

LA TEORIA  
BIOECONOMICA

Scppp 1-2-3

G 13

R-G

I.  
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-

\* [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].

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 Georges-u-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.

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 elemento aritico 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 Galle 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 ultrasemplicificati – 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 meccanistico 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 si 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 evolutivistico 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'autunno 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.<sup>1</sup>

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.<sup>2</sup> 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.

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

<sup>2</sup> Fra parentesi, vorrei aggiungere che menti del genere si sono estinte perché se menti 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 tempo del computer in stretto contatto religioso con l'oracolo, impressionandoci con la loro straordinaria abilità di giocare nel maneggiare modelli educatrazziani.

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.<sup>3</sup> 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 «infinitesime 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

<sup>3</sup> L'articolo di Marshall, di cui solo alcuni passi furono introdotti nelle edizioni successive dei *Principii*, appare 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 citradini. 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 e 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 rinuovare 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.<sup>4</sup>

È tuttavia il lavoro di Schumpeter che mostra l'analogia fra lo sviluppo economico e l'evoluzione biologica nel modo più chiaro e stringente.<sup>5</sup> 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 giustiziosa 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

<sup>4</sup> Georgescu-Roegen 1967, pp. 31-38.

<sup>5</sup> 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 aiutata 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. Esso 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 gnaio 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 forma che controlla l'entrata del formicato 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 esosomatica 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 – di energia immagazzinata 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 trascesa 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 *parché* «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.] a 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.<sup>6</sup>

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.<sup>7</sup>

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-

<sup>6</sup> Cf. Georgescu-Roegen 1971a, 1966, trad. it. 1973, pp. 265-79; 1974.

<sup>7</sup> Cf. i lavori citati nella nota precedente.

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

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

GEORGE S C U

2.

La legge di entropia e il problema economico\*

BIO ECONOMIA

1. Un evento curioso nella storia del pensiero economico   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'utilit  e dell'interesse egoistico».<sup>1</sup> E se l'economia ha compiuto dopo di allora grandi progressi, nulla   accaduto che allontanasse il pensiero economico dai binari dell'epistemologia meccanicistica cara ai padri della teoria economica standard. Una prova clamorosa di ci    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.<sup>2</sup> La situazione non   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   irrilevante agli occhi dell'economista standard. E lo stesso   vero per gli economisti marxisti, i quali giurano sul dogma di Karl Marx secondo il quale tutto ci  che la natura offre all'uomo   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; gi  pubblicato in «The Ecologist», II (1972), 7, pp. 13-181.

<sup>1</sup> Jevons 1924, p. 21.

<sup>2</sup> Per esempio Bye 1956, p. 253; Bach 1957, p. 60; Dodd, Hasek e Haisones 1957, p. 125; Hagens, Henderson e Cammer 1966, p. 49; Samuelson 1970, p. 42.

<sup>8</sup> Schumpeter 1912, trad. it., p. 69.

spontaneo.<sup>3</sup> Anche nel famoso diagramma marxiano della riproduzione il processo economico è rappresentato come qualcosa che è completamente circolare e che si autotalmenta.<sup>4</sup>

Ma autori precedenti avevano guardato in un'altra direzione: per esempio William Petry, il quale sostiene che il lavoro è il padre e la natura la madre della ricchezza.<sup>5</sup> 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. E' 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'energia<sup>6</sup> — 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

<sup>3</sup> Marx 1906, vol. I, pp. 94, 199, 230 e *passim*.

<sup>4</sup> *Ibid.*, vol. II, cap. 20.

<sup>5</sup> Petry 1899, vol. II, p. 377. Curiosamente, Marx si disse d'accordo con l'idea di Petry, ma sostiene 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).

<sup>6</sup> Per esempio Marshall 1924, p. 63.

il resto dell'universo materiale.<sup>7</sup> 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 — diciamo 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*.<sup>8</sup>

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».<sup>9</sup> A peggiorare le cose, e non solo per il profano, il termine circola ora con parecchi significati, tutti associati a una coordinata fisica.<sup>10</sup> 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

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

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

<sup>9</sup> Haar 1959, p. 37.

<sup>10</sup> 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 antropomorfica. 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 antropomorfico. 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 invece 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 grado 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 si fa fatto 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.<sup>11</sup> 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

<sup>11</sup> 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 accertata senza ricorrere 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 (nono 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 oculiata 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 W. Bridgman, di contrabbandare entropia. Per una critica degli errori logici della meccanica statistica e dei vari tentativi di porvi rimedio, cfr. Georgescu-Roegen 1971a, cap. 6.

mera sciocchezza. La verità è che ogni organismo vivente si adotta 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 combattono 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'indica 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.<sup>12</sup>

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. E inoltre a causa della particolare

<sup>12</sup> 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. È 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 minerali). Retrospettivamente, appare evidente che gli economisti di entrambe le scuole hanno soggiaciuto al peggiore 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.<sup>15</sup> 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 riportare 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 schiaffeggiati dall'inquinamento, tanto gli scienziati quanto gli economisti sono stati colti di

<sup>15</sup> Cfr. sopra, 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 di 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 imponente (che si frappone anche all'utilizzazione industriale della «bomba a idrogeno») è che nessun contenitore materiale può resistere alla temperatura di reazioni termonucleari 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 minerali 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 «dotte» 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. Sol tanto 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.<sup>14</sup> Ma, per quanto appaia difficile crederlo, l'intero stock terrestre non potrebbe produrre più che pochi giorni di luce solare.<sup>15</sup>

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'appropriate amministrazione delle risorse la terra possa nutrire fino a quarantacinque miliardi di persone.<sup>16</sup> 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 sovrato 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-

<sup>14</sup> Gamow 1958, pp. 493 sg.

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

<sup>16</sup> 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 *civil-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 annuntare 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 godere 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 contrasegno 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, quando 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 arischiato che predire a grandi linee la vita di un bambino appena nato. Una di queste riflessioni è che l'accreciuta 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).<sup>17</sup> 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.

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.<sup>1</sup>

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

\* Testo tratto da *Energy and economic myths*, in «The Southern Economic Journal», XLI (1975), 3; poi in Georghescu-Roegen 1976a; già pubblicato in N. Georghescu-Roegen, *Energia e miti economici*, Bellini Boringhieri, Torino 1978, pp. 90-92f.

<sup>1</sup> 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 riceverete non fu nemmeno tiepida. Cfr. Artin 1973, p. 72.

<sup>17</sup> 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.

essere adeguatamente fornita dalla sola agricoltura organica.<sup>2</sup> 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, superaffreddamento, 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* (1756). 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 1958, 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

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 prerequisite importante per una buona vita è una quantità considerevole di tempo libero trascorso in modo intelligente.

Studiare 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.

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