglianze internazionali, delle quali abitualmente amiamo solo parlare.

Gli economisti tradizionali erano condizionati a farsi profeti di un futuro di crescita esponenziale sostenuta da uno sviluppo esponenziale della tecnologia.⁵³ La legge di Walt Disney - «Basta desiderare per ottenere» - esercita senz'altro un'attrattiva immensa (Miernyke e altri 1978). Quegli economisti non si sono lasciati sfuggire occasione per denunciare la posizione opposta, cioè che l'attuale attività industriale è minacciata dall'imminente esaurimento della sua principale fonte di energia, i combustibili fossili, mentre a difesa della propria tesi non hanno esitato a servirsi tanto di retorica quanto di cattiva logica. Nessuno degli studiosi che hanno insistito sulla necessità di affrontare il problema delle risorse naturali è così «catastrofico» (termine adottato dagli ottimisti) da parlare di una prossima fine del mondo, come ha sostenuto Robert Solow (1973). Come altro esempio significativo, possiamo citare gli articoli di T. S. Kačaturov e N. P. Federenko, entrambi di estrazione marxista, presentati al V Congresso mondiale della International Economic Association tenutosi a Tokyo nel 1977. I due autori, nelle conclusioni, sostengono che «la produzione industriale su scala sempre più larga, insieme con i maggiori tassi di crescita, rende sempre più acuto il problema delle risorse disponibili. Le risorse naturali hanno un limite, anche se la loro quantità è maggiore di quel che il genere umano non creda». Tuttavia Edmond Malinvaud (1979) nel suo rapporto su quella stessa sezione afferma che quegli autori non condividono «il pessimismo dei famosi rapporti Meadows». Però «pessimismo» è una delle tante etichette usate per sminuire i lavori di questo genere: «Basta con il pessimismo», ha esclamato Philip H. Abelson (1972) in un suo articolo in risposta a un appello per un esame equilibrato dei sintomi ecologici più preoccupanti.

Anche gli economisti teorici hanno deciso recentemente di entrare nell'arena: per dimostrare che gli economisti tradizionali non solo non hanno ignorato il problema delle risorse naturali, ma ne hanno addirittura proposto una soluzione «scientifica», hanno dissotterrato un vecchio articolo di Harold Hotelling (1931), nel quale viene considerato il caso di un proprietario di una quantità nota di un bene esauribile che sconta parte dei godimenti futuri e su tale

⁵³ Non c'è da stupirsi se nessun difensore della posizione secondo cui tutto quel che non si può misurare è irrilevante abbia suggerito come misurare il tasso di progresso, perché se tale tasso viene misurato dal tasso di crescita, la precedente affermazione non ha senso.

base cerca di massimizzare la propria utilità (supponendo l'additività nel tempo). Dovrebbe essere evidente che questa situazione non ha niente a che fare con il problema entropico del genere umano; solo un mortale dovrebbe scontare il futuro, perché un mortale può morire in qualsiasi momento, ma l'umanità, o anche una nazione, non può programmare la propria fine. Naturalmente anch'esse sono entità mortali, ma la prospettiva futura dell'umanità è tale che si deve comportare come se fosse immortale: le generazioni future hanno diritto allo stesso godimento di quella presente. Se si considera l'incertezza storica del futuro - senza un rischio calcolato di sopravvivenza - l'umanità non può risolvere il proprio problema massimizzando l'utilità futura scontata; la sua strategia razionale consiste nel minimizzare i rimpianti futuri (cfr. cap. 4; Georgescu-Roegen 1977c); e tuttavia il modello di Hotelling, con qualche addobbo tecnico, viene ancora offerto come base per una politica delle risorse naturali.⁵⁴

C'è anche un'altra argomentazione che mira a eliminare qualsiasi scrupolo sul possibile esaurimento delle risorse naturali: si sostiene che la crescita può andare avanti all'infinito dato che nella produzione dei beni materiali il capitale può essere sostituito senza limiti alle risorse naturali. In tutta l'economia matematica non esiste un altro esempio di una simile profusione di peccati di vuoto formalismo come nell'argomentazione a sostegno di questa tesi.

Innanzitutto il processo di produzione standard viene rappresentato da una funzione che non fa distinzioni fra *agenti* (capitale, forza lavoro e terra ricardiana) e *flussi*; questi ultimi sono gli elementi che vengono trasformati dagli agenti, che invece entrano in un processo senza venire incorporati nei prodotti ma solo fornendo servizi. A causa di questa differenza essenziale, non è possibile effettuare sostituzioni, per esempio, fra le macchine da cucire e la stoffa con cui vengono fatte le camicie. Naturalmente un diverso tipo di macchina o una stoffa differente possono cambiare la situa-

⁵⁴ Per citare non una persona qualunque, ma un luminaire dell'economia, ecco tre articoli di T. C. Koopmans: *Some observations on «optimal» growth and exhaustible resource*, in H. C. Boss (a cura di), *Economic Structure and Development*, North-Holland, Amsterdam 1973; *Proof for a care where discounting advances the doomsday*, in *Symposium on the Economics of Exhaustible Resources*, in «Review of Economic Studies», 1974; e *The transition from exhaustible to renewable or inexhaustible resource*, in *Economic Growth and Resources*, Macmillan, London 1979, vol. III.

zione, ma in ogni caso entità qualitativamente diverse non possono essere misurate con un'unità comune; quindi dire che una macchina A rappresenta più o meno capitale di una macchina B non ha un senso *analitico* (Georgescu-Roegen 1971b; cfr. anche Id. 19696 e 1970).

Secondariamente, il ragionamento utilizza l'onnipresente funzione di produzione di tipo Cobb-Douglas:

$$Y = K^a R^b L^c, \quad a, b, c > 0 \quad a + b + c = 1, \quad [38]$$

dove Y è l'output, e K, R, L indicano «i mezzi di produzione prodotti, il flusso delle risorse naturali e il lavoro umano», una spiegazione dei simboli tipica di chi non tiene conto delle dimensioni. Se si suppone che la produzione sia rappresentata analiticamente dalla [38], la conclusione è inevitabile: per L = costante e R piccolo a piacere, Y può assumere qualsiasi valore purché K sia sufficientemente grande.⁵⁵ È uno splendido trucco da prestigiatore: la dotazione di capitale può essere aumentata senza un input addizionale di risorse naturali (Georgescu-Roegen 1979d). A questo punto ci si dovrebbe domandare perché gli scritti che mettono in rilievo questa impossibilità e le sue sconcertanti conseguenze per le civiltà industriali vengano accusati di essere «sostanzialmente scontati».⁵⁶

Economisti che un tempo credevano ciecamente nel dogma secondo cui il mercato e solo il mercato può guidare l'umanità nella lotta contro risorse finite ed esauribili, hanno dovuto riconoscere alla fine che la questione non può essere trattata solo dall'economia, ma che l'economia deve collaborare con le scienze naturali. È stato Robert Solow (1974) ad ammettere per primo che per affrontare il problema delle risorse naturali «sono necessarie l'economia e la legge dell'entropia». Recentemente, Koopmans (nel già citato *Economic Growth and Resources*, vol. III) è andato addirittura oltre, dicendo che «l'econometria tradizionale in questo non ci è di aiuto»⁵⁷ e che il problema richiede una collaborazione interdisciplinare.

⁵⁵ Cfr. gli articoli di P. Dasgupta e G. M. Heal, R. M. Solow e J. Stiglitz, in *Symposium on the Economics of Exhaustible Resources* cit. Anche A. Takayama, *Discussion*, in *Economic Growth and Resources* cit., vol. I; J. Stiglitz, *A neoclassical analysis of the economics of natural resources*, in V. K. Smith (a cura di), *Scarcity and Economic Growth Reconsidered*, Johns Hopkins University Press, Baltimore 1979.

⁵⁶ Cfr. due citazioni, accidentalmente identiche, riportate in *Economic Growth and Resources* cit., vol. I, p. 141.

⁵⁷ Il riconoscimento dell'incapacità da parte dell'econometria di tener conto dei cambiamenti storici (Georgescu-Roegen 1976c) doveva finalmente arrivare.

La legge dell'entropia, se intesa correttamente, spiega perché le risorse naturali costituiscano un vincolo per una specie esosomatica come la nostra, ma non getta luce sull'evoluzione dei metodi con cui sia possibile sostenere la nostra vita esosomatica. Quest'ultimo problema si ricollega alla nostra intrinseca incapacità di afferrare le leggi di un qualsiasi fenomeno evolutivo;⁵⁸ però se si esamina la passata evoluzione della tecnologia dal punto di vista delle leggi della trasformazione entropica dell'energia e della materia, se ne può mettere in luce la natura particolare e, di conseguenza, la inutilità della maggior parte delle soluzioni proposte per l'attuale impasse e strombazzate senza il minimo ritegno: energia solare, combustibili sintetici, alcool, e così via.

E superfluo insistere sul fatto elementare che l'uomo ha sempre cercato non solo di inventare nuovi organi esosomatici, ma anche di scoprire metodi più convenienti per ottenerli; la storia è punteggiata da lunghe serie di innovazioni tecniche che in alcune migliaia di anni hanno portato l'uomo dalla caverna alla luna; tuttavia, per sorprendente che possa sembrare, le innovazioni che hanno esercitato un'influenza veramente decisiva sulle capacità tecniche dell'uomo sono state solo due.

La prima è stata la scoperta di come controllare il fuoco. Adesso il fuoco è uno dei fenomeni più comuni, ma quella scoperta è stata di importanza enorme, perché il fuoco rappresenta una conversione *energetica qualitativa*, la conversione dell'*energia* chimica delle materie combustibili in calore. Inoltre il fuoco permette una reazione a catena: con una piccola fiamma possiamo far bruciare tutta una foresta, anzi, tutte le foreste. Il controllo del fuoco ha permesso all'uomo non solo di riscaldarsi e di cuocere il cibo, ma anche (e soprattutto) di fondere e forgiare metalli, di cuocere mattoni, ceramica e calce. Non c'è da stupirsi se gli antichi greci attribuissero a Prometeo (un semidio, non un mortale) il dono del fuoco fatto all'uomo.

Potremmo definire età del legno il periodo tecnologico inaugurato da Prometeo I, come si dovrebbe chiamare quel leggendario personaggio. Il legno fu per millenni la sola fonte di potere calorifico, così che, con il continuo sviluppo industriale, le foreste cominciarono a scomparire sempre più rapidamente. Nella seconda metà

⁵⁸ Per ulteriori considerazioni, cfr. Gcorpscscu-Roegen 1979b.

del XVII secolo, fu necessario imporre regolamentazioni, addirittura restrizioni, al disboscamento tanto in Inghilterra quanto nell'Europa continentale. Il carbone come fonte di potere calorifico era già conosciuto, ma un ostacolo impediva di sostituirlo su larga scala al legno: le miniere si allagano con facilità e le fonti energetiche dell'epoca – la forza muscolare degli uomini e degli animali da tiro, il vento e i corsi d'acqua – non fornivano una potenza sufficiente per il prosciugamento. L'imminente crisi era del tutto analoga all'attuale: alla tecnologia basata sul legno veniva meno il combustibile.

Molto importante, ai fini di una comprensione delle vicissitudini della nostra crisi, è il fatto che né Galileo né Huygens e nemmeno Newton siano riusciti a trovare una soluzione alla crisi di allora. La soluzione venne da un altro Prometeo, Prometeo II; in realtà due mortali abbastanza comuni, Thomas Savery e Thomas Newcomen, che inventarono la macchina termica, la quale, proprio come il fuoco, consentiva all'uomo di effettuare una nuova conversione energetica qualitativa: quella da potere *calorifico* a energia meccanica. Inoltre, come il fuoco, anche la macchina termica genera una reazione a catena: con un po' di carbone e una macchina termica possiamo estrarre altro carbone e anche altri minerali con i quali fabbricare *diverse* macchine termiche, che a loro volta generano altre macchine termiche.

Il dono di Prometeo II rappresentò un altro cambiamento di dimensioni senza precedenti: l'uomo poteva ottenere energia meccanica da una fonte nuova e più concentrata, il fuoco alimentato da combustibili minerali, ed è in quella tecnologia che sostanzialmente viviamo ancora. Utilizzando la nuova energia per ottenere altra energia per la soddisfazione non solo di bisogni legittimi, ma anche di desideri del tutto assurdi, ci siamo fatti cogliere impreparati dall'attuale crisi bioeconomica. Ci domandiamo se un nuovo Prometeo risolverà questa crisi come Prometeo II ha risolto quella dell'età del legno.

Il reattore autofertilizzante, che converte materialifertili in combustibili fissili, sarebbe un terzo dono prometeico se la sua realizzazione pratica non fosse piena di rischi addirittura maggiori e anche di ostacoli tecnici; in effetti, sono recentemente sorti dubbi sul fatto che un reattore autofertilizzante possa avere una vita suf-

ficientemente lunga per assicurare il «riciclaggio» del plutonio. Quanto alle rosee speranze che un tempo circondavano l'energia termonucleare controllata, esse sono quasi svanite; qualche anno fa, anche Eduard Teller ha ammesso che non si vede luce in fondo alla galleria: non è affatto escluso che l'energia termonucleare possa essere utilizzata solo per una bomba, come la polvere da sparo e la dinamite.

La situazione può senz'altro cambiare all'improvviso, ma nessuno può essere sicuro in quale senso. Inoltre, nessuno può essere sicuro sulla natura del prossimo dono prometeico, né possiamo imporre l'avvento di un Prometeo III, come recentemente sembrava voler fare l'allora vicepresidente degli Stati Uniti Mondiale a un congresso di governatori: «La nazione che durante la seconda guerra mondiale ha inventato la gomma sintetica da un giorno all'altro e ha portato un uomo sulla luna, deve adesso lanciare un Progetto Apollo per produrre combustibili alternativi».

La sola strategia ragionevole - dire «razionale» sarebbe assoluta arroganza intellettuale - consiste nel cercare di accumulare il più grande vantaggio temporale possibile nell'attesa dell'incerto Prometeo III; oppure passare senza grandi sussulti dall'attuale livello elevato di attività industriale a uno probabilmente analogo, ma non identico, a quello dell'età del legno. Dobbiamo capire che le nostre difficoltà derivano soprattutto dall'essere ormai prigionieri di una struttura esosomatica creata da un'abbondanza straordinaria di combustibili fossili.

Anche gli economisti tradizionali, che in gran numero e con rinnovato impeto sostengono che solo il meccanismo di mercato ci può salvare, riconoscono alla fine che dobbiamo aspettare. Nessuno può negare che un aumento di prezzo provoca normalmente una diminuzione della domanda; l'ostacolo sta nel fatto che l'elasticità della domanda può esser tale che una consistente diminuzione di domanda potrebbe essere provocata solo da un aumento esorbitante del prezzo, e questo è il caso generale che si verifica per i beni vitali, come ormai sono quasi ovunque i prodotti petroliferi. Se il prezzo del greggio dovesse diventare sufficientemente elevato da ritardarne il rapido esaurimento, i veri «risparmiatori» di greggio sarebbero solo i poveri, sia individui che nazioni.

Il meccanismo del mercato non è mai riuscito a far fronte ai problemi bioeconomici; ogni volta che una comunità si è dovuta preoccupare della difesa delle risorse - foreste, pesci o selvaggina - o dell'ambiente salubre, ha dovuto introdurre restrizioni quantitative. Una prova è che il governo degli Stati Uniti non ha applicato il principio degli economisti «chi inquina paga» per ridurre l'inquinamento atmosferico da parte delle automobili; e se le balene sono minacciate dall'estinzione, è solo perché i prezzi di mercato sono proprio adeguati a permetterne la caccia senza limiti.

La conservazione non è l'unica voce di un programma mondiale, ma ne costituisce un aspetto decisivo, non il problema di una o alcune nazioni, ma di tutta la specie umana, se l'homo *sapiens sapiens* è davvero *sapiens*.

Nota matematica

Sia X la matrice della tabella 6.3 e con l'apice si indichi l'inversione. Per la [30], il sistema

$$Xs' = w \quad [39]$$

ha una soluzione positiva $s = (1, 1, 1)$ per $w = y \geq 0$.⁵⁹ Per il teorema 5 (Georgescu-Roegen 1966, pp. 324 sg.), esiste una soluzione $s > 0$ per ogni $w > 0$. Quindi $|X| \neq 0$,⁶⁰ e per il teorema 4 (ivi, p. 323), il sistema

$$X'p' = B' \quad [40]$$

dove $B = (B_1, B_2, B_3) > 0$, ha una soluzione $p > 0$. Questo dimostra che per ogni tecnologia vitale e per qualsiasi prezzo dei fondi, esiste un insieme di prezzi positivi per gli elementi flusso.

Si supponga ora che [40] abbia una soluzione positiva; di nuovo dal teorema 4 consegue che

$$X\lambda' = z'$$

⁵⁹ La notazione vettoriale $a \geq b$ esclude il caso $a = b$.

⁶⁰ Il calcolo diretto porta a $|X| = x_{22}y_1(x_{31} + x_{22}) + x_{22}y_3(x_{11} - x_{12}) = 0$. Incidentalmente, il numero di condizioni poste dal teorema 7 (Georgescu-Roegen 1966, pp. 326, 336) può essere ulteriormente ridotto di un'unità; se il minore di terzo ordine - nel caso precedente $|X|$ - è positivo, deve esserlo anche il minore di secondo ordine.

ha una soluzione $\lambda > 0$ per ogni $z > \pi 0$. Quindi $\Omega \subseteq \Gamma$, dove Q è il quadrante non negativo e Γ è il cono convesso determinato da (P_1) , (P_2) e (P_3) . A meno che $X = I$, deve esserci un w tale che $w \in \Gamma$ e $w \notin Q$. Niente garantisce che questo non sia il caso di y . Come semplice esempio:

$$X = \begin{vmatrix} 4 & -2 & -3 \\ -1 & +1 & 0 \\ -1 & -2 & 5 \end{vmatrix}.$$

7.

Bioeconomia ed etica*

La prima analisi del modo con cui le persone interagiscono nell'ambito dello scambio economico non si trova nell'*Economico* di Senofonte, né negli *Oeconomica* di Aristotele, in gran parte apocrifo, ma nell'*Etica Nicomachea* di Aristotele. Lo scopo di Aristotele era quello di mostrare come la giustizia poteva essere rispettata all'interno dello scambio. Il suo principio del giusto scambio è stato successivamente ripreso e perpetuato nei secoli dall'etica cristiana, secondo la quale lo scambio non doveva divenire occasione per nuocere al prossimo. L'economia politica conservò questa prospettiva per secoli. Fu essenzialmente con l'illuminismo che si cominciò a interpretare le attività economiche a partire dai concetti di piacere e di *self-interest*. In questo modo l'economia è stata trasformata in una disciplina mercantilistica, la cui principale preoccupazione è rimasta, da allora, confinata nell'ambito del mercato. Inevitabilmente, anche l'etica socratica tradizionale, secondo la quale gli uomini sono potenzialmente in grado di distinguere dialetticamente tra il «bene» e il «male» è stata posta in discussione. Secondo la nuova concezione, il «dovere» doveva essere definito o dall'intelletto (cioè dal potere intellettuale dell'uomo che l'illuminismo mise in primo piano) oppure andava del tutto abbandonato. Caduta questa barriera l'etica divenne campo aperto alle più libere e contraddittorie interpretazioni. Abbiamo così un'etica naturalista, una antinaturalista, una oggettivista, una soggettivista,

* [Testo presentato in occasione del III Congresso mondiale di economia sociale (Fresno, California, 17-20 agosto 1983), e tratto dal dattiloscritto conservato presso la Duke University, Special Collections Library, North Carolina].

una pragmatista, una esistenzialista, solo per elencare quelle sostenute con maggiore enfasi. Tuttavia, a causa della profonda separazione tra etica ed economia politica, queste diverse tradizioni non hanno influito affatto sul pensiero economico. Sporadiche voci di protesta – come quella di Thomas Carlyle –, furono soffocate dai clamori del mercato, altre, come quella di Karl Marx, che pure costituì un potente richiamo, non riuscirono a scalfire l'ortodossia economica. Effettivamente, l'economia diventò sempre più una disciplina an-etica, come dimostra la negazione categorica di qualsiasi confronto interpersonale dell'utilità – così come della felicità o della sofferenza.

Praticamente tutte le proteste si concentrarono sulla riduzione del processo economico alla vita di Robinson Crusoe. Ma sarebbe stato più incisivo opporsi alla natura an-etica dell'economia ortodossa.

E vero che Robinson Crusoe non ha bisogno di alcuna regola etica; egli non sarebbe nemmeno in grado di capire di che cosa l'etica tratta. L'etica è un problema che sorse solo con l'avvento della società, cioè dopo la dissoluzione della famiglia o del clan di appartenenza verso forme di produzione e distribuzione socialmente organizzate. Ed è vero che un modo di esistere socialmente organizzato può funzionare assai bene senza alcun comandamento etico. La prova lampante ci è offerta dalla vita delle formiche, delle api e delle termiti. Ragionare sul motivo per cui essa dovrebbe essere, sotto questo profilo, diversa dalla nostra può rappresentare un aspetto illuminante della crisi – ma sarebbe più appropriato dire del conflitto biologico – entro cui la specie umana si dibatte, alimentato da una tecnocrazia arrogante e irresponsabile.

La risposta a questa domanda è che questi insetti hanno sviluppato una vita sociale attraverso l'evoluzione biologica, cioè per mutazione dei loro organi endosomatici. Il risultato è che, dalla nascita, ogni individuo è destinato a uno speciale ruolo sociale, l'unico entro il quale egli desidera agire. Noi possiamo presumere che è il «piacere», e non l'obbligo esterno, a spingere le api a difendere l'alveare mettendo a rischio la propria vita, anche se non possono esserne consapevoli, come siamo noi in simili situazioni. Gli esseri umani sono arrivati a vivere in società attraverso un percorso completamente differente, cioè per evoluzione esosomatica.

Tutte le specie, compresa la nostra, sono soggette all'evoluzione «endosomatica»: attraverso di essa gli organi si trasformano rendendo la vita degli individui più facile (anche se non in tutti i casi). Molte specie, non solo la nostra, usano organi esosomatici, organi che non appartengono ai corpi individuali: per esempio, usiamo i coltelli per tagliare la carne, piuttosto che i nostri denti o le nostre unghie. Così i castori costruiscono dighe, alcuni gorilla e scimmie usano pietre e clave, gli uccelli costruiscono nidi utilizzando foglie e ramoscelli. Ma solo la specie umana ha raggiunto lo stadio in cui costruisce strumenti per costruire strumenti che a loro volta vengono utilizzati per costruire altri strumenti, come Joseph Schumpeter descrisse l'attività di produzione basata sull'uso di capitale.

Grazie esclusivamente alla nostra evoluzione esosomatica, siamo oggi in grado non solo di fare la maggior parte delle cose molto meglio «con» che «senza» organi esosomatici – possiamo tagliare meglio con i coltelli che con le nostre unghie ecc. – ma possiamo anche fare molte cose che non potremmo fare con i nostri soli organi endosomatici. Possiamo volare fino alla luna e vedere cosa sta accadendo in quel momento dall'altra parte della terra. Ma questo miracoloso sviluppo non è stato solamente una benedizione. La produzione socialmente organizzata ha portato la divisione dei ruoli sociali e i suoi effetti collaterali: il conflitto sociale tra la nuova classe – la classe che pianifica, organizza, supervisiona e controlla la produzione – e coloro che partecipano semplicemente a quel processo. In altre parole il conflitto tra «chi governa» e «chi è governato». Comunque, un problema di gran lunga più grave riguarda la nostra irriducibile dipendenza da quelle speciali risorse che sono cruciali per la produzione degli organi esosomatici. Queste risorse comprendono non solo l'energia – come pensano i neofiti in questo campo – ma anche un ampio spettro di materiali. È difficile pensare che la specie umana possa ritornare a uno stadio primitivo di vita, nel quale le risorse minerali, provenienti dalle viscere della terra, erano ancora intatte. Ciò che distingue un processo di evoluzione da un processo meccanico è l'irreversibilità del primo rispetto alla reversibilità del secondo.

In questo senso l'attività economica rappresenta un'estensione dell'attività biologica. Gli organi prodotti sono utilizzati e si diffondono per sostenere un nuovo stile di vita. Da questo punto di vista,

l'economia è essenzialmente «bioeconomia», poiché coinvolge l'evoluzione e l'esistenza dell'uomo come specie, non come individuo teso alla sola massimizzazione del profitto.

Anche una lettura superficiale della storia è sufficiente per mettere in evidenza la lotta bioeconomica ingaggiata dalla nostra specie nei confronti della natura avara. Gli uomini si sono spostati da un continente all'altro a causa dell'esaurirsi, dopo secoli di utilizzo, di risorse locali di ogni genere. Questo tipo di lotta li ha spinti a inventare nuove tecnologie, così numerose che, forse, una vita intera non basterebbe per elencarle tutte. Esse sono il grande orgoglio del nostro intelletto.

Eppure, in mezzo a tutte queste innovazioni tecnologiche, solo due hanno costituito fondamentali mutazioni bioeconomiche: primo, il controllo del fuoco, e secondo, la macchina a vapore. Le definisco innovazioni prometeiche perché la macchina a vapore presenta la stessa proprietà del fuoco: entrambi sono autosostenibili, fino a quando è disponibile il combustibile che li alimenta. Entrambi conducono anche al rapido esaurimento delle proprie basi energetiche. Il fuoco ha causato il massiccio disboscamento che, alla fine del XVII secolo, ha portato alla crisi di questa tecnologia. Fu una crisi del tutto analoga a quella della tecnologia attuale, che si basa sulla conversione del calore in potenza motrice. Adesso, proprio come nel XVII secolo, le risorse che alimentano l'odierna tecnologia – le riserve dei combustibili fossili – stanno rapidamente avviandosi verso il loro totale esaurimento.

Il problema per l'umanità è «se e quando» Prometeo III arriverà a risolvere l'attuale crisi bioeconomica, proprio come Prometeo II (in realtà due semplici mortali) ha a suo tempo risolto la precedente. Attualmente nessuno può dare una risposta a questa domanda. È inutile continuare ad affermare che l'umanità continuerà a espandere le proprie magnificenze bioeconomiche come ha fatto dai tempi di Pericle. Ripetere il ritornello «qualsiasi cosa accada, troveremo una soluzione» è una misera strategia per ottenere applausi. Ancora più facile è proclamare che entro il 2000 l'energia sarà libera come l'aria, e suscita applausi ancora più forti. Purtroppo chiunque protesti contro queste azzardate previsioni, probabilmente subirà lo stesso destino della guardia nell'*Antigone* di Sofocle: si preferisce non ascoltarlo, poiché «il messaggero di cattive notizie non piace a nessuno».

Ma le notizie che io porto sono cattive solo perché noi siamo determinati a renderle tali. Attualmente non si profila all'orizzonte nessun chiaro segnale dell'approssimarsi di un dono prometeico. I rischi legati all'uso dell'energia nucleare, in special modo dei reattori autofertilizzanti, sono ancora indeterminati. Non si profila alcun segnale di poter controllare la reazione termonucleare. L'energia solare, anche se venduta con profitto da uomini d'affari e da ricercatori di tutte le risme, non è ancora autosostenibile.

Indubbiamente la situazione può cambiare da un giorno all'altro, proprio come è successo nel XVII secolo, quando anche i più grandi dell'epoca – Galileo, Huygens o Boyle – non ebbero la benché minima awisaglia dell'enorme cambiamento che sarebbe avvenuto di lì a breve. In questa situazione, noi abbiamo ovviamente bisogno di tempo, più tempo possibile per aumentare le probabilità che Prometeo III si manifesti con un nuovo dono, una nuova conversione autosostenibile dell'energia. Da questa strategia non può derivare alcun danno poiché, se Prometeo III non arriverà, il tempo così guadagnato permetterà all'umanità di avvicinarsi a un tipo di tecnologia più soft – un'altra età del legno – senza le inimmaginabili catastrofi che altrimenti certamente accadrebbero.

La conclusione è che oggi siamo posti di fronte a una nuova etica, un'etica che non lascia spazio a idee mirabolanti. Fondata sul fattore più importante per l'esistenza della specie umana (come specie esosomatica irreversibile), la nuova etica non ha bisogno di essere legittimata da nessun'altra ragione.

La strategia del «guadagnare più tempo possibile») implica una conservazione delle risorse in via di esaurimento la più severa possibile. A sua volta questa politica comporta due azioni parallele. *Primo*, dobbiamo eliminare il degrado entropico prodotto da ogni tipo di armamento. E completamente ipocrita dichiarare ai quattro venti che nessuno vuol fare la guerra, mentre dietro casa si continuano a produrre armamenti. Sicuramente, dobbiamo sbarazzarci anche di quella malattia delle nostre menti che ci fa desiderare oggetti stravaganti, «sempre più grandi e migliori». Dovrebbero essere gradualmente abbandonate anche alcune comodità. Questi comandamenti interessano non solo le grandi potenze o i paesi dell'abbondanza; l'eccessivo lusso cresce dappertutto. Secondo, le popolazioni che oggi crescono a tassi eccessivi devono adottare una

politica di contenimento senza ulteriori ritardi, poiché anche l'adozione di un tasso di natalità di semplice «rimpiazzo» non arresterebbe la crescita numerica. Senza questa seconda politica, non potrà esserci nessuna soluzione al problema delle ineguaglianze esosomatiche, l'eliminazione delle quali deve rappresentare l'obiettivo fondamentale anche per una politica di tutela ambientale.

Non voglio tuttavia ignorare l'immensa difficoltà propria di questa politica di tutela ambientale. Confido che i fondamenti di essa sembreranno del tutto ragionevoli a coloro che vorranno esaminare le mie argomentazioni. Tuttavia l'enorme ostacolo è dato dal fatto che questa politica di tutela ambientale non è un compito per certe popolazioni, non lo è per una sola nazione, né tantomeno per un gruppo di paesi. Essa richiede l'impegno di tutta l'umanità, in altre parole implica una cooperazione profonda, al fine di eliminare tutti gli armamenti, i lussi e le differenze esosomatiche.

Per come la vedo io, siamo alle prese con una crisi energetica, non vi è dubbio su questo. Ma la crisi più grave è la crisi della saggezza. Il nome della nostra specie è *homo sapiens sapiens*. Può darsi che possediamo una conoscenza due volte più estesa dei nostri predecessori, ma non siamo sufficientemente saggi. E il nostro destino dipende molto più dalla saggezza che dalla conoscenza. Non dobbiamo dimenticare che, durante l'embargo del 1973-74, alcune persone che sapevano di non poter fare benzina prima della chiusura dei distributori, hanno usato le armi per arrivare ai distributori prima degli altri. Non dobbiamo evitare di chiederci: «Che cosa potrebbe decidere una grande potenza, armata di testate nucleari, se arrivasse il tempo in cui non ci fosse più energia sufficiente per mantenere operativo il suo sistema esosomatico?»

Con Aristotele, l'economia sorse dall'etica. Ora le carte sembrano capovolte: una nuova etica emerge dalla bioeconomia e il suo comandamento è: «Ama la tua specie come te stesso». Naturalmente molti vorrebbero impedirmi di andare avanti su questa strada, perché, dicono, sono un utopista. Su questo punto mi dichiaro «reo confesso» con grande orgoglio. Non conosco infatti teorie importanti per l'umanità che non siano state, almeno per una volta, considerate utopistiche.

In questi tempi ci troviamo di fronte a un'infinità di istituzioni impegnate, con l'aiuto dei computer o meno, a vagliare in lungo e

in largo i vari aspetti della crisi bioeconomica – o della crisi energetica, come loro la definiscono. Non dobbiamo attenderci nulla da questo impegno ora in voga che possa risolvere o anche solo attenuare la crisi in modo significativo. Solo una sostenuta e forte campagna di diffusione dell'urgenza di una nuova etica potrebbe essere di aiuto. Spostiamoci allora da una ecologia «da salotto» a una ecologia militante, che tenti di raggiungere il centro nevralgico della saggezza, invece di indulgere in infinite previsioni sullo stato del mondo al 1990, al 2000 oppure al 2300. Quando, nel 1980, fui invitato a esprimere di fronte a una Commissione presidenziale la mia certamente poco apprezzata opinione su ciò che la commissione stessa doveva fare per gli anni ottanta, dissi che, per prima cosa, essi non avrebbero dovuto perdere di vista il fatto che il mondo non sarebbe certamente finito col 1990.

8.

Ricette fattibili contro tecnologie vitali*

1. Introduzione: *la rottura di una simmetria*

[...] Non vi farò perdere tempo con le previsioni della domanda e dell'offerta di petrolio e degli altri combustibili fossili nel 1990, nel 2000 o in qualsiasi altro anno futuro, né con l'elasticità della domanda e dell'offerta di petrolio o di altri combustibili fossili, calcolate grazie a un nuovo modello econometrico. Queste informazioni le potete trovare in uno degli innumerevoli libri di cui straripano le biblioteche accademiche. Vi propongo invece una nuova rappresentazione del processo produttivo – e cioè una nuova funzione di produzione – che permetta non solo di capire la vera natura della crisi attuale, ma anche i suoi possibili sviluppi futuri.

Forse sarete sorpresi dalle mie intenzioni, e vi chiederete quale nuova idea possa essere aggiunta alla rappresentazione analitica del processo di produzione ormai consolidata. Non è forse vero che il concetto di produzione deriva in modo chiaro e netto dalle scienze naturali, cui spetta l'ultima parola in materia di trasformazioni fisico-chimiche? Esattamente così la pensano gli economisti, sin dagli albori della scienza economica, da loro intesa come una scienza quantitativa. Ma la rottura di questa simmetria – per usare un'espressione di moda nella fisica moderna – ha cambiato l'evoluzione del pensiero economico.

* [Discorso inaugurale tenuto alla XVI Atlantic Economic Conference, 6-9 ottobre 1983, a Philadelphia, poi pubblicato in «Atlantic Economic Journal», XII (1984), 1]

Nella storia dei conflitti interni alla professione economica, il principale pomo della discordia è sempre stato se le azioni dei singoli individui possono essere *adeguatamente* descritte da funzioni matematiche. L'idea era che le funzioni matematiche permettono di prevedere i comportamenti economici individuali e collettivi anche in un futuro non troppo prossimo.¹

Un breve excursus nella storia del pensiero economico (forse dovrei dire dei «pensieri», al plurale) mostra chiaramente che il modo di vedere la natura e il suo ruolo nel processo economico ha diviso gli economisti in due fazioni tra loro ostili. Quando l'economia analitica è divenuta dominante, si è levata alta la protesta contro l'economia ridotta a «meccanismo di piacere e di pena», che rifiuta di riconoscere la natura dell'individuo come agente sociale. *Dismal science* («scienza triste») fu la folgorante descrizione, divenuta famosa, che ne diede Thomas Carlyle; un'altra, meno famosa, fu *pig philosophy* («filosofia del maiale»: Carlyle 1899). John Ruskin ha rincarato la dose, affermando: «La scienza dell'economia politica è un imbroglio [...] la malattia più stupida, indicibile e paralizzante che abbia finora colpito la mente umana» (*Works*, XVII). La definizione più equilibrata è tuttavia quella fornita ancor prima dallo storico Thomas Arnold, che parla di sforzo «strabico» (Stanley 1846, p. 66). Gli economisti standard (Coats 1964, per esempio) si sono in realtà rifiutati di riconoscere che il valore economico va oltre il meccanismo del mercato.

La disputa se l'economia debba essere considerata «una scienza che si occupa dell'uomo nella società» (come ha sostenuto K. William Kapp), o «una scienza della vita* (come immagina Herman Daly), o piuttosto «un sistema per definire l'utilità e l'autointeresse» dell'individuo atomizzato (come proclamava Stanley Jevons), ha recentemente perso la violenza dei suoi toni polemici. Fin dagli inizi tuttavia la controversia si è incentrata sull'uso della matema-

¹ In questo contesto, è utile richiamare un punto generalmente ignorato. Le uniche funzioni che permettono di prevedere il futuro sono quelle analitiche, che sono funzioni speciali con una struttura armoniosa paragonabile a quella degli organismi viventi. Come un organismo può essere ricostruito a partire dalla conoscenza di una vertebra, così una funzione analitica può essere estrolata (prolungata) anche conoscendone i valori solo per un intervallo breve quanto si vuole (Georgescu-Roegen 1966, p. 123).

tica.² Ancor prima che Adam Smith conquistasse il cuore degli economisti britannici, Edmund Burke aveva affermato, con una buona dose di preveggenza: «La superiorità della matematica e della metafisica è di metterti davanti una cosa alla volta; ma solo chi riesce a fare il maggior numero di considerazioni, e della massima varietà, riesce a esprimere il miglior giudizio in qualsiasi disputa morale». Francis Y. Edgeworth usò questa citazione (Pigou 1925, p. 66) per descrivere l'opposizione di Alfred Marshall alla teorizzazione astratta e ingiustificata degli affari umani. Vale la pena di ricordare il giudizio di Marshall secondo cui le *Lectures* di Jevons sarebbero state migliori senza la matematica, purché i grafici fossero mantenuti (Pigou 1925, p. 99). Con il senno di poi, si può dire che il sogno di Marshall era arrivare a una mediazione equilibrata tra le due scuole. Ma alla fine gli economisti standard divorziarono da Marshall: come ha detto Schumpeter (1951, p. 92), «la visione del processo economico, i metodi e i risultati di Marshall, sono ormai lontani dai nostri».

Il riduzionismo matematico ha dunque prevalso, nonostante molte grandi menti continuassero a remare contro - Thorstein Veblen, Clarence Ayres, Friederich von Hayek e Gunnar Myrdal, per nominare solo quelli che lo hanno fatto con maggior successo nei tempi nostri.³ Tuttavia, i vincitori non si sentivano del tutto sicuri, e proprio per questo si sono impegnati oltre misura a difendere il loro credo nella possibilità di rappresentare matematicamente il comportamento economico degli agenti. La teoria dell'utilità è così diventata il capitolo più sviluppato dell'economia standard (sebbene con alcuni buchi del tutto insospettati). Così il bisogno di sottoporre anche il processo di produzione a ulteriori analisi è del tutto

² Alla scienza economica, costruita in modo da includere le coordinate sociali aventi un fondamento economico, è stato a volte rimproverato di affidarsi all'introspezione, di pensare che non tutti i fenomeni rilevanti siano necessariamente riproducibili e che non tutte le leggi scientifiche possano essere espresse da una matrice matematica. Non è questo il luogo per spiegare perché questi rimproveri non hanno ragione di esistere. Cfr. in merito Georgescu-Roegen 1966, parte I; 1979.

³ Una cortina colpevole di silenzio è caduta spesso su chi in passato ha dissentito. Neanche nei sedici volumi della *International Encyclopedia of the Social Sciences*, si trova traccia di Carlyle o di Ruskin, e neppure di Richard Jones, autore dello splendido volume *Essay on the Distribution of Wealth and on the Sources of Taxation*, del 1831, che ebbe grande influenza sul giovane Alfred Marshall.

scomparso. Le leggi naturali della chimica e della fisica, non sono forse espresse in termini matematici?

2. La funzione di produzione e la rappresentazione analitica di un processo

Ecco come si è rotta la simmetria tra la rappresentazione dell'utilità e quella del processo di produzione - espresse entrambe da una funzione di Dirichlet. In contrasto con la letteratura sterminata che si occupa della funzione di utilità, $U = U(x, y, \dots, z)$, la funzione di produzione non è stata più oggetto di analisi teorica sin da quando Philip H. Wicksteed (1894) la introdusse cento anni fa circa, con questa abile tautologia: «Poiché la produzione è funzione dei fattori di produzione, $P = f(a, b, c, \dots)$ ».

Questa formulazione disinvoltata della funzione di produzione è l'unica che si trova sia nei libri di testo di economia sia nella letteratura specialistica.⁴ Recentemente, anche questa definizione è stata ridimensionata, dicendo che «l'output è funzione degli input», cosicché la sua spiegazione è affidata ora all'etimologia anziché alla fenomenologia. Alcuni teorici dell'economia, più prudentemente, hanno cercato di chiarire almeno la natura dimensionale delle variabili coinvolte. Secondo alcuni di loro, la funzione di produzione

$$q = f(x, y, \dots, z) \quad [1]$$

esprime i saggi di flusso nel tempo; secondo altri,

$$Q = F(X, Y, \dots, Z) \quad [2]$$

esprime quantità senza tempo.⁵ Ragnar Frisch (1965, p. 43) ha usato entrambe le formulazioni nello stesso contesto, e questo è un sintomo molto significativo della convinzione degli economisti secondo cui la parola «funzione» è la chiave di lettura della proposizione di Wicksteed.

Anni fa è capitato anche a me di dover verificare se le due formule fossero equivalenti e, in caso negativo, quale delle due fosse

⁴ Per un campione rappresentativo, cfr. i dati pubblicati nella mia Richard Veblen Lecture, ripubblicata in Georgescu-Roegen 1976a.

⁵ I dati su questi due approcci si trovano in Georgescu-Roegen 1976a, pp. 61-62 (nelle note).

la rappresentazione analitica valida. Se infatti fossero equivalenti, si potrebbe passare dall'una all'altra con pure operazioni logiche. Il risultato delle mie ricerche fu che esse non sono equivalenti se non sotto l'assunzione assurda che i processi di produzione sono indifferenti alla dimensione di scala (Georgescu-Roegen 1976a, capp. 4, 5 e 10). Ma questo non dice se almeno una delle due esprime adeguatamente il processo di produzione.⁶ Il problema resta dunque quello di capire *ce* e come il processo di produzione può essere rappresentato analiticamente.

«Processo» è il termine più abusato nella letteratura scientifica. Si può cercare finché si vuole, ma difficilmente si troverà una definizione della parola «processo» in letteratura. Poiché è difficile distinguere tra processo e cambiamento, e dato che quest'ultimo è un concetto fondamentale della realtà, la parola processo è sempre stata usata nella convinzione che non avesse bisogno di alcuna precisazione. Non aiuta neanche la letteratura filosofica.⁷ Indubbiamente, nessun altro concetto è così carico di complicazioni epistemologiche, tanto da non poterne parlare senza coinvolgere la nozione ancora più complessa di «cambiamento». Da quando Eraclito - «il tenebroso,» - sconcertò i suoi contemporanei insegnando loro che «non si può nuotare due volte nella stessa acqua», l'opposizione analitica irriducibile tra *essere* e *divenire* ha continuato a tormentare la mente di ogni grande filosofo.

Tuttavia la scienza è costretta ad accettare il dualismo analitico, riconoscendo sia l'essere che il divenire: l'acqua per esempio si trasforma in ghiaccio. La scienza si occupa solo in minima parte del divenire, e lo fa attraverso un processo particolare. Per parlare di questo processo, bisogna innanzitutto definirne la frontiera sia ri-

⁶ Un esempio chiarirà le questioni. L'oggetto X è definito da A come un quadrilatero i cui lati opposti sono eguali. Lo stesso oggetto è definito da B come un quadrilatero simmetrico in diagonale. Ovviamente le due definizioni non sono equivalenti: la prima definisce un parallelogramma; la seconda, ha la forma di un aquilone. Sarebbero equivalenti se e soltanto se tutti gli oggetti X fossero romboidali. Inoltre, poiché le definizioni non sono equivalenti, al massimo una delle due definisce X correttamente (come quando, per esempio, X è un parallelogramma). Ma se X è un quadrato, nessuna definizione la esprime.

⁷ Neppure Alfred North Whitehead, l'autore del grande testo filosofico *Process and Reality*, ha fornito una definizione di «processo» utilizzabile dalla scienza. Ha però sostenuto che «il principio che definisce un processo» è che l'essere faccia parte del suo divenire (Whitehead 1960, pp. 34-35), e che un processo è - per esempio - «un lato fondamentale della nostra esperienza» (Whitehead 1958, p. 73).

petto al tempo sia rispetto alle entità di ogni tipo che vi partecipano. Analiticamente: *non vi è alcun processo senza una frontiera*. Inoltre, la frontiera deve essere aperta per ipotesi, altrimenti invece di avere un processo parziale, con il suo ambiente che è anch'esso un processo parziale, si avrebbe un terzo processo - quello che si realizza all'interno della frontiera. Oltre a questa complicazione, ciò comporterebbe una regressione senza fine, con nuove frontiere in mezzo alle precedenti.⁸ Grazie a una frontiera aperta, è sempre possibile sapere se per esempio l'automobile A al tempo t faceva parte del processo P o del suo ambiente.

Ma la frontiera identifica semplicemente il processo. Non ci dice niente circa un aspetto fondamentale, precisamente cosa accade all'interno del processo. È noto che dentro la frontiera qualcosa si muove continuamente. Ma identificare questi eventi implica adottare un punto di vista dialettico. L'analisi richiede che si faccia un ulteriore passo eroico, e cioè che si ignorino le conseguenze *immediate* del processo. Una volta identificato un processo mediante una frontiera, implicitamente abbiamo rinunciato a osservare quel che accade all'interno della frontiera. Quel che il processo fa, può dunque essere descritto solo attraverso quel che accade sulla frontiera. Per sapere quel che succede al suo *interno*, non abbiamo altro modo che tracciare altri confini che dividono il processo iniziale in molti altri processi (Georgescu-Roegen 1979, cap. *la*).

La rappresentazione analitica di ciò che si compie all'interno di un processo è dunque ridotta a quel che accade lungo la sua frontiera, e ciò può comprendere solo i fattori che la attraversano in una direzione o nell'altra. Immaginarsi funzionari di dogana riferiranno in quale quantità ciascun fattore ha attraversato la frontiera lino al tempo t , con $0 < t < T$, dove T è la durata del processo che per definizione inizia al tempo $t = 0$. La descrizione analitica completa di un processo (non necessariamente di un processo di produzione) è dunque il vettore delle *funzioni*,

$$E_{I_0}^T(t); \quad I_{I_0}^T(t), \quad [3]$$

⁸ Il punto richiama il ragionamento erroneo secondo cui tra «la preferenza» e «la non-preferenza» debba *per forza* esserci «l'indifferenza». In base alla stessa logica, dovrebbe esserci un altro stato mentale intermedio tra «l'indifferenza» e «la preferenza», e così di seguito *ad infinitum*.

e non un vettore di numeri, come nella rappresentazione standard. Le funzioni E , e I , sono definite nell'intervallo $[0, T]$ e rappresentano le transazioni di «esportazione» (output) e le «importazioni» (input) del fattore *iesimo*. Per convenzione, le coordinate dell'input hanno sempre il segno meno.⁹

Secondo l'equazione [3], la descrizione analitica di un processo richiede solo di conoscere i flussi. dove per flusso si intende in questo caso qualsiasi entità materiale che attraversa la frontiera in una direzione o nell'altra. Potremmo pertanto dire, come sopra, se non c'è *frontiera*, non c'è *flusso* (in quel senso). Il complesso del flusso degli economisti standard (cfr. su questo Georgescu-Roegen 1966, pp. 55, 85) sarebbe pertanto giustificato. Ma la struttura del processo di produzione ha ulteriori aspetti caratteristici.

Per cominciare, la terra in senso ricardiano (come semplice superficie territoriale) entra in ogni processo economico e ne esce senza aver subito alcuna alterazione, di qualsivoglia natura. Lo stesso vale per i catalizzatori. Gli altri input, pur uscendo trasformati dal processo, possono essere riconosciuti in quanto tali. Per esempio, è questo il caso di una spada, che entra nel processo affilata e ne esce spuntata, ma è ancora riconoscibile come spada.

Ora, per arrivare a una rappresentazione adeguata alle esigenze dell'analisi economica, dobbiamo introdurre una nuova ipotesi eroica circa il processo di produzione. Nello specifico, dobbiamo ipotizzare un processo nel quale lavoro e materiali vengono continuamente impiegati per mantenere in uno stato di efficienza costante gli oggetti normalmente logorati durante il processo. La spada del precedente esempio, dunque, uscirà dal processo affilata e con un manico nello stesso stato in cui era entrata nel processo. L'assunzione è eroica, ma non troppo distante dalla realtà. In ogni impresa, in ogni famiglia, una parte sostanziale del tempo di lavoro e dei materiali è costantemente impiegata nella manutenzione degli edifici, dei macchinari e dei beni durevoli in uno stato efficiente di funzionamento.¹⁰

⁹ La convenzione è giustificata dal fatto che quando due processi sono *consolidati*, come quando si elimina la frontiera, le transazioni interne al processo scompaiono dalla forma consolidata da [?]. Gli input e gli output sono cancellati dalla semplice aggiunta delle coordinate iniziali.

¹⁰ A questo punto, l'idea di mantenere il capitale costante P un artificio analitico a tutto tondo. È stato proprio Karl Marx ad accennare a questo, in una sezione del Capitale sorprendentemente incoerente (1959, vol. II, pp. 171-76), come *premessa* al suo *diagramma* della riproduzione semplice.

L'insidia insita in questa ipotesi è un'altra. Per mantenere un certo capitale fisso in condizioni costanti, c'è bisogno di altri quantitativi dello stesso capitale, che hanno ancora bisogno di altri ammontari dello stesso tipo... e così di seguito. Il processo, per essere mantenuto, dovrebbe essere esteso fino a comprendere quasi tutto il settore di produzione del processo economico. Se trascuriamo questo problema, nel processo ipotizzato il capitale fisso presenta le stesse proprietà della terra ricardiana. Assumendoci un'altra licenza analitica, possiamo affermare che anche i lavoratori appartengono alla stessa categoria. Certo quando un lavoratore esce dal processo, è sicuramente stanco. Ma il giorno dopo, quando ritorna al lavoro, è di nuovo riposato essendosi ricostituito in seno alla famiglia.

Inserire (come ho appena fatto) la terra ricardiana, il macchinario e la forza lavoro nella stessa categoria analitica, ha il grande vantaggio di considerare tutti questi elementi agenti di produzione - i fattori di produzione, nell'interpretazione restrittiva della scuola classica. Per le loro proprietà specifiche, propongo di chiamarli fondi (Georgescu-Roegen 1971a, pp. 224-30; 1976a, capp. 2, 4 e 5).¹¹

Tutti gli altri fattori o attraversano la frontiera dall'esterno e non ne escono più, oppure l'attraversano provenendo dall'interno senza tuttavia essere mai entrati nel processo. Se consideriamo il processo di panificazione, la farina e la legna da ardere sono fattori del primo tipo; il pane e la cenere (residui), del secondo tipo. Questi fattori sono *definiti fattori di flusso* (un'espressione che non dovrebbe essere confusa con il termine «flusso» usato prima da solo).¹²

Il successivo concetto analitico forte è quello di processo *elementare*, che è il processo definito da una frontiera tale da permettere la produzione di una sola unità o di un insieme della stessa unità. L'illustrazione più chiara è la sequenza delle operazioni necessarie per produrre e assemblare un'automobile.

¹¹ Al tempo in cui lavoravo alla messa a punto di questa posizione, ho usato l'espressione «fattori-stock» (*stock-factor*) anziché «fattori-fondo» (*fund-factor*) (Georgescu-Roegen 1966, p. 399). È stata una scelta terminologica infelice, perché un fondo è uno stock speciale - uno stock che è attivo nel processo ma che è mantenuto quantitativamente e qualitativamente costante. «Stock» dovrebbe essere usato invece solo per indicare un quantum che può essere aumentato o diminuito dai flussi. Nonostante il mio successivo chiarimento (Georgescu-Roegen 1971a, pp. 226-27), la differenza essenziale tra «fondo» e «stock» non è stata sempre afferrata.

¹² Non tutti gli elementi del capitale sono fondi, non lo sono per esempio né i bossoli delle cartucce né i missili spaziali. Nel processo della guerra, *horresco referens*, l'elemento umano è in parte un fattore di flusso.

Ne deriva una serie di conseguenze importanti, che possono essere richiamate solo brevemente. Un punto che non deve sfuggire alla nostra attenzione è che, a causa della natura degli oggetti, nel corso di ogni processo elementare alcuni fondi restano necessariamente inattivi, e questo apre il problema dell'inattività del capitale. Tutti i tipi di processo di produzione sono composti da processi elementari.

Esistono tre configurazioni tipiche di processi elementari. Il processo individuale P può essere organizzato (1) in serie (fig. 8.1a), (2) in parallelo (fig. 8.1b), o (3) per linee (fig. 8.1c). La disposizione in serie rappresenta la situazione dell'artigiano che lavora da solo, poiché l'intensità della domanda non supera una sola unità nell'intervallo di tempo rappresentato dalla durata T . Essa esprime la convinzione di Adam Smith secondo cui l'estensione del mercato fa aumentare la divisione del lavoro. La disposizione in parallelo esplicita bene la realtà della vita agricola, con il suo inevitabile fardello di molteplici inattività imposte dai ritmi immodificabili del clima. La disposizione per linee è l'unica che elimina completamente le

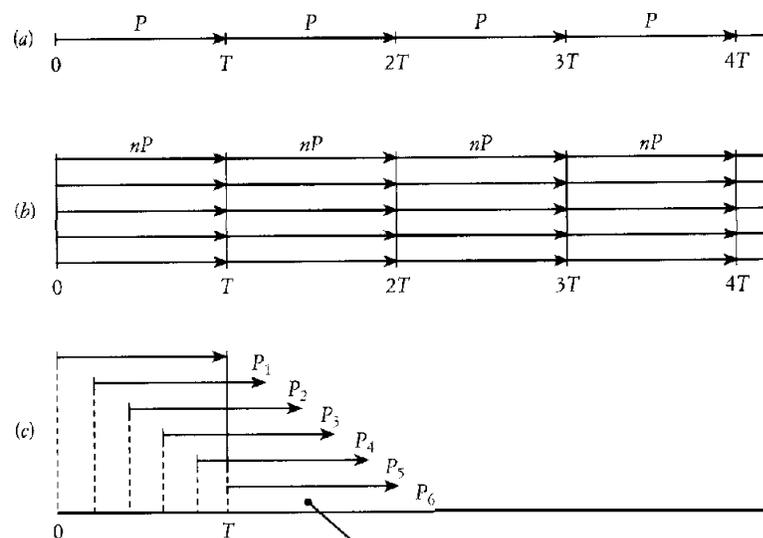


Figura 8.1
Configurazioni tipiche di processi elementari

inattività *tecniche*.¹³ Essa rappresenta il sistema di fabbrica che, insieme alla moneta, costituisce una delle due maggiori invenzioni economiche (e non tecniche!)

Nel caso dei processi organizzati per linee (e in modi adeguati), il flusso che si muove lungo il processo non dà luogo ad alcuno spreco di tempo tra un agente e l'altro. Gli agenti non restano dunque mai inattivi (Georgescu-Roegen 1971a, cap. 9; 1976a, capp. 4 e 5).¹⁴ Questa è la differenza essenziale tra il processo manifatturiero e quello agricolo. In agricoltura i processi elementari non possono essere avviati in qualsiasi momento dell'anno come normalmente si fa con le manifatture. Un'eccezione che conferma la regola è l'allevamento industriale dei polli, che ha preso il posto del precedente sistema di allevamento sull'aia e ha ridotto il costo dei polli proprio perché ha eliminato l'inattività del capitale. Naturalmente ci sono prodotti agricoli come il riso, per esempio, che possono essere prodotti in modo industriale, indipendentemente dalle variazioni climatiche (Georgescu-Roegen 1976a, pp. 68-67).

Tabella 8.1
Le rappresentazioni analitiche di un processo riproducibile.

Fattori	(A)	(B)
<i>Flussi</i>		
Flussi in entrata dalla natura	$-r$	$-R = rt$
Flussi in entrata da altri processi	i	$I = it$
Flussi in uscita di prodotti	$+q$	$+Q = qt$
Flussi in uscita di rifiuti	$+w$	$+W = wt$
<i>Fondi</i>		
Forza lavoro	H	$H = Ht$
Capitale di ogni tipo	K	$K = Kt$
Terra ricardiana	L	$L = Lt$

Se il processo industriale è riproducibile (se cioè è un processo stazionario o stabile), tutti i fattori attraversano la frontiera a saggi costanti nel tempo. Questi tassi, esplicitati nella colonna A della

¹³ L'inattività tecnica non deve essere confusa né con quella istituzionale (né con quella economica). Un esempio di inattività tecnica è quello degli impianti che lavorano su un solo turno nelle ventiquattro ore, per esempio.

¹⁴ Ulteriori importanti sviluppi di questo tema generale sono stati realizzati da Gordon C. Winston, specie nel suo libro del 1982, e da Roger R. Betancourt e Christopher K. Clague (1981).

tabella 8.1, non rivelano quel che il processo può avere effettivamente compiuto in un dato intervallo di tempo, t . Essi esprimono piuttosto quel che il processo può fare, primo, se i fondi sono al posto giusto e, secondo, se i flussi in entrata (*inflows*) sono presenti ai saggi necessari. Il prodotto del processo nell'intervallo di tempo t è espresso dalle coordinate della colonna B. Esse rappresentano tutte delle *quantità*, poiché i flussi sono ammontari fisici e i fondi esprimono gli ammontari dei servizi resi. E ciò porta all'osservazione che le coordinate K , H e L nella colonna A sono prive di tempo; misurano i saggi dei servizi rispetto al tempo." Il saggio temporale del servizio reso dal lavoro in un impianto che usa 100 lavoratori, è 100 lavoratori.

Per chiarire, la rappresentazione analitica di qualsiasi processo (sia che si tratti della costruzione del Golden Gate o della produzione industriale di un paio di scarpe) è espressa dalla formula [3]. Ma nel caso speciale (e solo in quel caso) di un processo stazionario?, l'equazione si trasforma nel vettore semplice della colonna B. E dunque solo in questo caso particolare che si può arrivare a una funzione di produzione della stessa forma di quella di Wicksteed.

La funzione di produzione può essere vista come un «elenco» analitico di tutte le ricette conosciute per produrre un dato prodotto (Samuelson 1948, p. 57). Immaginiamo che ciascuna delle ricette con cui si può produrre un certo prodotto con un dato processo industriale sia scritta su un cartoncino. Un esortato di auel dato settore industriale ha bisogno soltanto di guardare alle coordinate dei fondi per sapere quel che la fabbrica corrispondente può fare. Ciò significa che conosciamo la relazione:

$$q = F(H, K, L). \quad [4]$$

Inoltre, per la produzione gli agenti richiedono un preciso insieme di flussi di input. La loro natura tecnica determina anche il saggio di flusso dei rifiuti. Esiste pertanto un'altra funzione:

$$q = f(r, i; w), \quad [5]$$

¹⁵ K_i include il fondo specifico, che ho altrove definito «fondo-processo» (Georgescu-Roegen 1976, cap. 4). Include anche quelli che normalmente vengono chiamati «beni in *process*». Quest'ultima voce esprime *sostanzialmente* il ritratto statico del cambiamento *operato* dal processo, senza il quale il processo non si innesca; e ciò comporta un qualche ritardo.

che completa il quadro analitico di come il prodotto in questione può essere prodotto in fabbrica. La conclusione importante è che la funzione di produzione corretta esplicita la restrizione cui si riferisce Ragnar Frisch quando parla di *limitabilità*: non vi è sostituibilità tra fattori di flusso e fattori di fondo di qualità data (questo punto sarà ripreso successivamente)."

In definitiva, la descrizione analitica corretta di un processo stazionario è l'equazione [1], non la [2]. Naturalmente deve esserci qualche relazione del tipo della [4] e della [5] tra le quantità della colonna B. Poiché tuttavia queste quantità sono una funzione di t , e cioè non sono costanti rispetto al tempo, il tempo deve entrare come parametro nelle nuove formule. Pertanto, invece della [4], avremo:

$$Q = G(H, K, L; t). \quad [6]$$

E poiché, come Marx ha spiegato molto tempo fa (1959, vol. I, p. 202), se in due settimane un processo produce due volte di più che in una settimana, G è una funzione omogenea di primo grado. Pertanto, dalla [6], si ottiene

$$q = G(H, K, L; 1) = F(H, K, L). \quad [4a]$$

Un autore dopo l'altro ha affermato che F è una funzione omogenea, ma questo è un tragico errore. La funzione F mostra la scala del processo, e come abbiamo imparato da Aristotele, Leonardo da Vinci, Herbert Spencer e in tempi più recenti da Edward Chamberlin (1948, Appendice B), gli umani non possono operare alla scala delle formiche, né le formiche alla scala degli umani. Tuttavia, la funzione corrispondente alla [5]

$$Q = g(R, I; W) \quad [7]$$

è necessariamente omogenea di primo grado, poiché l'energia e gli altri materiali macroscopici non possono essere né creati né distrutti. Dunque, se raddoppiamo gli input di energia e di materia, così come gli output di rifiuti, allora anche l'ammontare della pro-

¹⁶ La formula [4] presuppone la misurabilità (almeno ordinale) di tutti i fondi. Se i fondi cambiano in senso qualitativo, il catalogo di tutte le ricette non permette di definire un sottospazio all'interno dello spazio fattoriale. Sostenere che un'automobile è equivalente a quattro motorini sulla base del prezzo, significa mettere il carro davanti ai buoi e pretendere che il carro possa ugualmente muoversi. Sul problema della qualità, cfr. Georgescu-Roegen 1976a, cap. 11.

duzione raddoppierà. Pertanto, dividendo per t tutta la [7], si ottiene la [5], che ora appare chiaramente una funzione omogenea di primo grado."

3. Rappresentazione analitica di un processo economico stazionario

A questo punto del discorso, non dovrebbero essere necessarie ulteriori giustificazioni per iniziare l'analisi dal caso dello stato stazionario, essendo questo il punto di riferimento indispensabile per qualsiasi altro processo. In realtà, vi sono questioni cruciali che non possono essere affrontate se non attraverso l'ipotesi dello stato stazionario. E evidente tuttavia che il processo stazionario qui considerato è un'astrazione analitica, un processo che non esiste nella realtà, dove tutto cambia continuamente.

Tabella 8.2
Relazione tra processo economico e ambiente.

Elementi	(P ₀)	(P ₁)	(P ₂)	(P ₃)	(P ₄)	(P ₅)
	<i>Coordinate flusso</i>					
CM	x ₀₀	*	-x ₀₂	-x ₀₃	*	
CE	-x ₁₀	x ₁₁	-x ₁₂	-x ₁₃	-x ₁₄	-x ₁₅
MK	-x ₂₀	-x ₂₁	x ₂₂	-x ₂₃	-x ₂₄	-x ₂₅
C	*			x ₃₃	*	-x ₃₅
RM	*	*	-x ₄₂	-x ₄₃	x ₄₄	
ES	*	-e ₁	*			*
MS	-M ₀					*
GJ	w ₀	w ₁	w ₂	w ₃	-w ₄	w ₅
DE	d ₀	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅
DM	s ₀	s ₁	s ₂	s ₃	s ₄	s ₅
R	r ₀	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅
	<i>Coordinate fondo</i>					
Capitale	K ₀	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅
Persone	0	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅
Terra ricardiana	L ₀	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅

¹⁷ «Se si raddoppiano gli input, raddoppia l'output» è il luogo comune dei libri di testo. Tuttavia questo principio vale solo se sono soddisfatte certe condizioni, come raddoppiare il tempo di produzione o tutti i flussi materiali (cfr. i casi richiamati sopra). Sulla questione della omogeneità, cfr. anche Samuelson 1984, p. 84.

Secondo la prospettiva generale adottata in questo paragrafo, il processo economico verrà separato dall'ambiente mediante una frontiera esterna e suddiviso in sei sottoprocessi attraverso frontiere interne. Il risultato si può vedere nella matrice della tabella 8.2.¹⁸ I sottoprocessi hanno i seguenti obiettivi:

- P, trasforma la materia *in situ*, MS, in materia controllata, CM;
- P, trasforma l'energia *in situ*, ES, in energia controllata, CE;
- P, provvede alla manutenzione del capitale, MK;
- P, produce beni di consumo, C;
- P₄ ricicla rifiuti (*garbojunk*), GJ;¹⁹
- P₅ provvede al sostentamento della popolazione, H.

Occorre ora fissare bene alcuni punti. Come già detto, l'energia e la materia, a livello macroscopico, non possono essere né create né distrutte. Esistono però in due stati essenzialmente distinti: disponibile, se possono essere utilizzate ai nostri fini; indisponibile, se non possono essere usate. Inoltre sia l'energia che la materia disponibile degradano continuamente e in modo irreversibile in stati indisponibili, secondo la classica legge dell'entropia, estesa fino a includervi la materia. Tutti i grandi fisici hanno sostenuto, non ultimo Albert Einstein (Schlipp 1970) che «questa legge non potrà mai essere superata». Ciononostante alcuni hanno tentato di sostenere il contrario, facendo affascinanti promesse di ottimismo. La vita sarebbe davvero meravigliosa se le automobili potessero camminare con l'energia derivante dalle emissioni e riciclare le molecole di gomma che si staccano dai pneumatici!

Ogni colonna della tabella 8.2 costituisce la rappresentazione analitica del processo corrispondente nella forma sviluppata prima nella tabella 8.1. Un semplice sguardo a questa seconda tabella rivela che il processo economico è entropico in tutte le sue fibre materiali. Dal punto di vista materiale, degrada l'energia ambien-

¹⁸ Questo modo di rappresentare analiticamente un multiprocesso è simile alla matrice input-output di Leontief, senza la nozione analiticamente incongruente di «flusso interno» (cfr. Georgescu-Roegen 1971a, cap. 9). È anche una descrizione del multiprocesso, più chiara del diagramma anfrattuosamente usato dagli ecologisti, dove i flussi sono indicati da frecce.

¹⁹ La materia dissipata dall'uso è in uno stato indisponibile, e cioè non può più essere riciclata. Noi possiamo riciclare solo la materia disponibile, che esiste in una forma per noi ormai inutile, come vetri rotti, carta usata, motori esausti e simili, oggetti trovati nella spazzatura o tra le cose inutili. Cfr. anche la nota 21.

tale e la materia (e, e M, rispettivamente) in «scarti»: ²⁰ energia dissipata, DE; materia dissipata, DM; e rifiuti, R. I rifiuti sono l'output che, nonostante contengano energia e materia disponibile, per ragioni tecniche o economiche non trovano spazio nel processo economico (per esempio rifiuti nucleari o spezzoni di roccia provenienti da una miniera di carbone).

Il principio antropico generale non è solo quello che non si può usare due volte lo stesso ammontare di energia e di materia, ma che, in ogni processo, una parte dell'energia e della materia risulta necessariamente degradata. Questo giustifica l'inevitabile flusso in uscita di energia e di materia dissipata. Spiega anche un altro fatto importante: nella tabella 8.2, la ragione dell'esistenza del settore per la produzione di beni capitali, P,, è che il flusso x_{22} è necessario per il mantenimento dei fondi K_i .²¹ Allo stesso modo, i flussi x_{i5} sono necessari al mantenimento di tutta la popolazione, H_5 (che è maggiore di ΣH_i , $i < 5$).²²

4. Corollario conclusivo: il destino prometeico della nostra tecnologia

Attualmente le maggiori speranze di risolvere la crisi energetica che ci minaccia sono riposte nel progresso tecnologico. Apparente la soluzione alla crisi della nostra attuale febbre industriale può venire solo dalla tecnologia. Tuttavia sembra che non riusciamo a comprendere la natura del progresso tecnologico che può risolvere questa crisi. L'epitome di questa falsa convinzione è il filo rosso che lega molti papers presentati al Simposio sull'economia delle

²⁰ Indubbiamente il vero prodotto del processo economico non è il flusso di scarti, ma il flusso immateriale della gioia di vivere (Georgescu-Roegen 1966).

²¹ Per la relazione tra l'energia disponibile utilizzata e l'energia inutilizzabile che ne deriva, cfr. Georgescu-Roegen 1979a. Lo stesso articolo tratta della estensione della nota legge dell'entropia alla materia macroscopica – in termini tecnici, quella che io ho chiamato quarta legge della termodinamica. Questa legge, come la prima e la seconda, proclama l'impossibilità del moto perpetuo di terzo tipo, definito come un sistema che esegue un lavoro meccanico all'infinito, a un saggio costante, e che può scambiare con il suo ambiente solo l'energia. Un corollario è che non tutta la materia può essere riciclata.

²² Vorrei osservare, di sfuggita, che x_{22} e K_i sono due elementi economici differenti. K_i è, diciamo, un ponte; x_{22} rappresenta il flusso delle cose necessarie alla manutenzione del ponte. Come ha osservato Marx, non si può pescare in un lago privo di pesci, e, analogamente, nessuno può riuscire ad attraversare il fiume camminando sopra gli oggetti necessari alla sua manutenzione.

risorse non rinnovabili.²³ Essa rappresenta la posizione generale degli economisti standard, basata sulla stranota funzione di produzione Cobb-Douglas

$$Q = CK^a H^b R^c, \quad a + b + c = 1, \quad [8]$$

dove K indica il capitale, H il lavoro, e R le risorse naturali. L'ovvia conclusione algebrica è che, se si aumentano il capitale e il lavoro, il prodotto finale può aumentare anche con un incremento di risorse piccolo quanto si vuole. Dal punto di vista analitico (il solo condivisibile dall'economista matematico puro), questa posizione cozza con il principio dimostrato sopra, secondo cui flussi e fondi non sono sostituibili. Non è possibile tessere più tela con meno filo, anche se si aumenta il numero dei telai.

Altra cosa è guardare alla relazione [8] dialetticamente, cioè come espressione della verità generale secondo cui con fondi (capitale e forza lavoro qualificata) qualitativamente migliori è possibile ottenere una quantità maggiore di prodotti dalla stessa quantità di flussi-input (riducendo l'output di rifiuti): in questo caso il ragionamento quantitativo non vale. Diventa allora chiaro qual è la difficoltà: secondo le leggi note, per sottrarre alla natura i suoi tesori più preziosi (i combustibili fossili e persino le sorgenti idriche), devono essere usati strumenti di sempre più grandi dimensioni. Macchine più efficienti hanno bisogno di quantitativi maggiori di energia e di materia per completare il processo produttivo.²⁴ Un reattore term nucleare può essere grande come l'intera Manhattan.

Un approccio solido richiede alcune nuove nozioni elementari. Userò una matrice come quella della tabella 8.2, in cui ogni input necessario al processo è ricavato dalla natura, oppure è prodotto grazie a un processo fattibile (*feasible*), come una tecnologia. Chiameremo il processo (o ricetta) fattibile se al momento della discussione ne conosciamo le coordinate specifiche di flusso e di fondo. Cuocere il pane, trasmettere messaggi attraverso onde elettromagnetiche, fondere il minerale di ferro, sono tutte ricette fattibili. Ma controllare l'energia term nucleare o prevedere un terremoto, non sono ricette fattibili. Inoltre, nonostante tutti i processi inclusi in qualsiasi tecnologia debbano essere fattibili, non tutte le tecnologie sono *vitali* (*viable*).

²³ «Review of Economic Studies», 1974.

²⁴ Il computer sembra la sola eccezione alla regola citata

Per chiarire: una tecnologia è «vitale» quando e solo quando è in grado di mantenere la corrispondente struttura materiale e, necessariamente, la specie umana. Un'illustrazione istruttiva di ciò che intendiamo con «vitale» si può trovare nell'organismo vivente o nella specie biologica. Quel che pare necessario sottolineare è che ogni tecnologia vitale è sostenuta da qualche «carburante», da qualche risorsa naturale, ma nessuna tecnologia può creare il suo proprio «carburante».

Un esempio di tecnologia non vitale è il seguente. Immaginiamo una tecnologia in cui il capitale è costituito da un martello di pietra con il quale vengono costruiti altri martelli, utilizzando pietre liberamente disponibili. Lo stesso martello è usato anche per spaccare noci molto dure, che sono il solo cibo della popolazione di quel luogo. Se il martello non dura abbastanza per costruire gli altri martelli e per spaccare le noci necessarie a mantenere la popolazione, allora quella tecnologia non è vitale. Questo esempio illustra i lati negativi dell'uso diretto di energia solare. Uno studioso, peraltro molto attento, Denis Hayes, ha affermato alcuni anni fa che «la tecnologia solare esiste, [...] ora basta usarla» («Washington Post», 26 febbraio 1978). Quel che abbiamo, sono solo delle ricette fattibili per imbrigliare l'energia solare – le cellule solari e i diversi tipi di collettori solari. Non esiste ancora una sola tecnologia vitale basata sull'energia solare. La dimostrazione sta nel fatto che, nonostante i fondi notevoli impiegati nel progetto ERDA (Energy and Research Development Agency) e in altri, per sostituire i combustibili fossili con l'energia solare, nessuno è finora riuscito a costruire un impianto pilota che possa funzionare con energia solare accumulata e sia capace di riprodurre almeno i propri collettori (Georgescu-Roegen 1978). La necessità di superare questa prova è riconosciuta ormai come la cartina di tornasole anche dai più accaniti fautori dell'energia solare. Il difetto principale dell'energia solare è la bassa intensità con cui raggiunge la terra e (punto trascurato) l'assenza di qualsiasi proprietà di autoconservazione. Anche la pioggia arriva a terra con una bassa intensità media, ma si accumula naturalmente fino a raggiungere – gratuitamente – l'intensità energetica delle cascate del Niagara.

La storia della tecnologia è punteggiata da invenzioni di ogni sorta, tanto numerose che è impossibile elencarle tutte. Le innova-

zioni spettacolari degli ultimi decenni, tuttavia, ci hanno tanto impressionato da farci dimenticare i legami con quelle del passato. Se lo avessimo fatto, avremmo scoperto che – per quanto strano possa sembrare – due sole invenzioni del passato hanno prodotto delle tecnologie vitali. Ancora più sorprendente è sapere che la prima invenzione cruciale si riferisce a un fenomeno che ora noi consideriamo assolutamente ovvio, la padronanza del fuoco.

Il controllo del fuoco è stata un'invenzione straordinaria, in primo luogo in quanto il fuoco comporta una trasformazione qualitativa dell'energia, e cioè la trasformazione dell'energia chimica dei materiali combustibili in energia termica. Secondo, perché il fuoco comporta una reazione a catena: con una piccola fiamma si può bruciare un'intera foresta, anzi tutte le foreste. Il fuoco ha permesso agli esseri umani non solo di cucinare il cibo, ma anche, e soprattutto, di fondere e forgiare i metalli e di cuocere i mattoni, la ceramica e la calce. Non c'è dunque da meravigliarsi che gli antichi greci avessero attribuito a Prometeo – un titano – e dunque non a un mortale, il merito di aver consegnato il fuoco agli uomini. Definiremo dunque la tecnologia portata da Prometeo I (come sarebbe giusto chiamarlo) *età del legno*. Per secoli il legno è stato la sola fonte di potere calorico, tanto che con lo sviluppo industriale le foreste cominciarono a scomparire a velocità crescente. Nella seconda metà del XVII secolo il taglio degli alberi delle foreste dovette essere regolato e ridotto, sia in Inghilterra sia sul continente.

Il carbone era già conosciuto come fonte di potere calorico, ma un ostacolo ne impediva l'impiego nell'industria al posto del legno. Le cave di carbone, infatti, facilmente si allagano. Le fonti di energia allora disponibili per prosciugarle, cioè la forza muscolare degli esseri umani e degli animali da soma, il vento e l'acqua piovana, non erano sufficientemente intense per questo scopo. Le prime miniere inglesi usavano centinaia di cavalli per azionare gli ingranaggi necessari a sollevare l'acqua.

La crisi energetica allora imminente era del tutto analoga a quella attuale: la tecnologia basata sul legno non disponeva più del carburante di base. Essa venne risolta dalla seconda invenzione cruciale, il dono imprevedibile di un altro Prometeo – Prometeo II – personificato questa volta da due mortali, Thomas Savery e Thomas Newcomen: la macchina a vapore. Questa macchina, come il



fuoco, ha permesso di realizzare una trasformazione dell'energia assolutamente nuova dal punto di vista qualitativo, la conversione del potere calorico in energia meccanica. Come il fuoco, la macchina a vapore porta a una reazione a catena. Con poco carbone e una macchina a vapore, possiamo estrarre più carbone e altri minerali dalle miniere, con cui costruire altre macchine a vapore, e così di seguito. Il regalo di Prometeo II ci ha messo in condizione di ottenere energia meccanica da una fonte nuova e più intensa, il fuoco alimentato dai combustibili fossili. La nostra vita dipende largamente ancora oggi da questa tecnologia vitale, che permette di trasformare il calore in lavoro.

Il problema contemporaneo è trovare un nuovo Prometeo che risolva la crisi di oggi, come Prometeo II ha risolto quella dell'età del legno. Non è segno di pessimismo dire che nessuno sa se e quando ciò accadrà, e che nessuno conosce la natura del futuro dono prometeico (se mai sarà inventato). Non sono stati né Galileo né Huygens a risolvere la crisi dell'età del legno. Noi non possiamo ordinare la venuta di Prometeo III all'umanità con una nuova tecnologia vitale."

²⁵ Ranganath Murthy, mio collega, è stato di grande aiuto nella preparazione dell'ultima versione del manoscritto.

9.

*Quo vadis homo sapiens-sapiens?**

I fatti dei mesi scorsi [1991, N. d. R.] nel Golfo Persico mi hanno riportato con la mente a undici anni fa quando, durante un'intervista insieme ad altri venti economisti per il «New York Times»,¹ feci una dichiarazione singolare. Dissi che la questione più allarmante per la nostra economia – anzi, per la nostra specie – non riguardava tanto le preoccupazioni relative all'inflazione o alla disoccupazione, le quali allora come oggi monopolizzavano l'attenzione degli economisti, quanto il rapido esaurimento dei carburanti fossili, specialmente del petrolio, la più importante fonte di energia dei tempi moderni. Conclusi dicendo: «Se non verrà presto realizzata un'azione seriamente concertata [per razionalizzare la produzione e la distribuzione dei carburanti fossili], i missili probabilmente voleranno per assicurarsi il possesso dell'ultima goccia di petrolio.»

Era la conclusione di una riflessione più ampia, secondo cui la sostanza del processo economico è essenzialmente biologica: conclusione che sarebbe diventata il credo della mia vita. Jiri Zeman, dell'Accademia cecoslovacca, affascinato da questa impostazione, pensò giustamente di denominarla *bioeconomia*, e io ne fui d'accordo. Negli ultimi venti anni ho dedicato tutti i miei sforzi di ricerca a questo tema e alle sue conseguenze ecologiche, per mettere a punto un programma bioeconomico che attenuasse gli effetti delle inevitabili calamità ecologiche, le quali altrimenti renderebbero la so-

* [Mimeo rinvenuto presso la Special Collections Library, Duke University, North Carolina, con il sottotitolo: *A query by Nicholas Georgescu-Roegen on 16th of december 1989*].

¹ Cfr. «New York Times Magazine», 30 dicembre 1979.

pravvivenza della specie umana su questa terra la più breve tra tutte. Tristemente, la mia lotta non ha avuto alcuna influenza sostanziale sul chiassoso dibattito attorno al problema delle risorse naturali, sin da quando presagii l'embargo petrolifero del 1973-74. Molti sono stati i fattori responsabili della mancanza di riscontro nei confronti del mio modo di affrontare il problema dell'insufficienza delle risorse naturali, e verranno alla luce nel corso di questo scritto.

Mentre cresceva il rammarico per l'insuccesso della mia lotta bioeconomica, in vista di una nuova guerra in Medio Oriente, ho sentito il bisogno di scambiare alcune opinioni con una persona che, a questo proposito, sapevo affidabile nei suoi giudizi. Senza alcun indugio, decisi di contattare Leonard Silk, che dimostrava di essere ben disposto verso le mie posizioni e professava un'economia di impostazione storica, sociale e politica, cioè il giusto tipo di economia.

A seguito della lettera che gli scrissi (dicembre 1990), Silk affrontò l'argomento in uno dei suoi illuminanti articoli sul «New York Times»,² dal titolo *Controllare le due gmndi minacce del petrolio*. Dopo questa corrispondenza, la questione espressa nel titolo di questo articolo cominciò a pressarmi più che mai [...].³

Era da molto tempo che, in maniera lenta ma insistente, prendeva forma in me l'idea di una *bioeconomia*. La prima traccia di un approccio bioeconomico comparve in un saggio pubblicato nel 1960 negli *Oxford Economic Papers*. Gli apporti che, nello sforzo di tracciare una rappresentazione unitaria, emersero in modo più organico, furono esposti in tre saggi successivi, due dei quali presentati in importanti forum di economisti, quali la Conference of International Economic Association del 1965 e successivamente la mia *Richard T. Ely Lecture* del 1969, mentre il terzo fu presentato in occasione della *Festschrift* per Edward H. Chamberlin nel 1967.

La prima volta che presentai un quadro completo della mia teoria bioeconomica fu nella *Distinguished Lecture* n. 1, all'Università dell'Alabama, il 3 dicembre 1970, dove enunciai i seguenti punti: 1) esiste una forte parentela fenomenologica tra il processo econo-

² Cfr. «New York Times», 14 dicembre 1990.

³ [In questo saggio, i paragrafi che contenevano ripetizioni di concetti espressi altrove in modo più ampio e dettagliato sono stati rimossi, N d.C.l.]

mico e il dominio biologico; 2) il processo economico costituisce un superamento evolutivo della biologia che caratterizza la specie umana; 3) occorre riconoscere che la biologia e l'economia si distinguono dagli altri domini della natura in quanto entrambe sono governate specificamente dalla legge di entropia, senza la quale esse non potrebbero essere compiutamente spiegate [...].

Seguendo questa linea di ragionamento, un punto in particolare merita di essere enfatizzato: né la fisica, né la chimica, possono spiegare la scarsità economica. È la legge di entropia che costituisce la radice della scarsità, ma in un senso diverso rispetto alla scarsità che caratterizza la terra ricardiana (in quanto puro spazio territoriale). La scarsità entropica nasce dal «significato» che il flusso di materia ed energia disponibile acquisisce per la struttura vivente stessa. Ed è certo che tutte le strutture viventi «anelino» a questo flusso, perché altrimenti non potrebbero sopravvivere. Onestamente sospetto che anche le cellule viventi più elementari, mentre trasformano energia e materia disponibile in energia e materia non-disponibile – il processo *sine qua non* della vita – debbano «sentire» quel flusso entropico che noi uomini chiamiamo («godimento della vita».

Il mio punto di partenza includeva alcune idee che, oggi, solo alcuni studiosi di una certa età sarebbero in grado di riconoscere. A dire il vero, penso ancora al famoso, sorprendente, principio di Alfred Marshall secondo cui l'economia «è un ramo della biologia inteso in senso ampio», che poi sviluppai nella mia teoria secondo la quale il processo economico è parte integrante della biologia umana. Fui anche profondamente influenzato dall'osservazione seminale di Alfred Lotka secondo la quale gli esseri umani sono sostenuti da due tipi di organi: gli organi *endosomatici*, di cui essi sono dotati sin dalla nascita, e gli organi *esosomatici*, cioè quelli da loro prodotti e utilizzati. Se ci pensiamo, un essere proveniente da un altro mondo potrebbe non riconoscere la differenza tra la mano che spezza il pane e il coltello che lo taglia. I paleontologi hanno ampiamente descritto come gli esseri umani superarono l'evoluzione endosomatica nel momento in cui alcuni esemplari di *homo sapiens* cominciarono a costruire organi esosomatici con materiali quali la pietra, il legno e le ossa. In effetti il nostro istinto esosomatico deve essere stato ereditato da alcuni primati che, raccogliendo per caso un bastone dai boschi, cominciarono da quel momento in

poi a portarselo appresso perché, si può supporre, sentivano che grazie al bastone il loro braccio era divenuto più lungo e potente. Per quanto attiene l'evoluzione culturale, Lamarck potrebbe essere ancor più esauriente.

La scintilla che mi permise di comprendere la stretta connessione tra l'economico e il biologico venne dal mio illustre maestro, Joseph A. Schumpeter, il quale, nel suo *The Theory of the Economic Development*, mi insegnò che l'evoluzione economica si basa sull'insorgenza di innovazioni discontinue. Come spiegò in una delle sue memorabili metafore, «aggiungete uno dopo l'altro tutti i vagoni postali che volete, non otterrete mai in questo modo una motrice». In altre parole, le innovazioni effettive sono mutazioni economiche non-darwiniane.

La simultaneità delle scoperte ha suscitato vivaci discussioni tra i «sociologi della scienza», ma questo costituisce un caso veramente intricato che riguarda due scoperte simultanee, ma indipendenti, fatte a distanza di tempo e in campi diversi, cioè una in ambito sociologico e l'altra nelle scienze naturali. Trent'anni dopo la teoria di Schumpeter, un eminente biologo di nome Richard Goldschmidt sconvolse i suoi colleghi sostenendo che l'evoluzione biologica non segue la teoria dell'evoluzione della specie di Darwin, che si basa su cambiamenti impercettibili partendo dal primo organismo vivente fino all'essere umano attuale, quanto piuttosto sull'emergere di «mostri promettenti» (*hopeful monsters*). È in questo senso preciso che la motrice è un mostro, e anche ben riuscito, rispetto al vagone postale. Difficilmente si potrebbe trovare un esempio più illuminante a sostegno della mia visione bioeconomica.

Può essere istruttivo raccontare come arrivai, per caso (qui l'espressione è più che mai appropriata) alla mia teoria. La maggior parte delle mie idee innovative sono state generate dalle mie esperienze personali. Questo vale in particolare per la relazione indissolubile tra il modo in cui opera la legge di entropia e il processo economico. Come studente di Emile Borel alla Sorbona, negli anni 1927-30, volevo naturalmente conoscere tutte le monografie scritte da questo grande pensatore. Arrivai così a leggere la sua *Meccanica statistica* che mi introdusse alla termodinamica, e da lì, al concetto di entropia. Tuttavia, considerata la natura della meccanica statistica, che altro non è se non la presentazione molto formale e astratta

della termodinamica, avrei potuto limitare il mio interesse alle elucubrazioni matematiche che più tardi sarebbero emerse numerose in quel campo, se non fosse stato per una successiva esperienza in Romania, la quale mi rivelò improvvisamente il fondamentale ruolo della legge di entropia all'interno del processo economico, o meglio bioeconomico.

Mi capitò una volta di visitare un paese in collina dove si trovavano alcuni miei amici sociologi a lavorare sul campo. Era l'inizio della primavera, periodo nel quale i torrenti gonfiati dalla pioggia spazzano via il terreno fertile recando un danno enorme ai coltivatori, e si stava appunto parlando delle conseguenze economiche di quella calamità. Me ne andai rimuginandoci sopra, e mentre attraversavo il ponte sul fiume Olt, uno dei più grandi della Romania, cominciai a fissare le sue acque, nere come pece, che scorrevano vorticosamente. Di fronte a questa semplice scena, mi balenò un pensiero preciso: «Così se ne va – dissi a me stesso – il nostro futuro pane quotidiano!» Ricordandomi in un attimo di ciò che avevo appreso dall'opera di Borel, mi si delineò chiaramente in testa l'impalcatura della mia teoria bioeconomica. Dopo non molto, scoprii un altro fatto stimolante ben più degno di pubblica attenzione. All'inizio di questo secolo, la Romania rappresentava il terzo paese produttore di petrolio nel mondo; eppure a cominciare dagli anni sessanta diventò un paese importatore. Infatti, una volta che il petrolio viene bruciato, trasformandosi in calore e smog, è andato per sempre! Questo vale anche per le sostanze nutrienti presenti sulla superficie del terreno. Un'immagine bioeconomica lampante, per esempio, è quella della grande migrazione del primo millennio, quando una tribù dopo l'altra fu costretta a spostarsi dall'Asia centrale all'Europa perché non era più in grado di ottenere cibo da quei terreni ormai sfruttati. Ora invece possiamo farlo, ma non in eterno, perché anche il nostro patrimonio minerale è finito.

Entropia, parola un tempo esoterica, è oggi sempre più usata per semplice esibizione. Anche la legge di entropia ha avuto una storia tumultuosa. Da idea misteriosa, ancora oggi essa non presenta la stessa trasparenza delle leggi della meccanica di Newton, che possono essere ridotte alla semplice azione di push *and pull*. Inoltre è stata presentata in modo così contorto, che oggi il suo significato sembra essere ancor più confuso e controverso. Di essa non

esiste alcuna spiegazione nell'ambito della meccanica, considerato l'unico valido dal pensiero contemporaneo, che sia stata accettata da tutti. Il ricorso alla teoria della probabilità non ha fatto altro che complicare le cose, dando luogo a gravi errori di interpretazione.

Quando cominciai a scorgere il significato della legge di entropia attraverso le mie semplici e concrete esperienze, mi fu naturale continuare lungo il mio cammino seguendo un approccio fenomenologico, un metodo cognitivo che ritengo più sicuro di quello meccanicistico.

Nella mia lotta per la comprensione del significato di «entropia», ho capito che, per avere una comprensione limpida di questa legge, bisognava fare una distinzione *ab initio* tra due tipi di energia, i quali, seguendo la terminologia di Lord Kelvin, possono essere denominati *energia disponibile* ed *energia non disponibile*. La radice di questi concetti non è fisica ma fortemente antropomorfa. un caso curiosamente unico negli annali delle scienze naturali. L'energia disponibile è l'energia in uno stato tale che noi, esseri umani, potremmo – in questo caso sarebbe errato dire «possiamo» – utilizzare per le nostre specifiche esigenze, quali per esempio riscaldare, cucinare il cibo, cuocere i mattoni, oppure volare sulla luna. Viceversa l'energia non disponibile è un tipo di energia che non si può utilizzare. L'immagine classica usata da Lord Kelvin è quella dell'immensa energia contenuta nelle acque dell'oceano la quale, a dispetto della sua immensità, non può essere utilizzata né, diciamo, per muoversi su una barca, né tantomeno per altri fini.

Qui è però necessario fare una precisazione per non creare fraintendimenti. La terra è immersa in un mare cosmico di energia disponibile (il flusso dell'energia prodotta dal sole, per esempio) che non può essere utilizzata perché non è *accessibile*. Ecco dunque che l'energia che noi possiamo effettivamente utilizzare dovrà essere *sia* disponibile *sia* accessibile, una condizione fondamentale di cui nessun esperto di analisi energetica è veramente consapevole.

In base alle precedenti osservazioni si può quindi riassumere la legge di entropia in questo modo: l'energia disponibile degrada in modo costante e irrevocabile verso uno stato non disponibile, indipendentemente dal suo uso, più o meno consapevole. Essendo l'entropia un indice (in relazione con la temperatura) dell'energia non disponibile in un sistema isolato, un'espressione equivalente della

legge di entropia si traduce in questa popolare formulazione: «Qualsiasi cosa si faccia, l'entropia in un dato sistema non può diminuire». Naturalmente è come dire che, da un punto di vista logico, l'entropia può rimanere costante, come accade in un sistema in equilibrio termodinamico, in cui nulla può accadere, oppure può aumentare, come succede di norma.

Vale la pena ribadire un aspetto spesso ignorato della legge di entropia. Se l'entropia di un sistema aumenta, è necessario rendersi conto che il confronto – che implica un «prima» e un «poi» – può essere stabilito solo dalla coscienza umana, prova questa dell'essenza antropomorfa della legge. Se non si comprende questo parallelismo unico – come invece accade spesso oggi – non si coglie la straordinaria idea di Arthur S. Eddington secondo cui la legge di entropia mostra «la freccia del tempo».

Che la legge di entropia sarà un giorno confutata, come è successo per molte leggi nella storia, è il ritornello preferito di molti ecologisti impegnati nel sostenere l'ottimismo di coloro che non riescono ad accettare la realtà per quello che è. Tuttavia la storia sta dalla parte della permanenza della validità della legge. Non a caso tutte le volte che una mano tocca una pentola bollente, è la mano a scottarsi e non la pentola, confermando così la legge di entropia. Come l'ha felicemente formulata Rudolf Clausius: «Il calore non può passare mai spontaneamente da un corpo più freddo a uno più caldo».

Nella sua *Autobiografia*, Albert Einstein ha addirittura paragonato l'impossibilità dell'entropia di diminuire spontaneamente con la sua legge che limita tutte le velocità a quella della luce.

A questo punto dovrebbero essere chiare le conseguenze della legge di entropia. La dura condizione delle strutture che sostengono la vita discende dalla loro assoluta dipendenza dall'energia disponibile (a cui ho aggiunto più tardi anche la materia disponibile), unita alla continua e irrevocabile degradazione entropica. E da qui che nasce la preoccupazione per le risorse naturali espressa dai pochi grandi economisti del passato, M. Messance prima di Thomas Malthus, Stanley Jevons poi.

Il problema complesso relativo alla scarsità delle risorse naturali costituisce un altro aspetto della legge di entropia è l'unica legge fisica che non è legata al tempo «cronologico». Essa stabilisce che una certa quantità di energia e di materia disponibile sarà degra-

data col *tempo*, ma non dice *quanto*. Il corollario di questa indeterminatezza temporale è rappresentato dal fatto che le strutture viventi accelerano la degradazione entropica rispetto alla situazione in cui esse non fossero presenti. Ognuno di noi dovrebbe notare questo caso unico, dove l'assenza o la presenza di vita assume rilevanza in una legge naturale. Invertendo il ragionamento essa ci dice che, laddove non c'è energia disponibile, non ci sarà nemmeno vita. Possiamo, perciò, scegliere di aumentare l'uso dell'energia e della materia disponibile, oppure di ridurlo, entro un certo limite. In virtù di questi effetti della legge di entropia, una legge naturale, sarebbe cosa sensata proporre, come ho fatto, un programma fattibile di conservazione, per assicurare la sopravvivenza della nostra specie su questo pianeta il più a lungo possibile. Questo programma dovrebbe rappresentare, appunto, il principale scopo dell'ecologia scientifica, poiché non ha alcun senso parlare di massimizzare la sopravvivenza senza un progetto di conservazione.

Tre anni prima dell'embargo petrolifero del 1973-74 e l'anno precedente l'uscita di *The Limits to Growth*, proposi un programma bioeconomico specifico, per quanto possa esserlo un programma del genere. Tuttavia la sua specificità non avrebbe dovuto essere ignorata, visto che ne costituiva l'aspetto caratterizzante. A questo proposito non concordo con i miei avversari; credo fermamente che qualsiasi progetto inteso a mantenere un'esistenza tollerabile per tutta l'umanità in futuro, debba intervenire principalmente dal lato della domanda, e non da quello dell'offerta, come in voga al giorno d'oggi.

Occorre sbarazzarsi: 1) del desiderio di utilizzare mezzi mastodontici come i Concorde, oppure macchine talmente grandi da occupare due garage, o che possono arrivare a 100 miglia all'ora prima che si scaldi l'accendi sigaretta; 2) dell'infatuazione per la moda, vera e propria malattia della mente delle donne e degli uomini moderni; 3) dell'ebbrezza di usare congegni contraddittori, come l'automobile elettrica per il golf; 4) delle nostre abitudini nei confronti dell'eccesso: troppo veloce, troppo fresco, troppo riscaldato ecc.

In poche parole, il mio programma bioeconomico richiedeva la rinuncia a tutti i lussi e anche a qualche comfort. Come ho detto, questo programma non è stato accolto dai miei colleghi in maniera positiva. Così, quando fu richiesta la seconda ristampa del mio

pamphlet, ne fui eccitato e sorpreso insieme. L'anno successivo la Harvard University Press mi fece l'onore di pubblicare un'analisi estesa della teoria bioeconomica e del legame indissolubile tra la legge di entropia e il processo economico e le derivanti conseguenze. La monografia ottenne critiche entusiastiche, e oggi, dopo molte ristampe, è ancora disponibile presso la casa editrice, pur non essendo nel catalogo di vendita.⁵ Ciò significa forse che il programma bioeconomico ha ottenuto un insolito successo? Stranamente e sfortunatamente per me, devo dire di no! Ha ricevuto sì molti elogi dagli intellettuali, ma pochissima attenzione e sostegno dalla gente comune, nessun esplicito consenso o dissenso, solo un pacato e gentile silenzio, o un *fin de non recevoir*, come il mio caro amico Stefano Zamagni l'ha definito. Sono state molte le cause di questo atteggiamento, che perlopiù attengono alla sociologia degli scienziati."

Tanto per cominciare. l'incredibile fanfara che il Club di Roma ha organizzato per promuovere il testo *The Limits to Growth* ha condizionato il modo in cui il problema dell'insufficienza delle risorse naturali è stato trattato da quel momento in poi. Aver presentato, per la prima volta, il problema dell'insufficienza delle risorse in termini giornalistici, ha portato la gente a pensare che chiunque potesse esprimere un giudizio al riguardo, esattamente come accade per le questioni politiche. I problemi dell'ambiente si sono trasformati in argomenti da bar o *Kaffeehaus*, come direbbero i viennesi. A coloro che affrontavano il problema in modo analitico, rivelando così l'inconsistenza degli argomenti delle nuove leve di ecologisti, veniva impedito di prendere la parola in ogni modo e in ogni luogo.

Il solito gruppo di persone, sempre impegnato a trovare nuovi argomenti - non tecnici - per sostenere le proprie ambizioni, cominciò un'incursione verso quella che, prima di allora, era terra di nessuno. E la corsa è ancora in atto. Oggi le biblioteche straripano di libri che trattano ogni sorta di problema ecologico. I più venduti sono proprio quelli che esprimono maggior ottimismo. [...]

Gli economisti si sono distinti come la categoria più estranea al problema della scarsità delle risorse naturali. Alcuni si sono aggrap-

⁵ Dico questo non per mancanza di modestia, ma perché vorrei ritornarci sopra in seguito.

⁶ [Georgescu-Roegen parla di «sociologia degli scienziati» e non di «sociologia della scienza» poiché non ritiene che la «scienza» costituisca in alcun modo una «società», N. d. T.].

pati al credo dell'abbondanza, mentre altri, ancora più raffinati, si sono sforzati di convincerci che non esiste alcun orobolema entropico, come Wilfred Beckerman ha affermato con dotta retorica nella sua lezione di apertura allo University College e successivamente nel suo libro.

Carl Kaysen, nel tentativo di scoraggiare qualsiasi tipo di avvicinamento all'economia, scienza della scarsità, ha liquidato ogni interesse verso la scarsità delle risorse affermando: «La scarsità non può condurre a nessuna conclusione interessante»). E per quanto incredibile possa sembrare, Robert Solow, durante la sua *Richard T. Ely Lecture*, nel 1974, annunciò che le risorse naturali non rappresentano un fattore indispensabile nell'ambito del processo economico. Egli intendeva esplicitamente assolvere l'economia standard dall'aver completamente ignorato il ruolo economico delle risorse naturali.

L'infatuazione ottimista fu così forte che persino le menti dalle quali ci si sarebbe aspettato un maggior discernimento entrarono nelle fila degli ottimisti. Per esempio, Glenn Seaborg, nella sua immensa autorevolezza, ci assicurò che la scienza avrebbe sicuramente messo in grado gli uomini di utilizzare la terra senza degradingla in alcun modo. Così anche Paul Samuelson, che pure non era un Nobel della fisica, non venne additato da nessuno per aver affermato che la scienza avrebbe trovato il modo di fermare la degradazione entropica dell'energia e della materia. Nel frattempo un altro eminente fisico, Alvin Weinberg, presentò (e qui uso le sue stesse parole) un'alternativa faustiana per ottenere la salvezza a lungo termine: trentaduemila reattori autofertilizzanti distribuiti sopra quattromila isole, artificialmente costruite, in grado di mantenere una popolazione mondiale di 20 miliardi di persone a uno standard di vita due volte superiore a quello degli Stati Uniti.

A causa dei flussi e reflussi di cui si è detto, emersero successivamente moltissime associazioni che manifestarono grande preoccupazione per i problemi ecologici e quindi anche per le risorse naturali. La prima in lista è sicuramente «Resources for the Future» un'istituzione venerabile nata nel 1752 sotto la pressione esercitata dalla scarsità dei metalli (non di energia) destinati agli armamenti, e come risultato del favoloso *William Paley Report*. Il «World Watch», appartenente allo stesso filone, nacque solo nel 1775. Comunque,

fu durante gli anni ottanta che nacquero la maggior parte delle organizzazioni similari, anche se di minori dimensioni, insieme a ben finanziati istituti universitari. Tali organizzazioni fecero molto rumore attraverso varie convention «globali», giungendo alla conclusione che le tecnologie alternative avrebbero certamente portato la salvezza ecologica in breve tempo. Relativamente ai loro risultati, si potrebbe parafrasare la battuta di Bernard Shaw: «Dove c'è troppo parlare, non c'è alcun risultato concreto». [...] Uno dei pericoli esistenti in tutto questo clamore è rappresentato dal fatto che nessuna di queste ricette, pubblicizzate in maniera così entusiastica, poggia su un'approfondita analisi energetica, dando così adito a interpretazioni non corrette. Per esempio, coloro che auspicano con entusiasmo la salvezza attraverso l'impiego dell'energia solare, ignorano uno degli esperimenti realizzati dalla Solarex, l'azienda più competente in questo campo. È stato scoperto che, utilizzando un impianto di molte migliaia di cellule al silicio, l'energia solare ottenuta da questo impianto non era sufficiente per riprodurre le cellule che erano state utilizzate nel processo, *anche se tutti i materiali erano stati forniti gratuitamente*. Dunque la salvezza non può provenire dalle cellule al silicio, nonostante la loro utilità dal punto di vista tecnologico in certe condizioni.

All'interno di questa chissosa ma inconcludente discussione, Herman Daly, un Vanderbilt Ph.D., inventò una formula di salvezza molto popolare che, proprio per questo motivo, ha portato i maggiori danni rispetto al comportamento che tutti noi dovremmo tenere di fronte a un'imminente crisi energetica. Dall'idea che la crescita economica non può essere infinita, idea che era nell'aria già molto tempo prima che ne parlassi io, Daly arrivò alla conclusione che «lo stato stazionario dell'economia è quindi una necessità», un banale errore di logica elementare, poiché l'opposto della crescita non è solo lo stato stazionario' (un punto, questo, già argomentato precedentemente in relazione alla legge di entropia). Attraverso la combinazione di questa idea errata con un famoso precetto di John Stuart Mill il quale, in contrasto con Adam Smith, affermava che un'economia stazionaria presenta molti vantaggi dal punto di vista sociale, Daly cominciò a sostenere (a partire da una *Alabama*

⁷ [Bensi, come Georgescu-Roegen stesso ha suggerito nel titolo di una sua opera. *la decrescita, N d. T.*].

Distinguished Lecture successiva alla mia) che la salvezza ecologica poggia su questo tipo di economia. Tuttavia, Daly non spiegò mai in modo analitico cosa intendesse per stato stazionario se non precisando che sia il capitale sia la popolazione devono rimanere costanti: il che non è una precisazione sufficiente. I suoi ascoltatori svuotarono di attrattiva l'invenzione di Daly insistendo sul fatto che lo stato stazionario rappresenterebbe inesorabilmente un'economia rigida e immutabile. Così Daly sostituì il logo «stato stazionario» con *steady state*, un termine preso in prestito dalle scienze naturali. Nel 1981, poiché perdurava la confusione terminologica, Daly occupò un'intera appendice per spiegare ancora una volta che per *steady state* non intendeva lo stato stazionario.

Durante gli anni settanta, e specialmente all'inizio del decennio, si sentivano ancora gli effetti dell'embargo petrolifero e nonostante ciò l'idea di Daly fu accolta da molti, perché aveva almeno il merito di non essere tecnica. Egli sviluppò la sua tesi in molte sue opere con notevole talento letterario al punto che, in breve tempo, il suo nome era divenuto sinonimo di *steady state*. Essendo tale approccio molto ottimistico, si diffuse come credo dominante molto velocemente. Naturalmente i paesi avanzati lo accolsero favorevolmente poiché tutti sarebbero stati felici di poter continuare a vivere nelle stesse abitazioni, guidare le stesse automobili e mangiare lo stesso cibo appetitoso. Purtroppo essi non capirono che erano vittime di una grande illusione. È strano, veramente molto strano, che nessun predicatore del credo dello *steady state* abbia pensato per un attimo che, per le popolazioni provenienti dai paesi della scarsità – per esempio il Bangladesh – la ricetta dello stato stazionario avrebbe significato la condanna a vita nella miseria.

Tuttavia, Herman Daly finì col rendersi conto di questo grave ostacolo e, alla ricerca di una scappatoia, come ammise apertamente nel seminario all'Università di Manitoba il 22 settembre 1989, cambiò il logo del suo movimento con un altro decisamente più allettante, *sviluppo sostenibile*, un'espressione che probabilmente prese in prestito da un volume di Lester Brown. Effettivamente chi potrebbe trovare qualcosa di sbagliato in questo nuovo programma, visto che è congeniale sia alla popolazione del Bangladesh sia a quella che abita negli attici di New York? Già gli autori di *The Limits to Growth* speravano che si potesse stabilire «una condi-

zione di stabilità ecologica ed economica, sostenibile nel tempo». Tuttavia, come lo *steady state* non poteva essere separato dallo stato stazionario (inteso come *stationary state*), così lo «sviluppo sostenibile» non poteva essere separato dalla ((crescita economica». Questo approccio non poteva non ricordare a un economista il famoso «decollo» verso la *crescita sostenibile* di Walt Rostow. Chi davvero penserebbe che lo «sviluppo» non implichi necessariamente, in qualche misura, la crescita?

È comprensibile allora come il falso ottimismo presente in questi due slogan – «stato stazionario» e soprattutto «sviluppo sostenibile» – abbia attratto miriadi di convertiti i quali si sono dati appuntamento a un forum «globale» dopo l'altro, accrescendo la reputazione dei promotori della formula. Tutte queste iniziative spinsero molte corporation a promuovere la propria immagine attraverso il finanziamento di tali attività. In questo stile imprenditoriale si può notare un aspetto dei sociologi della scienza che, dal Club di Roma in poi, fanno dell'argomento delle risorse naturali un ottimo strumento per pubblicizzarsi come benefattori sociali. Vengono elargiti da sempre, e con grande facilità, finanziamenti a quelle organizzazioni che professano il loro interesse per le questioni ecologiche. Un eccellente esempio, anche se poco apprezzabile, ce lo fornisce la World Bank, la quale ha diffusamente finanziato numerosi convegni globali di natura decisamente ottimistica. Questo è divenuto il modo comune con cui si affronta la crisi imminente.

Per difendere l'inconsistenza dei loro slogan, gli avvocati di questi dogmi facili da vendere, hanno fatto ricorso a colpi bassi, trattando, a ogni occasione, in maniera capziosa qualsiasi opinione o tesi opposta alla loro, non essendo in grado di difendere scientificamente le proprie posizioni.

Non dimentichiamo che la «terra promessa» doveva essere supportata da tecnologie alternative che, secondo quanto affermavano gli stessi promotori, sarebbero diventate disponibili in breve tempo – «la prossima settimana» dicevano gli esperti di energia solare Maycock e Stirewalt dieci anni fa! Le loro affermazioni non erano suffragate da alcuna prova. Il loro modo di concepire la verità nel mondo fisico impedì loro di vedere l'ostacolo insito nel loro credo, e cioè che le tecniche in grado di sostenere una tecnologia vitale di

qualsiasi tipo e, quindi, di risolvere una crisi, devono soddisfare una particolare condizione che ho definito prometeica.⁸ [...]

La storia dimostra chiaramente il ruolo essenziale delle tecniche prometeiche nell'ambito di ogni «tecnologia vitale», vale a dire una tecnologia in grado di autosostenersi – come si autosostiene un essere vivente – perlomeno fino a quando quella forma particolare di energia disponibile di cui si nutre risulta accessibile. [...]

L'attesa potrebbe essere assai lunga prima che Prometeo III offra all'umanità la grande opportunità di una soluzione. Tutto ciò implica, per quanto possibile, la conservazione delle risorse. Ed è per questa ragione che le risorse dovrebbero essere mondializzate (nazionalizzate e socializzate) e amministrare eticamente da un'agenzia mondiale.

È un progetto che richiede un governo mondiale di qualche tipo, un problema, questo, terribilmente complesso. Tuttavia esso ha ricevuto l'attenzione da parte di alcuni scienziati, di politici e anche di alcuni statisti. Nessun ecologista, del tipo di quelli descritti in precedenza, ha mai indirizzato la propria riflessione in questa direzione, dopo la mia intervista al «New York Times», richiamata all'inizio di questo articolo. Ciò che, questa volta, mi ha spinto a mettere nero su bianco i miei pensieri è la ferma convinzione che il motivo reale dell'azione militare in Iraq, ordinato dal Consiglio di sicurezza dell'ONU, era il possesso o quantomeno il controllo dell'energia. Molti crimini, come l'annessione (più tardi definita «invasione» del Kuwait da parte dell'Iraq, sono stati commessi senza che gli invasori abbiano ricevuto nemmeno una semplice protesta formale da parte delle grandi potenze: i paesi baltici, parte della Germania, della Polonia, e dell'Ucraina, il Tibet, la Bessarabia e le terre annesse da Israele, sono solo alcuni esempi che per primi mi tornano alla mente. C'è qualcuno che pensa che se il Kuwait non avesse avuto importanti riserve di petrolio, le Nazioni Unite avrebbero dato luogo a un tale trambusto mondiale? Se l'Iraq avesse annesso il Kuwait per altre ragioni, certamente la protesta e il lamento sarebbero pervenuti solo dal popolo del Kuwait.

⁸ [Per una più diffusa trattazione delle «tecniche prometeiche» si rimanda, tra gli altri, al saggio *Ricette fattibili contro tecnologie vitali*, N. d. C.].

Bibliografia su Georgescu-Roegen

L'indicazione delle opere di Georgescu-Roegen cui si fa riferimento in questo volume si trova nella *Bibliografia generale* (cfr. *infra*, pp. 235 sgg.).

Per quanto riguarda la bibliografia completa delle opere di Georgescu-Roegen (oltreduecento riferimenti tra volumi e articoli) si rinvia a Ronaiuti 2001

In lingua inglese

Adelman F. L.

1972 *The entropy law and the economic process*, in «Journal of Economic Literature» X, 2.

Auer P. L.

1977 *Does entropy production limit economic growth?*, in K. Wilson (a cura di), *Prospects for Growth: Changing Expectations for the Future*, Praeger Publishers, New York.

Ayres R. U.

1997 *Comments on Georgescu-Roegen*, in «Ecological Economics», XXII, 3 (Special Issue)

1999 *The second law, the fourth law, recycling and limits to growth*, in «Ecological Economics», XXIX, 3.

Ayres R. U. e Miller S. M.

1980 *The role of technical change*, in «Journal of Environmental Economics and Management», VII.

Bianciardi C., Donati A. e Uleiaty S.

1993 *On the relationship between the economic process the Carnot Cycle and the Entropy Law*, in «Ecological Economics», VIII, 1.

Bianciardi C., Tiezzi E. e Uleiaty S.

1993 *Complete recycling of matter in the frameworks of physics, biology and ecological economics*, in «Ecological Economics», VIII, 1.

Binswanger M.

1993 *From microscopic to macroscopic theories: Entropic aspects of ecological and economic processes*, in «Ecological Economics», VIII, 3

Boulding K. E.

1972 *Search for time's arrow*, in *Science*, n. 175.

- Bowman J.
1978 *Antigrowth economist pessimistic*, in «Los Alamos Monitor», XV.
- Castle E. N.
1977 *A comment on Georgescu-Roegen, Daly, Solow and Stiglitz*, in «Ecological Economics», XXII, 3 (Special Issue).
- Clark C. W.
1997 *Renewable resources and economic growth*, in «Ecological Economics», XXII, 3 (Special Issue).
- Cleveland C. J.
1999 *Biophysical economics: From physiocracy to ecological economics and industrial ecology*, in K. Mayumi e J. M. Gowdy (a cura di), *Bioeconomics and Sustainability*, Edward Elgar, London.
- Cleveland C. J. e Ruth M.
1997 *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», XXII, 3 (Special Issue).
- Colvin P.
1977 *Ontological and epistemological commitments and social relations in the sciences. The case of arithmomorphic system of scientific production*, in E. Mendelshon e altri (a cura di), *The Social Production of Scientific Knowledge*, vol. I: *Sociology of the Sciences*, Reidel, Dordrecht.
- Common M.
1997 *Is Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz the important point?*, in «Ecological Economics», XXII, 3 (Special Issue).
- Crivelli R.
1987 *Enjoyment of Life: A Discussion on Nicholas Georgescu-Roegen's Contribution to the Analysis of Economic Value*, mimeo.
1993 *Hysteresis in the work of Nicholas Georgescu-Roegen*, in J. C. Dragan, M. C. Demetrescu e E. K. Seifert (a cura di), *Entropy and Bioeconomics*, Nagard, Milano.
- Daly H. E.
1995 *On Nicholas Georgescu-Roegen's contributions to economics: An obituary essay*, in «Ecological Economics», XIII, 3.
1997a *Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz*, in «Ecological Economics», XXII, 3 (Special Issue).
1997b *Reply to Solow/Stiglitz*, in «Ecological Economics», XXII, 3 (Special Issue).
1999 *How long can neoclassical economists ignore the contributions of Georgescu-Roegen?*, in K. Mayumi e J. M. Gowdy (a cura di), *Bioeconomics and Sustainability*, Edward Elgar, London.

- De Gleria S.
1995 *Nicholas Georgescu-Roegen: A mind that thought above his time*, in «Economia internazionale», XLVIII, 3.
1999a *Growth development and innovation in N. Georgescu-Roegen's thought (with a case study: the «Bank of the Poor»)*, in «Economia internazionale», LII, 4.
1999b *Nicholas Georgescu-Roegen's approach to economic value: A theory based on nature with man at its core*, in K. Mayumi e J. M. Gowdy (a cura di), *Bioeconomics and Sustainability*, Edward Elgar, London.
- Dragan J. C. e Demetrescu M. C.
1986 *Entropy and Bioeconomics, The New Paradigm of Nicholas Georgescu-Roegen*, Nagard, Roma [trad. it. *Entropia e bioeconomia. Il nuovo paradigma di Nicholas Georgescu-Roegen*, Nagard, Milano 1996].
- Dragan J. C., Demetrescu M. C. e Seifert E. K.
1993 (a cura di), *Entropy and Bioeconomics (First International Conference of the E.A.B.S., Rome, 1991)*, Nagard, Milano.
1997 (a cura di), *Implication and Application of Bioeconomics (Second International Conference of the E.A.B.S., Palma de Mallorca, 1994)*, Nagard, Milano.
- Funtowicz S. e O'Connor M.
1999 *The passage from entropy to thermodynamic indeterminacy: A social and science epistemology for sustainability*, in K. Mayumi e J. M. Gowdy (a cura di), *Bioeconomics and Sustainability*, Edward Elgar, London.
- Gianpietro M. e Pastore G.
1999 *Biophysical roots of «enjoyment of life» according to Georgescu-Roegen's bioeconomic paradigm*, in K. Mayumi e J. M. Gowdy (a cura di), *Bioeconomics and Sustainability*, Edward Elgar, London.
- Gowdy J. M.
1998 *The evolution of Georgescu-Roegen bioeconomics*, in «Review of Social Economy», LVI, 2.
- Khalil E. L.
1990 *Entropy law and exhaustion of natural resources: Is Nicholas Georgescu-Roegen's paradigm defensible?*, in «Ecological Economics», II, 2.
- Lawn P.
1999 *On Georgescu-Roegen's contribution to ecological economics*, in «Ecological Economics», XXIX, 1.
- Lozada G. A.
1991 *A defense of Nicholas Georgescu-Roegen's paradigm*, in «Ecological Economics», I, 2.
1995 *Georgescu-Roegen's defense of classical thermodynamics revisited*, in «Ecological Economics», XIV, 1.
1999 *The role of entropy and energy in natural resource economics*, in K. Mayumi e J. M. Gowdy (a cura di), *Bioeconomics and Sustainability*, Edward Elgar, London.

- Lozada G. A. e Beard T. R.
1999 *Economics, Entropy and the Environment: The Extraordinary Economics of N. Georgescu-Roegen*, Edward Elgar, Cheltenham.
- Maneschi A.
1998 *Nicholas Georgescu-Roegen and the History of Economic Thought. Paper presented at the International Conference on Nicholas Georgescu-Roegen's Scientific Work (Strasbourg, France)*, mimeo.
- Maneschi A. e Zamagni S.
1997 *Nichols Georgescu-Roegen, 1906-1994*, in «Economic Journal», CVII.
- Martinez-Alier J.
1997 *Some issues in agrarian and ecological economics, in memory of Georgescu-Roegen*, in «Ecological Economics», XXII, 3 (Special Issue).
1999 *From political economy to political ecology*, in K. Mayumi e J. M. Gowdy (a cura di), *Bioeconomics and Sustainability*, Edward Elgar, London.
- Martinez-Alier J. e altri
1987 *Ecological Economics*, Basil-Blackwell, Oxford [trad. it. *Economia ecologica*, Garzanti, Milano 1991].
- Mayumi K.
1993a *Georgescu-Roegen's fourth law of thermodynamics and the flow-fund model*, in J. C. Dragan, M. C. Demetrescu e E. K. Seifert (a cura di), *Entropy and Bioeconomics (First International Conference of the E.A.B.S., Rome, 1991)*, Nagard, Milano.
1993b *The exomatic mode of human evolution and a clarification of Nicholas Georgescu-Roegen's thoughts on entropy, the economic process, dialectics and evolution*, in «Methodus», V, 1.
1995 *Nichols Georgescu-Roegen (1906-1994): An admirable epistemologist*, in «Structural Change and Economic Dynamics», VI, 3.
1997 *Information pseudo measures and entropy: An elaboration on Nicholas Georgescu-Roegen's critique*, in «Ecological Economics», XXII, 3 (Special Issue).
1999 *Embodied energy analysis, Sraffa's analysis, Georgescu-Roegen's flow-fund model and viability of solar technology*, in K. Mayumi e J. M. Gowdy (a cura di), *Bioeconomics and Sustainability*, Edward Elgar, London.
2001 *The Origins of Ecological Economics. The Bioeconomics of Georgescu-Roegen*, Routledge, London.
- Mayumi K. e Gowdy J. M.
1999a *Introduction: theory and reality. The life, work and thought of Nicholas Georgescu-Roegen*, in K. Mayumi e J. M. Gowdy (a cura di), *Bioeconomics and Sustainability*, Edward Elgar, London.
1999b *Georgescu-Roegen's revolutionary economics*, in K. Mayumi e J. M. Gowdy (a cura di), *Bioeconomics and Sustainability*, Edward Elgar, London.

- Miernyk W. H.
1999 *Economic growth theory and the Georgescu-Roegen paradigm*, in K. Mayumi e J. M. Gowdy (a cura di), *Bioeconomics and Sustainability*, Edward Elgar, London.
- Miernyk W. H., Giarratani F. e Socher Ch. F.
1978 *Regional Impacts of Rising Energy Prices*, Ballinger, Cambridge (Mass.).
- Mirowski P.
1988 *Nicholas Georgescu-Roegen*, in «Journal of Economic Issues», XXII.
- Morrone M.
1999 *Production and time: A flow-fund analysis*, in K. Mayumi e J. M. Gowdy (a cura di), *Bioeconomics and Sustainability*, Edward Elgar, London.
- Neisser H.
1967 *Analytical Economics by Nicholas Georgescu-Roegen*, in «The Journal of Philosophy», VII.
- Nuti P.
1999 *Sraffa's surplus vs. Georgescu-Roegen's entropy - A survey of energy issues and complexity in the history of economic thought*, in «History of Economic Ideas», VII, 3.
- O'Connor M.
1991 *Entropy, structure, and organisational change*, in «Ecological Economics», III, 2.
- Pearce D.
1977 *Substitution and sustainability: Some reflection on Georgescu-Roegen*, in «Ecological Economics», XXII, 3 (Special Issue).
- Peet J.
1977 *Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz... but what is the real question?*, in «Ecological Economics», XXII, 3 (Special Issue).
- Perrings C.
1977 *Georgescu-Roegen and the irreversibility of material process*, in «Ecological Economics», XXII, 3 (Special Issue).
- Piacentini P.
1995 *A time-explicit theory of production: Analytical and operational suggestion following a «Fund-Flow» approach*, in «Structural Change and Economic Dynamics», VI, 5.
- Rifkin J. e Howard T.
1980 *Entropy: A New World View*, The Viking Press, New York.
- Ruth M.
1993 *Integration economics ecology and thermodynamics*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Samuelson P. A.

1990 *Tribute to Nicholas Georgescu-Roegen, on his 85th Birthday*, in «Libertas Mathematica», X.

Scazzieri R.

1999 *A theory of resilient flow-fund linkages*, in K. Mayumi e J. M. Gowdy (a cura di), *Bioeconomics and Sustainability*, Edward Elgar, London.

Schlegel R.

1973 *The Entropy Law and the Economic Process*, in «Journal of Economic Issues», VII.

Soilner F.

1997 *A reexamination of the role of thermodynamics for environmental economics*, in «Ecological Economics», XXII, 3 (Special Issue).

Solow R. M.

1997 *Reply. Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz*, in «Ecological Economics», XXII, 3 (Special Issue).

Stiglitz J. E.

1997 *Reply. Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz*, in «Ecological Economics», XXII, 3 (Special Issue).

Szemberg M.

1995 *Nicholas Georgescu-Roegen in memoriam*, in «American Economist», XXXIX, 2.

Tang A. M., Westfield F. M., e Worley J. S.

1976 (a cura di), *Evolution Welfare and Time in Economics: Essays in Honor of Nicholas Georgescu-Roegen*, Lexington Books, D. C. Heath & Co., Lexington (Mass.).

Tisdell C.

1997 *Capital/natural resource substitution: The debate of Georgescu-Roegen (through Daly) with Solow/Stiglitz*, in «Ecological Economics», XXII, 3 (Special Issue).

Tsuchida A.

1999 *Five condition for sustainable living system: From the physics of open systems to ecology and economics*, in K. Mayumi e J. M. Gowdy (a cura di), *Bioeconomics and Sustainability*, Edward Elgar, London.

Turner K. R.

1997 *Georgescu-Roegen versus Solow/ Stiglitz: A pluralistic issue and interdisciplinary perspective*, in «Ecological Economics», XXII, 3 (Special Issue).

Vivien F. D.

1999 *From agrarianism to entropy: Georgescu-Roegen's bioeconomics from a Malthusian viewpoint*, in K. Mayumi e J. M. Gowdy (a cura di), *Bioeconomics and Sustainability*, Edward Elgar, London.

Wade N.

1975 *Nicholas Georgescu-Roegen: Entropy the Measure of Economic Man*, in «Science», n. 190.

Zamagni S

1999 *Georgescu-Roegen on consumer theory: an assessment*, in K. Mayumi e J. M. Gowdy (a cura di), *Bioeconomics and Sustainability*, Edward Elgar, London.

In lingua francese

Arrous J.

1975a *Georgescu: a prophet of energy economics*, in «Business Week», 24 marzo 1975.
1975b *L'entropie est-elle un principe universel d'explication?*, Université Louis Pasteur, Faculté des sciences économiques, Strasbourg.
1981 *L'entropie est-elle un principe universel d'explication?*, in «Fundamenta Scientiae», II, 3-4.

Bonaiuti M.

2002 *A la conquête de bien relationnels*, in «Silence», n. 280, Lpon.

De Koose F. e Van Parijs P.

1991 (a cura di), *N. Georgescu-Roegen*, in *La pensée écologiste*, De Boeck Université, Bruxelles.

Ferrari S.

1993-94 *Esquisse d'un sentier énergétique pour un développement durable dans une prospective bioéconomique pour un développement durable dans une prospective bioéconomique*, in «Stratégies énergétiques, biosphère et société».

Force M.

1989 *L'ordre improbable: entropie et processus sociaux*, PUF, Paris.

Grincvald J.

1976 *La révolution carnotienne: thermodynamique, économie et idéologie*, in «Revue européenne des sciences sociales», XXXVI.
1977 *Révolution industrielle, technologie de la puissance et révolutions scientifiques: essai de bibliographie critique*, in *La fin des outils: technologie et domination* (Cahiers de l'IIUED, 5), PUF, Genève-Paris.
1980a *La perspective bioéconomique de Nicholas Georgescu-Roegen* (Cahiers du Germes, 4), Paris, Questions à la bioéconomie, pp. 27-44.
1980b *Le sens bioéconomique du développement humain: l'affaire Nicholas Georgescu-Roegen*, in «Revue européenne des sciences sociales», LI
1982a *La thermodynamique, la révolution industrielle et la révolution carnotienne*, in «Entropie», n. hors série «Thermodynamique et sciences de l'homme».
1982b *Nicholas Georgescu-Roegen: un économiste contre les naufrageurs du temps*, in «CoEvolution», VII.
1992 *La révolution bioéconomique de Nicholas Georgescu-Roegen*, in «Stratégies énergétiques, biosphère et société».

- 1994 *Georgescu-Roegen: bioéconomie et biosphère*, in «Silence», n. 164.
- 1995 *In memoriam Nichoas Georgescu-Roegen (1906-1994)*, in «Écologie politique», XIII.
- Guittou H.
- 1972 *Economie et entropie*, in «Revue d'économie politique», VI.
- 1982 *Haute et basse entropie en économie*, in «Entropie», n. speciale *Thermodynamique et sciences de l'homme*.
- Lantz P.
- 1980 *La valeur chez Georgescu-Roegen* (Cahiers du Germes, 4), Paris, Questions à la bioéconomie, pp. 51-61.
- Lapidus A.
- 1981 *Une thermodynamique du social?*, in «Cahiers internationaux de sociologie», LXX.
- Latouche S.
- 20026 *A bas le développement durable! Vive la décroissance conviviale!*, in «Silence», n. 280, Lyon.
- Matarasso P.
- 1994 *Quelles modélisations des rapports hommes-nature? L'apport de Georgescu-Roegen*, in *Modèles de développement soutenable?*, C3E (Université Panthéon-Sorbonne, AFCET, Symposium international, Paris, 16-18 marzo 1994), Paris, vol. II.
- Perroux F.
- 1981 *L'économie d'intention scientifique et l'inspiration thermodynamique*, in *Chronique Sedeis*, pp. 42-53.
- Vivien F.
- 1994 *Economie et écologie*, La Découverte, Paris
- In lingua italiana*
- Becattini G.
- 1973 *Presentazione*, in N. Georgescu-Roegen, *Analisi economica e processo economico*, Sansoni, Firenze.
- Bianciardi C., Degli Espinosa P. e Tiezzi E.
- 1986 *Ma la materia ha una storia*, in «SE Scienza Esperienza».
- Bonaiuti M.
- 1993 *Concetti dialettici e concetti aritmomorfici nel pensiero di N. Georgescu-Roegen*, in «Il pensiero economico moderno», XIII, 4.
- 1996 *Verso un nuovo approccio interdisciplinare e complesso allo sviluppo sostenibile*, in M. L. Fornaciari e M. L. Alfieri (a cura di), *Sviluppo economico, ambiente occupazione*, Mucchi, Modena.

- 1999 *Dallo teoria bioeconomica di Georgescu-Roegen ad un approccio interdisciplinare allo sviluppo sostenibile*, in «Il pensiero economico moderno», XIX, 4.
- 2001 *La teoria bioeconomica. La «nuova» economia di Nicholas Georgescu-Roegen*, Carocci, Roma.
- Bresso M.
- 1982 *Pensiero economico e ambiente*, Loescher, Torino.
- De Gleria S.
- 1984 *Ecologia-economia: un rapporto problematico*, in «Politica ed economia», XV, 1.
- 1985a *Prodotto netto ed energia netta (ovvero: dogma fisiocratico e dogma energetico)*, in «Economia politica», II, 2.
- 1985b *La penombra dialettica, legge di entropia e processo economico nel pensiero di Georgescu-Roegen*, in «Quale Energia», 11-12.
- 1985c *Metodi produttivi, tecnologie vitali e processi cognitivi*, in «Politica ed economia», XVI, 1.
- Molesti R.
- 1988 *Economia dell'ambiente. Per una nuova importazione*, prefazione di N. Georgescu-Roegen, IPEM, Pisa.
- 1996 *I fondamenti scientifici dell'economia ambientale: l'opera di Nicholas Georgescu-Roegen*, in «Nuova economia e storia», II, 4.
- Nebbia G.
- 1988 *La bioeconomia. Somiglianze e diversità fra fatti economici e fatti biologici*, in «Rassegna economica», 3.
- 1997 *Nicholas Georgescu-Roegen economista radicale*, in «Economia e ambiente», XVI, 1-2.
- 1998 *Introduzione*, in N. Georgescu-Roegen, *Energia e miti economici*, 2ª ed., Boringhieri, Torino.
- Pucci L.
- 1992 *Nuovo lusso e scarsità entropica*, in «Il pensiero economico moderno», XII, 4.
- Zamagni S.
- 1979 *Georgescu-Roegen: i fondamenti della teoria del consumatore*, Etas, Milano.
- 1982 *Introduzione*, in N. Georgescu-Roegen, *Energia e miti economici*, 1ª ed., Boringhieri, Torino.
- Ziliotti M.
- 1979 *Produzione e tempo: il modello fondi-flussi di Georgescu-Roegen*, in «Ricerche economiche», XXXIII.

Bibliografia generale

Abelson P. H.

1972 *Limits to Growth*, in «Science», n. 175

Alfvén H.

1969 *Atom, Man and the Universe*, Freeman, San Francisco.

Allen C. W.

1973 *Astrophysical Quantities*, 3^a ed., Athlone, London.

Amin S.

1997 *Capitalism in the Age of Globalization*, New Jersey, London [trad. it. *Il capitalismo nell'era della globalizzazione*, Asterios, Trieste 1997].

Artin T.

1973 *Earth Talk: Independent Voices on the Environment*, Grossman, New York.

Auer P. L.

1977 *Does entropy production limit economic growth?*, in K.D. Wilson (a cura di), *Prospects for Growth: Changing Expectations for the Future*, Praeger, New York, pp. 314-34.

Ayres E.

1950 *Power from the sun*, in «Scientific Americana», CLXXXIII, 2.

Azar C., Holmberg J. e Lindgren K.

1996 *Socio-ecological indicators for sustainability*, in «Ecological Economics», XVIII, 2.

Bach G. L.

1957 *Economics*, 2^a ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs (N.J.).

Barnett H.J. e Morse C.

1963 *Scarcity and Growth*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.

- Bateson G.
 1972 *Step to an Ecology of Mind*, Ballantine, New York [trad. it. *Verso un'ecologia della mente*, Adelphi, Milano 1976].
 1979 *Mind and Nature: A Necessary Unity*, Button, New York [trad. it. *Mente e natura. Un'unità necessaria*, Adelphi, Milano 1984].
 1991 *A Sacred Unity: Further Steps to an Ecology of Mind*, Harper Collins, New York [trad. it. *Una sacra unità. Altri passi verso un'ecologia della mente*, Adelphi, Milano 1997].
- Bergson H.
 1907 *L'évolution créatrice*, Alcan, Paris [trad. it. *L'evoluzione creatrice*, a cura di F. Polidori, Cortina, Milano 2002].
- Betancourt R. R. e Clague Ch. K.
 1981 *Capital Utilization*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Binswanger M.
 1993 *From microscopic to macroscopic theories: entropic aspect of ecological and economic processes*, in «Ecological Economics», VIII, 3.
- Bocchi G. e Ceruti M.
 1985 (a cura di), *La sfida della complessità*, Feltrinelli, Milano.
- Boscrup M.
 1979 *Resources for Future Economic Growth [Chairman's Report on Specialized Session III]*, in E. Malinvaud (a cura di), *Economic Growth and Resources. Proceedings of the 5th World Congress of the International Economic Association, Tokyo, 29 Aug.-3 Sept. 1977*, 5 voll., Macmillan, London.
- Roulding K. E.
 1966 *The economics of the coming spaceship earth*, in H. Jarret (a cura di), *Environmental Quality in a Growing Economy*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, pp. 3-14.
 1977 *Energy policy: A piece of cake*, in «Technology Review», LXXX.
 1978 *Ecodynamics*, Sage Publications, London.
 1981 *Evolutionary Economics*, Sage Publications, London.
- Bridgman P. W.
 1927 *The Logic of Modern Physics*, Macmillan, New York [trad. it. *La logica della fisica moderna*, Boringhieri, Torino 1965].
- Brooks D. P. e Andrews P. W.
 1974 *Mineral Resources, Economic Growth, and World Population*, in «Science», n. 185.
- Brown H.
 1954 *The Challenge of Man's Future*, Viking Press, New York.
- Brown H., Bonner J. e Weir J.
 1957 *The Next Hundred Years*, Viking Press, New York

- Buber M.
 1948 *Der Weg des Menschen nach der chassidischen Lehre*, Mouton & Co., Den Haag [trad. it. *Il cammino dell'uomo secondo l'insegnamento chassidico*, Qiqajon, Magnano (BI) 1990].
- Butti K. e Perlin J.
 1977 *Solar Water Heaters in California, 1891-1930*, in «CoEvolution Quarterly», autunno.
- Bye R. T.
 1956 *Principles of Economics*, 5^a ed., Appleton-Century-Crofts, New York.
- Caillé A.
 1989 *Critique de la raison utilitaire*, La Découverte, Paris [trad. it. *Critica della ragione utilitaria*, Bollati Boringhieri, Torino 1991].
 2000 *Anthropologie du don. Le tiers paradigme*, Desclée de Brouwer, Paris [ed. it. *Il terzo paradigma. Antropologia filosofica del dono*, Bollati Boringhieri, Torino 1998].
- Carlyle Th.
 1899 *Latter-Day Pamphlets*, Chapman and Hall, London.
- Castoriadis C.
 1975 *L'institution imaginaire de la société*, Seuil, Paris [trad. it. parziale *L'istituzione immaginaria della società*, Bollati Boringhieri, Torino 1995].
- CED (Committee for Economic Development)
 1977 *Key Elements to a National Energy Strategy*, New York.
- Chamberlin E. H.
 1948 *The Theory of Monopolistic Competition*, 6^a ed., Harvard University Press, Cambridge (Mass.).
- Chambers N., Simmons C. e Wackernagel M.
 2000 *Sharing Nature's Interest*, Earthscan Publications, London [trad. it. *Manuale delle impronte ecologiche*, Ambiente, Milano 2002].
- Chapman P. F.
 1974 *Energy Costs: A Review of Methods*, in «Energy Policy», II.
- Chapman P. F., Leach G. e Slesser M.
 1974 *The Energy Cost of Fossil Fuels*, in «Energy Policy», II.
- Chomsky N.
 2002 *Understanding Power*, The New Press, New York [trad. it. *Capire il potere*, Tropea, Milano 2002].
- Clark C.
 1963 *Agricultural productivity in relation to population*, in G. Wolstenhome (a cura di), *Man and His Future*, J. and A. Churchill, London.

- Clark W. C. e Munn R. E.
1986 (a cura di), *Sustainable Development of the Biosphere*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Cloud P.
1974 *Realities of Mineral Distribution*, in G. D. McKenzie e R. O. Utgard (a cura di), *Man and His Physical Environment*, 2ª ed., Burgess, Minneapolis, pp. 185-98.
- Coats A. W.
1964 *Value judgments in economics*, in «Yorkshire Bulletin of Economic and Social Research», XVI.
- Common M. e Perring C.
1992 *Towards an ecological economics of sustainability*, in «Ecological Economics», VI, 1.
- COMRATE (Committee on Mineral Resources and the Environment)
1975 *Mineral Resources and the Environment*, Washington.
- Costanza R.
1980 *Embodied energy and economic evaluation*, in «Science», n. 210.
1989 *What is ecological economic?*, in «Ecological Economics», 1, 1.
1991 (a cura di), *Ecological Economics*, Columbia University Press, New York.
- Costanza R., Perring C. e Cleveland J.
1997 (a cura di), *The Development of Ecological Economics*, Edward Elgar, Cheltenham.
- Cottrell F.
1953 *Energy and Society*, McGraw-Hill, New York.
- Daly H. E.
1968 *On economics as a life science*, in «Journal of Political Economy», LXXVI.
1973 (a cura di) *Toward a Steady State Economy*, Freeman, San Francisco.
1990 *Toward some operational principles of sustainable development*, in «Ecological Economics», II, 1.
1992 *Allocation, distribution, and scale: towards an economic that is efficient, just and sustainable*, in «Ecological Economics», VI, 3.
1994 *Fostering environmentally sustainable development: four parting suggestions for the World Bank*, in «Ecological Economics», X, 3.
- Daly H. E. e Cobb T. B.
1989 *For the Common Good*, Beacon Press, Boston [trad. it. *Un'economia per il bene comune*, Red, Como 1994].
1996 *Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development*, Beacon, Boston [trad. it. *Oltre la crescita*, Edizioni di Comunità, Torino 2001].
- Darwin Ch.
1958 *The Autobiography 1809-1882*, Collins, London [trad. it. *Autobiografia, 1809-1882*, Einaudi, Torino 1962].

- De Gleria S.
1999 *Growth development and innovation*, in «Economia internazionale», LII, 4.
- Delbruck M.
1986 *Mind from matter?*, Blackwell, Palo Alto [trad. it. *La materia e la mente*, Torino, Einaudi 1993].
- Denbigh K.
1971 *Principles of Chemical Equilibrium*, 3ª ed., Cambridge University Press, Cambridge [trad. it. *I principi dell'equilibrio chimico*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano 1971].
- Dodd J. H., Hasek C. W. e Hailstones T. J.
1957 *Economics*, South-Western Publishing Co., Cincinnati.
- Drewermann E.
1982-84 *Psychoanalyse und Moraltheologie*, 3 voll., Grünewald, Mainz [trad. it. *Psicoanalisi e teologia morale*, Queriniana, Brescia 1992].
- Ehrenfest P. e T.
1959 *The Conceptual Foundations of the Statistical Approach in Mechanics*, Cornell University Press, Ithaca.
- El Sarafy S.
1989 *The proper calculation of income from depletable natural resources*, in Y. J. Ahmad, S. El Sarafy e E. Luz (a cura di), *Environmental Accounting for Sustainable Development*, World Bank, Washington.
- ERDA (Energy Research and Development Agency)
1975 *A National Plan for Energy Research, Development, and Demonstration: Creating Energy Sources for the Future*, Washington.
- Faber M., Manstetten R. e Proops J.
1995 *On the conceptual foundations of ecological economics and teleological approach*, in «Ecological Economics», XII, 1.
- Faber M., Niemes H. e Stephan G.
1983 *Entropie, Umweltschutz und Rohstoffverbrauch*, Springer, Berlin.
- Ferrari A.
1996 *Aspetti applicativi delle reti neurali artificiali*, Angeli, Milano.
- Feynman R. P., Leighton R. B. e Sands M.
1968 *The Feynman Lectures on Physics*, vol. I, Addison Wesley, Reading (Mass.) [trad. it. *La fisica di Feynman*, vol. I, Masson, Milano 1968].
- Flawn P. T.
1966 *Mineral Resources: Geology, Engineering, Economics, Politics*, Rand McNally, Chicago.

Fornaciari L.

- 1983 *Economia e valori dell'uomo*, in «Rivista internazionale di scienze sociali», IV.
1993 *Etica ed economia*, in «Quaderni d'azienda*», V.

Frisch R.

- 1965 *Theory of Production*, Rand McNally, Chicago.

Fromm E.

- 1956 *The Art of Loving*, Harper Collins, New York [trad. it. *L'arte di amare*, Mondadori, Milano 1963].

Gamow G.

- 1958 *Matter, Earth and Sky*, Prentice Hall, Englewood Cliffs (N.J.).

Georgescu-Roegen N.

- 1960 *Economic theory and agrarian economics*, in «Oxford Economic Papers», n.s., XII (poi in Georgescu-Roegen 1966).
1966 *Analytical Economics: Issues and Problems*, Harvard University Press, Cambridge (Mass.) [trad. it. parziale *Analisi economica e processo economico*, Sansoni, Firenze 1973].
1967 *Chamberlin's new economics and the unit of production*, in R. E. Kuenne (a cura di), *Monopolistic Competition Theory. Studies in Impact*, Wiley, New York, pp. 31-38.
1969a *Institutional aspects of peasant community*, in C. R. Wharton Jr (a cura di), *Subsistence Agriculture and Economic Development (Proceedings of an International Seminar, Honolulu 1965)*, Aldine Publishing Company, Chicago, pp. 61-99.
1969b *Process in Farming versus Process in Manufacturing: A Problem of Balanced Development*, in U. Papi e C. Nunn (a cura di), *Economic Problems of Agriculture in Industrial Societies*, Atti della Conferenza dell'International Economic Association tenutasi a Roma, settembre 1965, Macmillan, London e St. Martin's Press, New York, cap. 24 [trad. it. *Processo agricolo contro processo industriale: un problema di sviluppo bilanciato*, in *Energia e miti economici*, Boringhieri, Torino 1982, cap. 4, pp. 162-98].
1970 *The Economics of Production*, in «American Economic Review», LX, 2 (presentato alla Richard T. Ely Lecture del 1969).
1971a *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press, Cambridge (Mass.).
1971b *Process Analysis and the Neoclassical Theory of Production*, presentato al Meeting dell'American Association of Agricultural Economics.
1974 *Energy and economic myths*, in W. Burch e F. H. Bormann (a cura di), *Growth, limits, and the quality of life*, Freeman, San Francisco.
1976a *Energy and Economics Myths: Institutional and Analytical Economic Essays*, Pergamon Press, New York.
1976b *A Different Economic Perspective*, letto al Meeting dell'American Association for the Advancement of Science, 18-24 febbraio 1976, Boston (Mass.).
1976c *Dynamic Models and Economic Growth*, in G. Schwodiauer (a cura di), *Equilibrium and Disequilibrium in Economic Theory, Proceedings of the Conference of the Institute of the Advanced Study, Wien, July 1974*, Reidel, Dordrecht.

- 1976d *Is Perpetual Motion of the Third Kind Possible?*, letto al Colloquium dell'Ecole Nationale Supérieure de Transportation, Parigi, 19 novembre 1976.
1976e *Economics and Mankind's Ecological Problem*, in *U.S. Economic Growth from 1976 to 1986: Prospects, Problems, and Patterns*, Joint Economic Committee Congress of the United States, Washington D.C., vol. VII, pp. 62-91.
1977a *Bioeconomics: A new look at the nature of the economic activity*, in L. Junker (a cura di), *The Political Economy of Food and Energy*, University of Michigan, Ann Arbor (Mich.), pp. 105-34.
1977b *Matter matters, too*, in K. D. Wilson (a cura di), *Prospects for Growth: Changing Expectations for the Future*, Praeger, New York 1977, pp. 293-313.
1977c *Inequality, Limits and Growth from a Bioeconomic Viewpoint*, in *n Review of Social Economy*, XXXV.
1978 *Technology assessment: the case of the direct use of solar energy*, in «Atlantic Economic Journal», VI, 4.
1979a *Energy analysis and economic valuation*, in «Southern Economic Journal», XLV, 4.
1979b *Methods in economic science*, in «Journal of Economic Issues», XIII.
1979c *The Role of Matter in the Substitution of Energies*, in A. Ayoub (a cura di), *Energy: International Cooperation on Crisis*, Presses de l'Université Laval, Québec, pp. 119-31.
1979d *Comments on the Papers by Daly and Stiglitz*, in V. Kerry Smith (a cura di), *Scarcity and Growth Reconsidered*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, pp. 95-105.

Gilliland Martha W

- 1975 *Energy analysis and public policy*, in «Science», n. 189.
1976 [commenti a Gilliland 1975], in «Science», n. 192.

Godbout J. T.

- 1996 *La langage du don*, Fides, Montréal [trad. it. *Il linguaggio del dono*, Bollati Boringhieri, Torino 1998].

Godelier M.

- 1966 *Rationalité et irrationalité en économie*, Maspero, Paris [trad. it. *Razionalità e irrazionalità nell'economia*, Feltrinelli, Milano 1970].

Gowdy J. e O'Hara S.

- 1997 *Weak sustainability and viable technologies*, in «Ecological Economics», XXII, 3 (Special Issue).

Haar D.

- 1959 *The quantum nature of matter and radiation*, in R. J. Blin Stoye e altri (a cura di), *Turning Points in Physics*, North-Holland, Amsterdam.

Hall C. A. S., Cleveland C. J. e Kaufmann R.

- 1986 *Energy and Resource Quality: The Ecology of the Economic Process*, Wiley-Interscience, New York.

- Havens R. M., Henderson J. S. e Crammer D. L.
1966 *Economics*, Macmillan, New York.
- Hayek F. A.
1952 *The Count-Revolution in Science*, The Free Press, Glencoe (Ill.)
- Hayes D.
1978 *We Can Use Solar Energy Now*, in «The Washington Post», 26 marzo 1978, D1-D4.
- Hegel G. W. F.
1967 *Enciclopedia delk scienze filosofiche in compendio*, Laterza, Bari.
- Hibbard E. R. Jr
1968 *Mineral resources: challenge or threat?*, in «Science», n. 160
- Hiebert E. H.
1971 *The Energetics and the New Thermodynamics*, in D. H. D. Roller (a cura di), *Perspectives in the History of Science and Technology*, University of Oklahoma Press, Norman, pp. 67-86.
- Hirsch F.
1976 *Social Limits to Growth*, Routledge, London [trad. it. *I limiti sociali allo sviluppo*, Fabbri-Bompiani, Milano 1981].
- Holling C. S.
1973 *Resilience and stability of ecological system*, in «Annual Review of Ecological System», IV.
1986 *The resilience of terrestrial ecosystems: local surprise and global change*, in W. C. Clark e R. E. Munn (a cura di), *Sustainable Development of the Biosphere*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Hotelling H.
1931 *The Economics of Exhaustible Resources*, in «Journal of Political Economy», XXXIX.
- Huettner D. A.
1976 *Net energy analysis: An economic assessment*, in «Science», n. 192.
- Jevons W. S.
1924 *The Theoy of Political Economy*, 4^a ed., Macmillan, London [trad. it. *Teoria dell'economia politica*, Utet, Torino 1966].
- Johnson H. G.
1973 *Man and His Environment*, The British North American Committee, London
- Kahn H., Brown W. e Marbel L.
1976 *The Next Two Hundred Years: A Scenario for America and the World*, Morrow, New York.

- Kapp K. W.
1961 *Toward a Science of Man in Society*, Martinus Nijhoff, The Hague.
- Katchalsky A. e Curran P. F.
1965 *Non-Equilibrium Thermodynamics in Biophysics*, Harvard University Press, Cambridge (Mass.).
- Kaufmann R. e Azary-Lee I.
1991 *A biophysical analysis of substitution*, in D. P. Bradley e P. O. Nilsson (a cura di), *Ecological Economics: Its Implication for Forest Management and Research*, The Swedish University of Agricultural Sciences, St. Paul (Minn.).
- Kenward M.
1975 *The analyst's precedent*, in «New Scientist».
- Kirkwood J. G. e Oppenheim I.
1961 *Chemical Thermodynamics*, McGraw Hill, New York.
- Klein N.
2000 *No Logo*, Flamingo, London [trad. it. *No logo*, Baldini & Castoldi, Milano 2001].
- Kuik O. e Verbuggen H.
1991 *In Search of Indicators of Sustainable Deuelopment*, Kluver, London.
- Lamarck J. B. P. A.
1809 *Philosophie zoologique*, Paris [trad. it. *Filosofia zoologica*, La Nuova Italia, Firenze 1976].
- Latouche S.
1989 *L'occidentalisation du monde*, La Découverte, Paris [trad. it. *L'occidentalizzazione del mondo*, Bollati Boringhieri, Torino 1992].
1991 *La piumète des naufragés*, La Découverte, Paris [trad. it. *Il pianetu dei naufraghi*, Bollati Boringhieri, Torino 1993].
1995 *La megamachine*, La Découverte, Paris [trad. it. *La megamacchina*, Bollati Boringhieri, Torino 1995].
1998 *L'autre Afrique*, Albin Michel, Paris [trad. it. *L'altra Africa*, Bollati Boringhieri, Torino 2002²].
1999 *Le défi de Minerve*, La Découverte, Paris [trad. it. *La sfida di Minerva*, Bollati Boringhieri, Torino 2002].
2000 *La planète uniforme*, Climats, Castelnau-le-Lez [trad. it. *La fine del sogno occidentale*, Elèuthera, Milano 2002].
2001 *L'invenzione dell'economia*, Arianna, Bologna.
2002 *Il pensiero creativo contro l'economia dell'assurdo*, EMI, Bologna.
- Laville J.-L.
1994 *L'économie solidaire*, Desclée de Brouwer, Paris [trad. it. *L'economia solidale*, Bollati Boringhieri, Torino 1998].

Laville J.-L. e Gardin L.

- 1996 *Les initiatives locales en Europe*, CRIDA, Paris [trad. it. *Le iniziative locali in Europa*, Bollati Boringhieri, Torino 1999].

Leach G.

- 1975 *Energy Analysis*, in «New Scientist», LXV.

Lichnerowicz M.

- 1971 *Economie et thermodynamique: un modèle d'échange économique*, in «Economie et société», ottobre.

Lorenz K.

- 1949 *Er redete mit den Vieh, den Vögeln und den Fischen*, Borota-Schoeler, Wien [trad. it. *L'anello di Re Salomone*, Adelphi, Milano 1967].
 1973 *Die acht Todsünden der zivilisierten Menschheit*, Piper, München [trad. it. *Gli otto peccati capitali della nostra civiltà*, Adelphi, Milano 1974].
 1979 *Das sogenannte Böse*, Deutscher Taschenbuch-Verlag, München [trad. it. *L'aggressività*, Mondadori, Milano 1986].
 1983 *Der Abbau des Menschlichen*, Piper, München [trad. it. *Il declino dell'uomo*, Mondadori, Milano 1984].

Lotka A.

- 1925 *Elements of Physical Biology*, Williams & Wilkins, Baltimore.
 1944 *Evolution and thermodynamics*, in «Science and Society», VIII.
 1945 *The law of evolution as a maximal principle*, in «Human Biology», XVII, 3.

Lovelock J.

- 1979 *Gaia. A New Look at Life on Earth*, Oxford University Press, Oxford [trad. it. *Gaia. Nuove idee sull'ecologia*, Bollati Boringhieri, Torino 1981].

Magnaghi A.

- 2000 *Il progetto locale*, Bollati Boringhieri, Torino.

Malinvaud E.

- 1979 *The major issues*, in E. Malinvaud (a cura di), *Economic Growth and Resources. Proceedings of the 5th World Congress of the International Economic Association, Tokyo, 29 Aug.-3 Sept. 1977*, 5 voll., Macmillan, London 1979.

Marco Aurelio

- 1989 *Pensieri*, Mondadori, Milano.

Marshall A.

- 1890 *Principles of Economics*, MacMillan, London [8^a ed. 1924; trad. it. *Principii di economia*, Utet, Torino 1953].

Martinez-Alier J.

- 1995 *The environment as a luxury good or «too poor to be green»*, in «Ecological Economics», XIII, 1.

Martinez-Alier J., Munda G. e O'Neill J.

- 1998 *Weak comparability of values as a foundation for ecological economics*, in «Ecological Economics», XXVI, 3.

Marx K.

- 1906 *Capital*, 3 voll., Charles Kern, Chicago [altra ed. *Capital*, 3 voll., Foreign Languages Publishing House, Moscow 1959; trad. it. *Capital*, 8 voll., Edizioni Rinascita, Roma 1956].

Marx K. e Engels F.

- 1959 *La concezione materialistica della storia*, Editori Riuniti, Roma.

Maslow A. H.

- 1970 *Motivation and Personality*, Harper & Row, New York [trad. it. *Motivazione e personalità*, Armando, Roma 1973].

Maturana H. e Varela F.

- 1985 *The Tree of Knowledge*, New Sciences Library, Boston [trad. it. *L'albero della conoscenza*, Garzanti, Milano 1992].

Meadows D. E. L., Behrens W. W., Meadows L. D. e Randers J.

- 1972 *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project for the Predicament of Mankind*, Universe Books, New York [trad. it. *I limiti dello sviluppo. Rapporto del System dynamics group Massachusetts institute of technology (MIT) per il progetto del Club di Roma sui dilemmi dell'umanità*, Edizioni Scientifiche e Tecniche Mondadori, Milano 1972].

Meadows D. H., Meadows L. D. e Randers J.

- 1992 *Beyond the Limits: Global Collapse or a Sustainable Future*, Earthscan Publications, London [trad. it. *Oltre i limiti dello sviluppo*, Il Saggiatore, Milano 1992].

Miernyk W. H., Giarratani F. e Socher C. F.

- 1978 *Regional Impacts on Rising Energy Prices*, Ballinger, Cambridge (Mass.).

Mill J. S.

- 1848 *Principles of Political Economy*, John W. Parker, London [trad. it. condotta sulla 2^a ed. *Principii di economia politica*, Biblioteca dell'economista, Torino 1851].

Mishan E. J.

- 1967 *The Costs of Economic Growth*, Praeger, New York [trad. it. *Il costo dello sviluppo economico*, Angeli, Milano 1971].

Molesti R.

- 1995 *Economia ed ecologia*, Ipem, Pisa.

Morin E.

- 1977 *La méthode, I: La nature de la nature*, Seuil, Paris [trad. it. *Il metodo*, Feltrinelli, Milano 1983].

- 1980a *La méthode*, II: *La vie de la vie*, Seuil, Paris [trad. it. *La vita della vita*, Feltrinelli, Milano 1987].
- 1980b *L'écologie généralisée*, Seuil, Paris [trad. it. *Il pensiero ecologico*, Hopefulmonster, Firenze 1988].
- Morroni M.
- 1991 *Production flexibility*, in G. M. Hodgson e E. Screpanti (a cura di), *Rethinking Economics*, Edward Elgar, Aldershot, pp. 68-80.
- 1992 *Production Process and Technical Change*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Nash R.
- 1978 *The future of wilderness: A problem statement*, in «Bulletin of the American Academy of Arts and Science», maggio.
- Nebbia G.
- 1999 *Contabilità monetaria e contabilità ambientale*, Università degli Studi, Bari.
- Neumann J. von
- 1951 *The General and Logical Theory of Automata*, in L.A. Jeffress (a cura di), *Cerebral Mechanism in Behavior, The Hixon Symposium 1948*, Wiley, New York [trad. it. *La logica degli automi e la loro autoriproduzione*, in Id. e altri, *Lafilosofia degli automi*, Boringhieri, Torino 1965, pp. 222-451].
- Norgaard R. B.
- 1984 *Coevolutionary development potential*, in «Land Economics», LX, 2.
- O'Connor M.
- 1991 *Entropy, structure, and organizational change*, in «Ecological Economics», III, 2.
- Odum E. P.
- 1983 *Basic Ecology*, Saunders College Publishing, Philadelphia [trad. it. *Basi di ecologia*, Piccin, Padova 1983].
- Odum H. Th.
- 1973 *Energy, ecology, and economics*, in «Ambios», VI
- Opschoor J. B.
- 1997 *The hope, faith and love of neoclassical environmental economics*, in «Ecological Economics», XXII, 3 (Special Issue).
- Ostwald W.
- 1908 *Die Energie*, Barth, Leipzig
- Page N. G. e Creasey S. C.
- 1975 *Ore Grade, Metal Production, and Energy*, in «Journal of Research. U.S. Geological Survey», gennaio-febbraio, pp. 9-13.
- Partant F.
- 1982 *La fin du développement*, La Découverte, Paris.

- Passet R.
- 1979 *L'économie et le vivant*, [trad. it. *L'economia e il mondo vivente*, Editori Riuniti, Roma, 1996].
- Pearce D. W. e Turner R. K.
- 1990 *Economics of Natural Resources and the Environment*, Harvester-Wheatsheaf, London [trad. it. *Economia delle risorse naturali e dell'ambiente*, il Mulino, Bologna 1991].
- Pearce D. W., Markandya A. e Barbier E. B.
- 1989 *Blueprint for a Green Economy*, Earthscan, London [trad. it. *Progetto per un'economia verde*, il Mulino, Bologna 1991].
- Peccei A.
- 1976 *La qualità umana*, Mondadori, Milano.
- Perrings C.
- 1987 *Economy and Environment*, Cambridge University Press, Cambridge [trad. it. *Economia e ambiente*, ETAS, Milano 1992].
- Petty W.
- 1899 *The Economic Writings of Sir William Petty*, a cura di C.H. Hull, 2 voll., Cambridge University Press, Cambridge.
- Pezzey J.
- 1989 *Economic Analysis of Sustainable Growth and Sustainable Development*, World Bank Environment Department Working Paper n. 15, World Bank, Washington D.C.
- Piaget J.
- 1965 *Sagesse et illusions de la philosophie*, PUF, Paris [trad. it. *Saggezza e illusioni della filosofia*, Einaudi, Torino 1969].
- Pigou A. C.
- 1925 *Memorials of Alfred Marshall*, Macmillan, London.
- Planck M.
- 1906 *Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung*, Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig.
- 1910 *Vorlesungen über Thermodynamik*, Hirzel, Leipzig.
- Polanyi K.
- 1944 *The Great Transformation*, Holt, Rinehart & Winston Inc., New York [trad. it. *La grande trasformazione*, Einaudi, Torino 1974].
- Prattico F.
- 1995 *La tribù di Caino*, Cortina, Milano
- Price J. H.
- 1974 *Dynamic Energy Analysis and Nuclear Power*, Friends of the Earth, London.

Prigogine I.

- 1968 *Introduction à la thermodynamique de processus irréversibles*, Dunod, Paris [trad. it. *Introduzione alla termodinamica dei processi irreversibili*, Lronardo, Roma 1971].
- 1971 *Time, structure and entropy*, in J. Zeman (a cura di), *Time in Science and Philosophy*, Elsevier, Amsterdam 1971.
- 1973 *Irreversibility as a Symmetry-Breaking Process*, in «Nature», n. 246.
- 1996 *La fin der certitudes*, Jacob, Paris [trad. it. *La fine delle certezze*, Bollati Boringheri, Torino 1997].

Prigogine I., George C., Henin F. e Rosenfield L.

- 1973 *A United Formulation of Dynamics and Thermodynamics*, in «Chemical Scripta», I.

Prigogine I. e Stengers I.

- 1984 *Order Out of Chaos*, London.
- 1979 *La nouvelle alliance. Métamorphose de la science*, Gallimard, Paris [trad. it. *La nuova alleanza*, Longanesi, Milano 1981].

Rabinowicz E.

- 1855 *Friction and Wear of Materials*, Wiley, New York.

Rebann K. K.

- 1995 *Energy, entropy, environment: why is protection of the environment objectively difficult?*, in «Ecological Economics», XIII.

Rennings K. e Wiggering H.

- 1997 *Steps toward indicators of sustainable development: linking economic and ecological concepts*, in «Ecological Economics», XX, 1.

Ricardo D.

- 1951-55 *The Works and Correspondence of David Ricardo*, a cura di P. Sraffa, 10 voll., Cambridge University Press, Cambridge.

Ridker R. G. e Watson W. D.

- 1980 *To Choore a Future*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.

Robbins L.

- 1930 *On a Certain Ambiguity in the Conception of Stationary Equilibrium*, in «Economic Journal», XL.

Ruskin J.

- 1903-12 *The Works of John Ruskin*, 39 voll., Allen, Green & Co., London.

Russell B.

- 1946 *History of Western Philosophy and Its Connection with Political and Social Circumstances from the Earliest Times to the Present Day*, G. Allen & Unwin, London [trad. it. *Storia della filosofia occidentale e dei suoi rapporti con le vicende politiche e sociali dall'antichità ad oggi*, Longanesi, Milano 1976].

Ruth M

- 1993 *Integrating Economics, Ecology and Thermodynamics*, Kluwer, Dordrecht.
- 1995 *Information, order and knowledge in economic and ecological system: implications for material and energy use*, in «Ecological Economics», XIII, 2.

Sachs W.

- 1992 (a cura di), *The Development Dictionary*, Zed Books, London [trad. it. *Dizionario dello sviluppo*, Edizioni Gruppo Abele, Torino 1998].
- 1999 *Planet Dialectics*, Zed Books, London.

Samuelson P. A.

- 1948 *Foundations of Economic Analysis*, Harvard University Press, Cambridge (Mass.) [trad. it. *Fondamenti di analisi economica*, Il Saggiatore, Milano 1973].
- 1970 *Economics: An Introductory Analysis*, 8ª ed., Harvard University Press, Cambridge (Mass.) [trad. it. *Economia*, Utet, Torino 1977].

Seneca L. A.

- 1991 *Lettere a Lucilio*, Rizzoli, Milano.

Scazzieri R.

- 1993 *A Theory of Production Tasks, Process and Technical Practices*, Clarendon Press, Oxford.

Schilpp P. A.

- 1970 (a cura di), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, 3ª ed., Open Court, La Salle (Ill.) [trad. it. *Albert Einstein, scienziato e filosofo*, Einaudi, Torino 1958].

Schopf J. W.

- 2003 *La cullo della vita*, Adelphi, Milano.

Schrodinger E

- 1944 *What is Life?*, Cambridge University Press, Cambridge [trad. it. *Che cos'è la vita?*, Sansoni, Firenze 1947].

Schumpeter J. A.

- 1912 *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*, Duncker & Humboldt, Leipzig [trad. it. *La teoria dello sviluppo economico*, Utet, Torino 1932].
- 1951 *Ten Great Economists From Marx to Keynes*, Oxford University Press, New York.

Seaborg G. T.

- 1972 *The Erehwon Machine: possibilities for reconciling goals by way of new technology*, in S. H. Schurr (a cura di), *Energy, Economic Growth and the Environment*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.

Seeger R. J.

- 1974 *Men of Physics: J. Willard Gibbs*, Pergamon Press, New York.

Shiva V.

- 1988 *Staying Alive: Women, Ecology and Survival in India*, Zed Books, London [trad. it. *Sopravvivere allo sviluppo*, Petrini, Torino 1990].
 1997 *Biopiracy. The Plunder of Nature and Knowledge*, South End Press, Boston [trad. it. *Biopirateria. Il saccheggio della natura e dei saperi indigeni*, Cuen, Napoli 1991].

Silver R. S.

- 1971 *Introduction to Thermodynamics*, Cambridge University Press, Cambridge.

Skinner B. F.

- 1969 *Earth Resources*, Prentice Hall, Englewood Cliffs (N.J.) [trad. it. *Le risorse della Terra*, Giunti-Martello, Firenze 1974].

Slessor M.

- 1975 *Accounting for Energy*, in «Nature», n. 254.
 1977 *Energy Analysis*, in «Science», n. 196.

Smith A.

- 1937 *The Wealth of Nations*, a cura di E. Cannan, Random House, New York [trad. it. *La ricchezza delk nazioni*, Utet, Torino 1975].

Solow R. M.

- 1973 *Is the End of the Word at Hand?*, in «Challenge», XVI, marzo-aprile.
 1974 *Intergenerational equity and exhaustible resources*, in «Review of Economic Studies», XLI.
 1986 *On the intertemporal allocation of natural resources*, in «Scandinavian Journal of Economics», LXXXVIII, 1.

Stanley A. P.

- 1846 *The Life and Correspondence of Thomas Arnold, D.D.*, 2^a ed., Appleton, New York.

Swaney J. A.

- 1987 *Building Instrumental Environmental Control Institution - Elements of Neo-institutional Environmental Economics*, in «Journal of Economic Issues», XXI.

Swift J.

- 1914 *The Works of Jonathan Swift*, a cura di W. Scott, vol. XII, Archihald Constable, Edinburgh.

Sylos Labini P.

- 2000 *Sottosviluppo*, Laterza, Roma.

Tani P.

- 1986a *La rappresentazione analitica del processo di produzione: alcune premesse teoriche al problema del decentramento*, in «Note economiche», 4-5.
 1986b *Analisi microeconomica della produzione*, La Nuova Italia Scientifica, Roma.
 1988 *Flow, funds and sectorial interdependence in the theory of production*, in «Political Economy, Studies in the surplus approach», IV, 1.

Taylor R. J.

- 1972 *The Origin of the Chemical Elements*, Wykeham, London

Thom R

- 1972 *Stabilit  structurelle et morphog n se*, Inter dition, Paris.
 1980 *Paraboks et catastrophes*, Flammarion, Paris [trad. it. *Parabole e catastrofi*, Il Saggiatore, Milano 1981].

Thomson W. (Lord Kelvin)

- 1881 *Mathematical and Physical Papers*, vol. I, Cambridge University Press, Cambridge [trad. it. in *Opere*, Utet, Torino 1971].

Tiezzi E.

- 1996 *Fermare il tempo*, Cortina, Milano

Tiezzi E. e Marchettini N.

- 1999 *Che cos'  lo sviluppo sostenibile?*, Donzelli, Roma

Toffler A. H.

- 1995 *Creating a New Civilization*, Turner, Atlanta.

UNDP (United Nations Development Programme)

- 1999 *Rapporto sullo sviluppo umano 10. La globalizzazione*, Rosenberg & Sellier, Torino.

Van Rensselaer Potter

- 1971 *Bioethics: Bridge to the Future*, Prentice Hall, Englewood Cliffs (N.J.).

Varela F., Maturana H. R. e Uribe R.

- 1974 *Autopoiesis: the organization of living systems, its characterization and model*, in «Biosystems», 5.

Vernadsky V. I.

- 1945 *The biosphere and the noosphere*, in «American Scientist», XXXIII, 1
 1999 *La biosfera e la noosfera*, Sellerio, Palermo.

Victor P. A.

- 1991 *Indicators of sustainable development: some lessons from capital theory*, in «Ecological Economics», IV, 3.

Weinberg S.

- 1977 *The First Three Minutes*, Basic Books, New York [trad. it. *I primi tre minuti*, Mondadori, Milano 1977].

Whitehead A. N.

- 1932 *Science and the Modern World*, Cambridge University Press, Cambridge [trad. it. *La scienza e il mondo moderno*, Bompiani, Milano 1959].
 1948 *Science and Philosophy*, Philosophical Library, New York [trad. it. *Scienza e filosofia*, Il Saggiatore, Milano 1948].

- 1958 *Modes of Thought*, Putnam, New York [trad. it. *I modi del pensiero*, Il Saggiatore, Milano 1972].
- 1960 *Process and Reality: An Essay in Cosmology*, Harper & Row, New York [trad. it. *Il processo e la realtà. Saggio di cosmologia*, Bompiani, Milano 1965].
- Winston G.C.
1982 *The Timing of Economic Activities*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Woodwell G. M., Whittacker K. H., Remers W. A., Likens G. E., Delwiche C. G e Botkin D. R.
1978 *The Biota and the World Carbon Budget*, in «Science», n. 199.
- WCED (World Commission on Environment and Development)
1987 *Our Common Future*, Oxford University Press, Oxford [trad. it. *Il futuro di tutti noi*, Bompiani, Milano 1988].
- Wright D.J.
1974 *Goods and Services: An Input-Output Analysis*, in «Energy Policy», 1974, pp. 307-14.
- Yunus M. e Jolis A.
1997 *Vers un monde sans pauvreté*, J. C. Lartés, Paris [trad. it. *Il banchiere dei poveri*, Feltrinelli, Milano 1999].
- Zamagni S.
1994 (a cura di), *Economia e etica*, AVL, Roma.
1998 (a cura di), *Il nonprofit come economia civile*, il Mulino, Bologna.
2002 *L'economia delle relazioni umane. Verso il superamento dell'individualismo assiologico*, in P. L. Sacco e S. Zamagni (a cura di), *Complessità relazionale e comportamento economico*, il Mulino, Bologna.
- Zemansky M. W.
1968 *Heat and Thermodynamics*, McGraw-Hill, New York [trad. it. *Calore e termodinamica*, Zanichelli, Bologna 1970].

Indice dei nomi

- Abelson, Philip H., 177
Adelman, Morris A., 173
Alfvén, Hannes, 136
Allen, C. W., 137 n
Andrews, P. W., 138, 148
Archimede, 20 n
Aristotele, 98, 114, 121, 185, 190, 203
Arnold, Thomas, 193
Artin, 95 n
Auer, P.L., 139 n
Ayres, Clarence, 194
Ayres, E., 41, 90 n
- Bach, G. L., 79 n
Barnett, H. J., 174
Bareson, Gregory, 10-11, 15, 19 e n, 22 e n, 23 n, 47 n, 50
Beard, 7 n
Beckerman, Wilfred, 220
Berry, R. S., 156
Betancourt, Roger R., 201 n
Binswanger, 39
Boisgallais, A.-S., 53 n
Boltzmann, Ludwig, 128, 139 n
Bonaiuti, Mauro, 7 n, 10 n, 35
Bonner, 131, 150
Borel, Emile, 214-15
Boserup, Mogens, 128
Boss, H. C., 178 n
Boulding, Kenneth E., 12, 13 e n, 36 n, 99, 132 e n, 135 n
Boyle, 189
Bridgman, Percy W., 84 n, 139 n, 143 n
Brooks, D. P., 138, 148
Brown, Harrison, 131 e n, 148, 150
Brown, Lester, 222
- Buher, Martin, 20 e n
Burke, Edmund, 194
Butti, K., 172
Bye, R. T., 79 n
Byrd, Bob, 62
- Caillé, Alain, 17, 22 n, 23, 57
Calvin, McIvin, 169
Carlyle, Thomas, 186, 193, 194 n
Carnot, Sadi, 83, 116, 139-40, 143
Castoriadis, C., 17
Chamberlin, Edward H., 72, 203, 212
Chapman, Perer F., 157, 159 e n, 161-62
Chomsky, N., 52
Chynoweth, 165
Clague, Christopher K., 201 n
Clark, Colin, 90 e n
Clausius, Rudolf, 217
Cloud, Preston, 148
Coats, A. W., 193
Cobh, 34 n, 179, 207
Copernico, 66
Cottrell, Fred, 108, 130, 158
Cozette, M., 53 n
Crammer, 79 n
Creasey, S. C., 149
Curran, P. F., 103
- Daly, Herman E., 34 n, 36-37, 99, 100, 111-12, 157 n, 193, 221-22
Darwin, Charles, 70 e n, 214
Dasgupta, P., 179 n
Delbruck, M., 19 n
Denbigh, K., 141 n, 142, 143 n, 161 n
Deriu, Marco, 62
Descartes, 66

Dirichlet, funzione di, 195
 Dodd, J. H., 79 n
 Douglas, 179, 207
 Drewermann, Eugen, 47 e n
 Duhem, Pierre, 128

Eddington, Arthur S., 153, 217
 Edgeworth, Francis Y., 71, 194
 Ehrenfest, P., 139 n
 Ehrenfest, T., 139 n
 Einstein, Albert, 76, 106, 136-37, 205, 217
 Eraclito, 98, 196

Federenko, N. P., 177
 Feynman, R. P., 141
 Fitoussi, Jean-Paul, 127 n
 Flawn, Peter, 148
 Fornaciari, Maria Livia, 62
 Frisch, Ragnar, 195, 203
 Fromm, Erich, 47 n

Galiani, Fernando, 96
 Galilei, Galileo, 66, 181, 189, 210
 Galle, Johann, 66
 Gamow, G., 90 n
 Gardin, 42
 Georgescu-Roegen, Nicholas, 7-11, 15, 19 n, 23 e n, 26 n, 27 n, 29, 30 n, 36 e n, 39-41, 45 n, 62, 64, 73 n, 77 n, 81 n, 84 n, 95 n, 98 n, 100, 101 e n, 102 n, 108, 110, 112, 127 n, 129 n, 132 e n, 134, 136 e n, 139 n, 142, 152 e n, 155, 156 e n, 158, 163, 165, 170, 172, 178, 179 e n, 180 n, 183 e n, 193 n, 195, 196-99, 201, 202 n, 203 n, 205 n, 206 n, 208, 219 n, 221 n
 Gibbs, J. Willard, 110 n, 140, 144, 161 n
 Gilliland, Martha W., 156
 Godbout, J. T., 57
 Goldschmidt, Richard, 73, 214
 Gowdy, J., 7 n
 Grinevald, Jacques, 62

Haar, Dirk ter, 81 n, 139 n
 Hailstones, 79 n
 Hasek, 79
 Havens, R. M., 79 n
 Hayek, F. A., 156 n
 Hayek, Friederick von, 194
 Hayes, Denis, 172, 208
 Heal, G. M., 179 n
 Helm, Genrge, 128
 Helmholtz, Hermann, 115
 Henderson, J. S., 79 n
 Hibbard, E. R. Jr, 96

Hicks, John, 132 n
 Hiebert, E. H., 128
 Hirsch, Fred, 14, 21 n
 Hotelling, Harold, 177-78
 Huettner, David, 136 n, 157
 Huygens, 181, 189, 210

Jevons, W. Stanley, 67, 68, 71, 77, 79 e n, 193-94, 217
 Johnson, H. G., 110 n
 Johnson, S. M., 147 n
 Jones, Richard, 194 n

Kačaturov, T. S., 177
 Kahn, Hermann, 174 e n
 Kapp, William K., 193
 Katchalsky, A., 103
 Kaysen, Carl, 220
 Kelvin, Lord (W. Thomson), 67, 134, 139, 216
 Kenward, M., 157
 Keplero, 66
 Kirkwood, J. G., 149
 Klein, Naomi, 54 n
 Knoll, R. K., 147 n
 Kocher, 11 n
 Koopmans, T. C., 178 n, 179
 Krugman, Paul, 54 e n

Lamarck, J. B. P. A., 214
 Landsberg, Hans H., 176
 Laplace, 23, 66
 Latouche, Serge, 17, 24, 31, 46, 52, 58, 62
 Laville, J.-L., 31, 42
 Leach, G., 159-61
 Leighton, R. B., 141
 Leonardo da Vinci, 65, 203
 Leontief, 159, 163, 205 n
 Leverrier, Urbain, 66
 Lichnerowicz, M., 155
 Lorenz, Konrad, 11 e n, 14 n, 16 n, 45, 47 n
 Lotka, Alfred, 19 n, 115, 213
 Lozada, 7 n
 Luigi XIV, 176

Mach, Ernst, 128
 Magnaghi, A., 24
 Malinvaud, Edmond, 177
 Malthus, Thomas, 69, 70 e n, 76, 217
 Marshall, Alfred, 7, 60, 65, 71-73, 78, 80 n, 100-01, 194 e n, 213
 Martinez-Alier, Juan, 7 n, 11 e n, 62
 Marx, Karl, 10, 50, 70 e n, 71, 76, 79, 80 n, 81 n, 118, 120, 133, 186, 198 n, 203, 206 n
 Maslow, A. H., 27 n

Matzner, Egon, 127 n
 Mauss, 22 n
 Maxwell, 102 n, 147
 Maycock, 223
 Mayumi, 7 n, 26 n, 27 n
 Meadows, 175 e n
 Mesarovic, Mihajlo, 175
 Messance, M., 217
 Miernyk, William H., 127 n, 173, 174 n, 177
 Mill, John Stuart, 70, 77, 98, 100, 101 n, 111-12, 221
 Mishan, Ezra, 99
 Mondale, 182
 Montanari, Pietro, 62
 Morin, E., 23 e n
 Morse, C., 174
 Munda, 11 n
 Murthy, Ranganath, 210 n
 Myrdal, Gunnar, 194

Nash, R., 151
 Nebbia, Giorgio, 62
 Nernst, Walter, 149-50, 152
 Neumann, John von, 142
 Newcomen, Thomas, 181, 209
 Newton, Isaac, 66, 139 n, 181, 215

Oden, Howard Th., 108, 130-31, 157, 158
 O'Hair, James, 103, 111

Oppenheim, I., 149
 Ostwald, Wilhelm, 128, 156 n

Page, N. G., 149
 Pareto, Vilfredo, 67, 71
 Peccei, Aurelio, 175 n
 Pericle, 188
 Perlin, J., 172
 Pestel, Eduard, 175
 Petty, William, 69, 80 e n, 101 n, 156
 Pigou, A. C., 194
 Planck, Max, 138, 140 n, 143-45, 147, 149-50, 152
 Platone, 98, 114, 121, 145
 Potter, S., 166 n
 Price, J. H., 158, 161 e n
 Prigogine, Ilya, 15 n, 23 n, 103, 135, 139 n
 Pucci, Luigi, 62

Rabinowicz, E., 141
 Rankine, Macquorn, 128, 140
 Rawls, John, 56 n
 Ricardo, David, 69, 99-100

Ridker, R. G., 175 n
 Robbins, Lionel, 100
 Rose, 170
 Rostow, Walt, 223
 Ruskin, John, 193, 194 n
 Rutherford, Lord, 172

Sachs, W., 8
 Samuelson, Paul, 79 n, 202, 204 n, 220
 Sands, M., 141
 Savery, Thomas, 181, 209
 Schlipp, P. A., 205
 Schopf, 12 e n
 Schumpeter, Joseph A., 72, 73 e n, 78 e n, 187, 194, 214
 Seaborg, Glenn, 132, 138, 220
 Seeger, R. J., 140, 144
 Senofonte, 185
 Shaw, Bernard, 221
 Silk, Leonard, 212
 Silver, R. S., 105, 141 n
 Skinner, B. F., 148, 151, 165
 Slessor, M., 138, 156, 157 e n, 159-61
 Smith, Adam, 99, 100, 118, 194, 200, 221
 Smith, V. K., 179 n
 Soddy, Frederick, 156 n, 157 n
 Sofocle, 188
 Solow, Robert, 35, 127, 177, 179 e n, 220
 Solvay, Ernest, 156 n
 Spencer, Herbert, 203
 Sprinceanu, Hariton C., 62
 Staniey, A. P., 193
 Stiglitz, J., 35, 179 n
 Stirewalt, 223
 Swift, Jonathan, 110, 151

Takayama, A., 179 n
 Tayler, R. J., 137, 161
 Teller, Eduard, 182
 Thomas, Brinley, 70 n
 Thomson, W. vedi Kelvin, Lord
 Toffler, A. H., 38
 Turing, 142

Van Rensselaer Potter, 113
 Van't Hoff, Jakobus Henrikus, 146-47
 Veblen, Thorstein, 194
 Verdi, Giuseppe, 76

Walras, Léon, 68, 71, 120
 Watson, W. D., 175 n
 Weher, 50
 Weinberg, Alvin, 132, 137, 220

Weir, I. J., 150
Wells, Herbert G., 137 n
Whitehead, Alfred North, 196 n
Wicksteed, Philip H., 195, 202
Wilde, Keith, 156 n
Winston, Gordon C., 201 n

Woodwell, G. M., 151 n
Wright, D. J., 159, 161
Zamagni, Stefano, 21 n, 31, 42, 58, 62, 219
Zeman, Jiri, 211
Zemansky, M. W., 134, 135 n, 140 n, 147

