GIORGIO NEBBIA

ATTIVITA' UMANE, RIFIUTI, INQUINAMENTO

1. *Contabilità economica e contabilità ecologica.*

L'economia ambientale, nuovo capitolo della scienza economica, è destinata ad avere un ruolo importante nell'orientare gli amministratori verso scelte che assicurino un aumento dello sviluppo economico e sociale riducendo i danni ambientali. Tali danni derivano (*a*) dall'eccessiva sottrazione dalle loro riserve delle risorse naturali non rinnovabili (minerali, combustibili fossili, ecc.), ma anche di certe risorse rinnovabili scarse (come l'acqua, i prodotti forestali, ecc.), e (*b*) dall'introduzione nell'ambiente di rifiuti in forma nociva e inquinante.

Per poter svolgere una realistica politica contro le nocività ambientali, per poter identificare e valutare i danni e per poter applicare adatti strumenti di economia pubblica (imposte agli inquinatori, sussidi alla depurazione, risarcimento agli inquinati, ecc.) occorre disporre di accurate informazioni sui cicli produttivi, sulla formazione e dispersione dei rifiuti, sull'uso del territorio, ecc. (1).

Per limitarsi al caso, relativamente più semplice, delle nocività ambientali dovute agli inquinamenti, la correzione degli effetti negativi dovuti allo scarico dei rifiuti è possibile solo

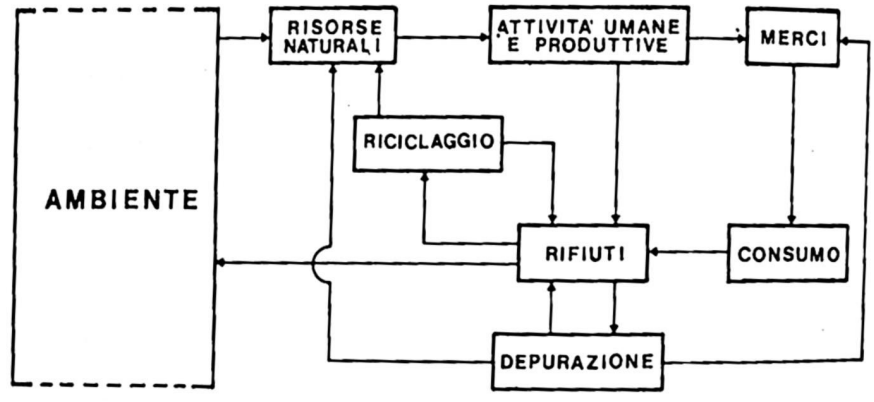
(1) Sulla relazione fra disponibilità di informazioni ecologiche ed efficacia delle azioni di politica economica dirette a combattere le nocività ambientali si veda: ROBERT M. SOLOW, *The economist's approach to pollution and its control*, « Science », 173, 498-503 (6 August 1971), e A. MYRICK FREEMAN III e R. H. HAVEMAN, *Residual charges for pollution control: a policy evaluation*, « Science », 177, 322-329 (28 July 1972). Questi due importanti lavori sono tradotti in italiano in: *Saggi di economia ambientale*, a cura di G. Cannata, Pubblicazione dell'Università Intern. degli Studi Sociali (Roma), Giuffrè, Milano, in corso di stampa. Cfr. anche: W. W. HELLER, *Coming to terms with growth and the environment*, in: S. H. SCHURR (editor), *Energy, economic growth and the environment*, Johns Hopkins Press, Baltimore, Md., 1972, p. 3-29.

disponendo di una accurata contabilità ecologica ad integrazione della contabilità economica tradizionale. Scopo della presente relazione è la proposta di un modello di contabilità economico-ecologica.

2. *Rifiuti e inquinamento.*

L'esame dei fenomeni ecologici e merceologici mostra che tutte le nostre attività consistono nel sottrarre le risorse naturali dalle loro riserve, di dimensioni grandi o grandissime, ma finite, e nel trasformarle, con la nostra tecnologia, in merci. Nel corso del processo tecnologico si formano dei rifiuti (2); inoltre le merci, dopo l'uso, si trasformano a loro volta, in un tempo più o meno breve, in rifiuti. La figura 1 illustra schematicamente questi rapporti.

FIGURA 1. - *Gli scambi fra le attività umane e produttive e l'ambiente.*



Va innanzitutto precisato che la quantità di rifiuti derivanti dai processi produttivi e dai processi di « consumo » delle merci è, per la legge di conservazione della massa, rigorosamente uguale alla quantità di risorse sottratte all'ambiente. (Soltanto la produzione di energia nucleare dipende da reazioni nelle quali la definizione di « conservazione della massa » richiede alcune precisazioni).

---

(2) Per attenuare la brutalità del termine si potrebbe parlare di « residui » delle varie attività o lavorazioni, ma il problema non cambia per cui tanto vale — come si è fatto nel corso di questo articolo — chiamare le cose col loro nome.

Di conseguenza la quantità dei rifiuti è *superiore* alla quantità di risorse e merci effettivamente oggetto di transazioni economiche e ciò perché sia nel processo produttivo, sia in quello di « consumo », per la trasformazione delle merci vere e proprie vengono usate « merci ambientali », senza che a tale uso corrispondano transazioni economiche; si pensi, per esempio, all'ossigeno dell'aria impiegato nelle combustioni. Gli scambi illustrati nella figura 1 si riferiscono sia a prodotti chimici, sia ad energia.

Una parte delle risorse e delle merci viene immobilizzata, per un tempo più o meno grande, prima di trasformarsi in rifiuti: si pensi alla sabbia, ai materiali da costruzione, al cemento, ai metalli dei macchinari, eccetera (3). Il termine « consumo » è stato usato in maniera provocatoria perché da quanto precede appare che noi non « consumiamo » niente delle risorse e delle merci con cui abbiamo a che fare, ma realizziamo soltanto delle trasformazioni il cui risultato finale è un rifiuto.

Torniamo alla figura 1: una parte dei rifiuti viene direttamente immessa nell'ambiente; il quadrato dell'« ambiente » è stato disegnato in modo da dare l'idea che esso è grande, ma non infinito, per cui quando una parte delle risorse viene sottratta e una parte dei rifiuti viene reimmessa nell'ambiente, la « qualità » (la qualità merceologica, nel senso della capacità di continuare a fornire risorse in futuro) dell'ambiente stesso risulta degradata.

L'ambiente naturale ha delle proprietà di autodifesa, di autodepurazione (i cicli naturali che forniscono le risorse rinnovabili, come l'acqua, la vegetazione, gli animali, trasformano alcuni rifiuti in nuove sostanze nutritive utili alla propagazione della vita; vari processi fisici, chimici, biologici modificano i caratteri nocivi di alcuni dei rifiuti che vengono immessi nell'ambiente), ma tali proprietà sono limitate, anche se sono grandi o grandissime: un fiume è capace di degradare una certa quantità di rifiuti organici, ma al di là di questa soglia viene a mancare ossigeno o la carica microbica e la capacità di autodepurazione cessa.

A questo punto è opportuno proporre la distinzione fra rifiuti e inquinamento; un rifiuto è fonte di inquinamento, cioè

(3) I materiali da costruzione impiegati per le Piramidi e per il Colosseo sono immobilizzati da migliaia di anni, anche se i Papi del Rinascimento, invece di estrarre altre pietre dalle cave, hanno trovato comodo « riciclare » una parte delle pietre del Colosseo per costruire altri edifici.

di alterazione grave della qualità del corpo ambientale ricevente, quando la sua natura chimica o la sua quantità sono tali da superare le proprietà di autodepurazione o di diluizione del corpo ricevente stesso. Un rifiuto anche tossico, come il mercurio, sarebbe poco nocivo se fosse diluito, fino a raggiungere bassissime concentrazioni, in un grande corpo ricevente come il mare e se in questo mare non fosse (come invece è) assorbito, fissato e concentrato dagli organismi marini che diventano poi alimenti per l'uomo. Si verifica, perciò, che quantità anche relativamente piccole di mercurio, immesse nel mare, costituiscono una fonte di inquinamento ed arrecano danno a coloro che lo assorbono attraverso i prodotti della pesca.

Quantità molto grandi di anidride carbonica — il rifiuto di tutti i processi di combustione — possono diluirsi in una grande massa di aria e da questa vengono eliminate attraverso i processi fotosintetici o per assorbimento nel mare; esse pertanto non costituiscono praticamente una fonte di inquinamento e di nocività (se si esclude un eventuale e discusso « effetto serra » che si verificherebbe in seguito ad un lento secolare aumento della concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera, per cui varierebbero le caratteristiche di trasparenza dell'atmosfera stessa alla radiazione infrarossa; ne deriverebbe una variazione del bilancio termico dell'intero pianeta).

Se le conoscenze ecologiche indicano che l'immissione di certi rifiuti in certi corpi riceventi può essere fonte di nocività, allora si può ricorrere ad azioni di difesa dell'ambiente attraverso delle operazioni di trattamento dei rifiuti da parte dell'uomo, in modo che il materiale che alla fine viene immesso nell'ambiente sia in forma non inquinante.

Come è stato schematizzato ancora nella figura 1, queste operazioni possono essere di due tipi: le prime, quelle di « riciclaggio », evitano che un rifiuto venga immesso nell'ambiente e nello stesso tempo consentono di ricuperare dei materiali che possono essere rimessi nel ciclo produttivo (carcasse di autoveicoli o di macchinari, copertoni usati, carta straccia, ecc.), oltre, naturalmente, ad una parte di altri rifiuti; le altre operazioni, quelle di « depurazione », modificano la natura fisica e chimica del rifiuto: le sostanze organiche vengono trasformate in sostanze inorganiche o in composti gassosi, alcune sostanze solubili in acqua vengono trasformate in sostanze insolubili, alcuni composti

che finirebbero nell'atmosfera vengono filtrati e separati dai gas non nocivi, ecc. Anche in questo caso una parte dei prodotti di trasformazione costituisce dei nuovi rifiuti e una parte rappresenta dei materiali di nuovo utilizzabili nei cicli produttivi.

Dal punto di vista del bilancio materiale, i processi di trattamento dei rifiuti comportano in generale un *aumento* del peso dei rifiuti che alla fine vengono immessi nell'ambiente; tali rifiuti, però, sono in forma tale da risultare meno nocivi (sempre in generale) rispetto al rifiuto originale.

La figura 1 mostra che tutto quanto è stato sottratto dall'ambiente vi ritorna, più o meno presto, in forma degradata, con un aumento dell'entropia del sistema; la biosfera è un sistema chiuso, il che giustifica l'immagine che ha paragonato la Terra ad una nave spaziale (4); dall'ambiente traiamo tutto quanto occorre per la nostra vita biologica ed economica e nello stesso ambiente rigettiamo i nostri rifiuti. Tale immagine ci dice che non possiamo sfruttare all'infinito le risorse del pianeta, anche se questa costatazione non deve dar luogo ad un senso di scoraggiamento: l'economista ha sempre saputo come trattare i problemi delle risorse scarse e la presente analisi si propone proprio di fornirgli i dati quantitativi sulla «scarsità» delle risorse della biosfera.

È a questo punto che ecologia e economia trovano il loro punto di incontro; Haeckel, oltre un secolo fa, aveva indicato l'ecologia come lo studio dell'*economia della natura*, cioè dei bilanci degli scambi materiali che hanno luogo nel regno della natura. A questi scambi sono associati effetti economici non (o difficilmente) monetizzabili di cui il contabile delle attività economiche non ha finora tenuto conto, ottenendo così delle analisi distorte (5).

---

(4) La suggestiva immagine della necessità di gestire le risorse del pianeta Terra come fanno gli astronauti con le limitate risorse disponibili nella loro nave spaziale — l'immagine della Spaceship Earth — è stata proposta indipendentemente e contemporaneamente da varie persone. Le fonti citate più spesso sono una conferenza di Adlai Stevenson tenuta all'Economic and Social Council delle Nazioni Unite a Ginevra il 9 luglio 1965, il libro di Barbara Ward, *Spaceship Earth*, Columbia University Press, New York, 1966; il saggio di Kenneth Boulding, *The economics of the coming Spaceship Earth*, in H. Jarrett (editor), *Environmental quality in a growing economy*, Johns Hopkins Press, Baltimore, Md., 1966, p. 3-14. Altrove ho trovato citato anche il nome di Buckminster Fuller (autore di *Operating manual for Spaceship Earth*, Carbondale, Illinois, 1969) come padre di tale espressione.

(5) Per alcuni riferimenti alla vasta letteratura sull'argomento cfr.: G. Nebbia, *Ecologia e economia*, «Giornale degli Economisti», N. S., 32, (7/8),

L'inquinato ha un danno economico senza avere alcun utile; l'inquinatore ci guadagna evitando di depurare e danneggiando gli inquinati; il disinquinamento costa senza essere associato ad alcun utile per l'inquinatore. Per valutare costi e benefici, per ristabilire una situazione di giustizia, per condurre una politica di difesa dell'ambiente ricorrendo agli strumenti tradizionali dell'analisi economica, occorre avere a disposizione dei dati più accurati sugli scambi chimici, fisici e biologici che hanno luogo nel quadro delle attività sia naturali che umane. La raccolta e l'elaborazione di tali dati è appunto lo scopo della contabilità economico-ecologica.

3. *Le matrici dei rifiuti. Proposte metodologiche.*

Una tale contabilità economico-ecologica può essere rappresentata sotto forma di « matrici dei rifiuti » che costituiscono una estensione delle ben note matrici intersettoriali dell'economia (6).

Una matrice dei rifiuti si propone di rispondere alle seguenti domande: (*a*) qual è la richiesta di risorse naturali e di beni o merci ambientali associata ad una certa attività o produzione merceologica? (*b*) qual è la produzione di rifiuti associata ad una certa attività o produzione merceologica? (*c*) se si vuole ridurre

---

435-455 (luglio-agosto 1973). Si veda anche la ricerca di G. CANNATA, *Bibliografia di economia ambientale*, in: *Saggi di economia ambientale*, a cura di G. CANNATA, Pubblicazione dell'Università Intern. degli Studi sociali (Roma), Giuffrè, Milano, in corso di stampa.

(6) Come è noto, le matrici intersettoriali dell'economia derivano dall'opera dell'economista francese F. QUESNAY (*Il 'tableau économique' e altri scritti di economia*, a cura di M. RIDOLFI, ISEDI, Milano, 1973), pubblicata nel 1758; Mirabeau definì la « tavola economica » di Quesnay come « la grande scoperta che assicura gloria al nostro secolo e che darà i suoi frutti alla posterità »; è significativo che Quesnay fosse un medico, sensibile, quindi, alla lettura degli aspetti biologici e vitali dei fatti economici. L'argomento degli scambi fra i vari settori di una economia fu ripreso da K. MARX (*Il capitale*, vol. II, Editori Riuniti, Roma, e *Teorie sul plusvalore*, Editori Riuniti, Roma, 1961). Una prima applicazione di queste idee all'elaborazione del bilancio di un'economia nazionale fu fatta nell'Unione Sovietica negli anni Venti (si veda, per es.: N. SPULBERG, *La strategia sovietica per lo sviluppo economico, 1924-1930. La discussione degli anni Venti nell'URSS*, Einaudi, Torino, 1970). Una vera teoria delle interdipendenze settoriali fu però sviluppata negli anni Trenta negli Stati Uniti da Wassily Leontief, il cui contributo ha ricevuto il recente riconoscimento del premio Nobel 1973 per l'economia (cfr., per es.: W. LEONTIEF, *Teoria economica delle interdipendenze settoriali* (*input-output*), ETAS/Kompass, Milano, 1968). Tale teoria è divenuta oggi uno strumento normale di lavoro per gli economisti, come testimoniano le numerose opere e conferenze internazionali dedicate all'analisi input-output.

la concentrazione di un certo agente (prodotti chimici, calore, radioattività, ecc.) in un certo settore dell'ambiente (fiumi, laghi, mare, aria, suolo, ecc.) su quali settori delle attività umane e produttive occorre agire? (*d*) quali effetti sulla disponibilità di merci e servizi, sull'occupazione e sugli scambi internazionali derivano da una politica diretta a contenere lo sfruttamento delle risorse naturali o la produzione di rifiuti?

Numerosi ricercatori in vari paesi hanno tentato l'elaborazione di matrici dei rifiuti. Probabilmente la prima proposta di estendere l'analisi delle relazioni intersettoriali includendo la produzione di rifiuti è quella di Cumberland (7), sviluppata essenzialmente per studi economici a livello regionale; nella matrice tradizionale *input-output* sono state introdotte alcune righe e colonne che si riferiscono alle transazioni relative alla sottrazione di risorse naturali dall'ambiente, all'immissione di rifiuti nell'ambiente e alle attività di depurazione e disinquinamento. Lungo la stessa linea un altro studioso di problemi di economia regionale, Isard (8), ha elaborato una proposta di modello economico-ecologico associando alle merci ecologiche un prezzo negativo corrispondente al danno derivante dalla loro immissione nell'ambiente.

Un contributo importante è stato dato da Daly (9) che ha proposto di inserire, a fianco del quadro delle interrelazioni economiche, altri quadri con le transazioni, non associate a prezzi, di « merci » trasferite dal settore dell'ambiente a quello dell'economia e viceversa. Mentre nel modello tradizionale input-output

---

(7) J. H. Cumberland, *A regional interindustry model for analysis and development objectives*, « Regional Science Association Papers », 17, 65-95 (1966); J. H. Cumberland e J. R. Hibbs, *Alternative future environments: some economic aspects*, Institute of Management Sciences, 9 March 1970; J. H. Cumberland e altri, *Equips-Mabet, Model description and worksheet instructions*, 23 September 1970; J. H. Cumberland, *Environmental implications of regional development*, Canadian Economic Association, November 1970; J. H. Cumberland, *Application of input-output techniques to the analysis of environmental problems*, in: A. Brody e A. P. Carter (editors), *Input-output techniques*, North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1972; J. H. Cumberland, *The economics of environmental relationships*, University of Maryland, 19 May 1971; J. H. Cumberland, *Un modèle concernant les relations économiques de l'environnement*, « Revue économique du Sud-ouest », 22, (1), 35-50 (1973).

(8) W. Isard e altri, *On the linkage of socio-economic and ecologic systems*, « Regional Science Association Papers », 21, 79-99 (1968); W. Isard e altri, *Ecologic-economic analysis for regional development*, Free Press, New York, 1971.

(9) H. E. Daly, *On economics as a life science*, « Journal of Political Economy », 76, 392-406 (May-June 1968).

tutti gli scambi sono espressi in unità monetarie, a causa della mancanza di un prezzo di mercato per le « merci » ecologiche non è possibile attribuire un valore monetario agli scambi dei settori ecologici, così come non è possibile aggregare in unità omogenee i prodotti e i sottoprodotti delle attività economiche. Daly constatò che, quando si passa a mettere dei numeri in una tale contabilità, ci si scontra con grandi difficoltà.

Quasi contemporaneamente il gruppo di studiosi dell'organizzazione americana *Resources for the Future* sviluppò una analisi della produzione di rifiuti partendo da una estensione della teoria generale dell'equilibrio di Walras-Cassel per tenere conto dei costi economici del deterioramento ambientale dovuto all'immissione di rifiuti. Alcune applicazioni, in forma di tabelle in unità fisiche, sono state fatte per la produzione di rifiuti nell'industria saccarifera ed in altre attività (10).

Una svolta importante in questi studi si è avuta con l'intervento di Leontief (11) che ha esteso la sua analisi delle relazioni intersettoriali al problema della valutazione degli effetti che le attività economiche hanno sull'ambiente attraverso la produzione di rifiuti. Sulla scia dei lavori di Leontief vari altri autori hanno tentato delle applicazioni (12) (13); alcuni studiosi olandesi hanno condotto un'analisi dell'immissione nell'atmosfera di agenti inquinanti di provenienza industriale (14).

---

(10) A. V. Kneese, R. U. Ayres e R. D. D'Arge, *Economics and the environment: a materials balance approach*, Johns Hopkins Press, Baltimore, Md., 1970; R. U. Ayres, *A materials-process-product model*, in: A. V. Kneese e B. T. Bower (editors), *Environmental quality analysis*, Johns Hopkins Press, Baltimore, Md., 1972, p. 35-67; C. S. Russell e W. O. Spofford Jr., *A quantitative framework for residuals management decisions*, in *Environmental quality analysis*, cit., p. 115-179.

(11) W. Leontief, *Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach*, « Review of Economics and Statistics », 52, (3), 262-271 (August 1970); anche in: S. Tsuru (editor), *Environmental disruptions*, Asahi Evening News, Tokyo, 1970, p. 114-134; traduzione italiana col titolo: *Relazioni fra le strutture economiche ed i loro effetti sull'ambiente secondo l'analisi input-output*, in: *Saggi di economia ambientale*, a cura di G. Cannata, Pubblicazione dell'Università Intern. degli Studi Sociali (Roma), Giuffrè, Milano, in corso di stampa; W. Leontief e D. Ford, *Air pollution and the economic structure: empirical results of input-output computations*, January 1971; W. Leontief, *National income, economic structure and environmental externalities*, Conference on the measurement of economic and social performance, Princeton, N. J., November 1971.

(12) R. Stone, *The evaluation of pollution; balancing gains and losses*, « Minerva », 1973.

(13) J. E. Meade, *Citizens' demands for a clean environment*, « Industria », 1972, (3/4), 145-152.

(14) F. Muller e W. Peluplessy, *Economische waardering van der*

Nel luglio 1971 presso l'O.C.S.E. a Parigi si è tenuto un seminario sull'economia ambientale (15) nel corso del quale sono state presentate delle proposte di matrici dei rifiuti da parte di un gruppo di economisti norvegesi (16) e anche da parte dell'autore (17). Quasi contemporaneamente Peter Victor elaborava una propria analisi che era oggetto della tesi di dottorato e veniva poi esposta in un interessante volume (18) nel quale è presentata anche una rassegna e analisi critica dei principali tentativi precedenti di matrici dei rifiuti.

Altre ricerche sono state pubblicate successivamente a fini di previsione della produzione di rifiuti dalla IR&T per l'economia americana (19) dal Battelle Research Center di Ginevra (20), come metodologia di valutazione dell'inquinamento al 1980, dalla Systems Research (21). Una recente indagine ha tentato un'analisi della produzione di rifiuti industriali in Alsazia (22).

---

scaarse lucht in Rijnmond [*Valutazione economica dell'aria come risorsa scarsa a Rijmond*], «Economisch-Statistische Berichten», Marzo 1971, 293-306.

(15) O.E.C.D., *Problems of environmental economics*, Paris, 1972.

(16) F. R. Forsund e S. Strom, *Outline of a macroeconomic analysis of environmental pollution: a multi-sectoral approach*, in: *Problems of environmental economics*, O.E.C.D., Paris, 1972, p. 125-141. Dello stesso gruppo si veda anche: S. Strom, *Dynamics of pollution and waste treatment activities*, Institute of Economics, Memorandum, University of Oslo, May 1972; F. R. Forsund e S. Strom, *Industrial structure, growth and spillovers: a macroeconomic multi-sectoral approach*, in: J. Rothenberg (editor), *Proceedings. Symposium of the International Economic Association*, Copenhagen, 1972, MIT Press, Cambridge, Mass., in corso di stampa; F. R. Forsund, *Environmental externalities: an equilibrium approach*, «Regional and Urban Economics», 3 (1), 3-32 (1973).

(17) G. Nebbia, *Economic effects of technology changes in relation to the environment*, in: *Problems of environmental economics*, O.E.C.D., Paris, 1972, p. 181-197. Per ricerche successive cfr., oltre all'articolo dell'autore citato nella nota (5): G. Nebbia, *Costs and benefits of environmental protection*, «Nature in focus», No. 16, 18-20 (1973) e *Il prezzo per vivere*, «Rivista IBM», 9, (3), 8-17 (1973).

(18) P. Victor, *Pollution: economy and environment*, Allen and Unwin, London, 1972.

(19) L. Ayres, I. Gutmanis e A. Shapanka, *Environmental implications of technological and economic change for the United States, 1967-2000: an input-output analysis*, International Research and Technology Corp., Washington, IRT-229-R, June 1971.

(20) Battelle Geneva Research Center, *Elements pour l'élaboration d'un programme input-output Pollution 1980*, Genève, Mars 1972.

(21) Systems Research Group Inc., *The waste production model*, Toronto, Ontario, 1971.

(22) J. R. Boudeville, *Economic analysis of atmospheric pollution; the example of Alsace*, «Regional and Urban Economics», 3 (1), 103-126 (1973); J. H. Boudeville, *La gestion de l'environnement*, «Revue économique du Sud-ouest», 22, (1), 13-34 (1973).

L'importanza dell'introduzione di un flusso di rifiuti nell'analisi *input-output* appare, senza ulteriori approfondimenti, nel libro di Georgescu-Roegen (23) e, sulla base dei principi della termodinamica, Overbury ha di recente descritto un'economia « chiusa » e i relativi flussi interni, comprendendo gli scambi con l'ambiente (24).

4. *Una nuova proposta di matrice dei rifiuti.*

L'esame delle proposte di matrici dei rifiuti finora apparse nella letteratura mostra che nessuna di esse ha superato la fase di elaborazione teorica, a causa di varie difficoltà sperimentali, la principale delle quali consiste nella necessità di correlare grandezze non omogenee. I dati relativi agli scambi intersettoriali delle attività economiche sono, infatti, disponibili nelle normali statistiche in unità monetarie; gli scambi relativi alle merci ambientali, invece, devono essere descritti in unità fisiche (pesi di sostanze o unità di energia per il calore, il rumore, la radioattività, ecc..)

Una proposta per superare questa situazione è presentata nella figura 2 che consta essenzialmente di tre quadri, indicati con le lettere A, B, C, e contenenti gli scambi, in unità fisiche o naturali (25), fra i vari settori delle attività economiche ed ecologiche. Tali scambi sono indicati come X_{xy} per rappresentare la quantità di beni trasferiti da uno dei settori x a uno dei settori y. I vari settori sono caratterizzati dalle seguenti lettere:

a settori dei beni ambientali (aria, acqua, ecc.) al cui uso non corrisponde alcuna transazione monetaria;
b settori dell'agricoltura;
c settori dei consumi finali, domestici, del commercio e della pubblica amministrazione;
e esportazioni;
i importazioni;

---

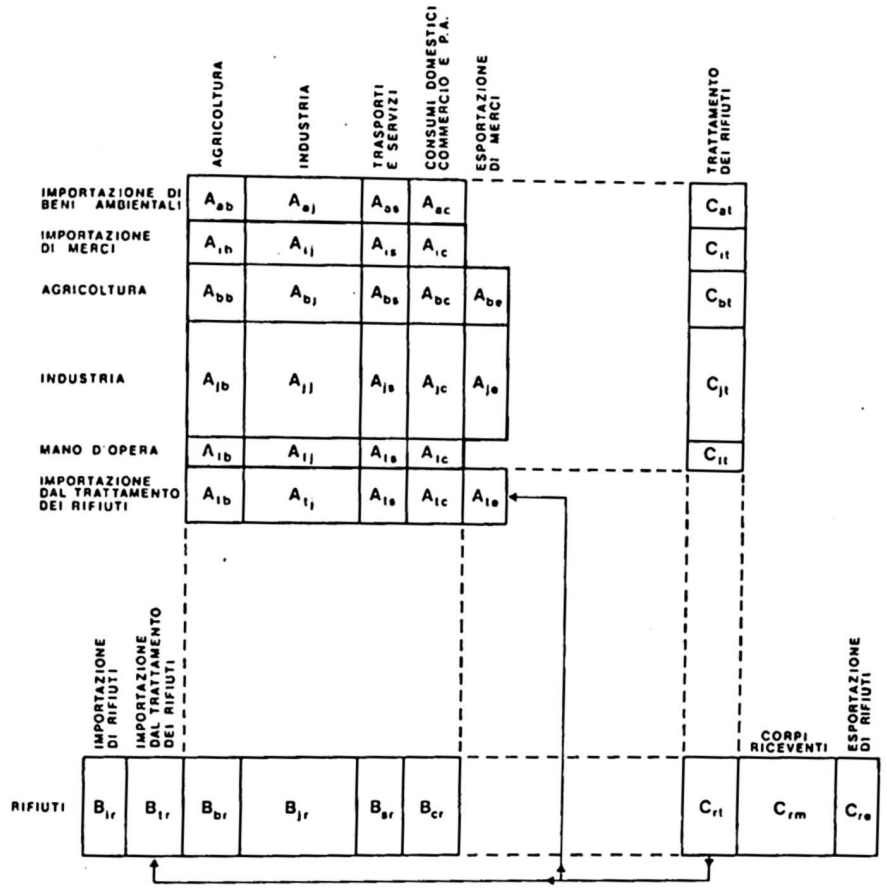
(23) N. Georgescu-Roegen, *The entropy law and the economic process*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1971, specialmente p. 254.

(24) R. E. Overbury, *Features of a closed-system economy*, « Nature », 242, 561-565 (27 April 1973): si veda anche la lettera dello stesso Overbury, *Nature*, 243, 554-555 (29 June 1973).

(25) Sulle funzioni di produzione delle merci si veda l'importante contributo di P. Sraffa, *Produzione di merci a mezzo di merci. Premessa a una critica della teoria economica*, Einaudi, Torino, 1960.

j settori della produzione industriale;
l mano d'opera;
m corpi riceventi ambientali (aria, fiumi, mare, suolo, ecc.);
r rifiuti (composti chimici, calore, radioattività, ecc.);
s settori dei trasporti e di altri servizi;
t settori del trattamento dei rifiuti, depurazione, riciclaggio, ecc.

FIGURA 2. - *Uno schema di contabilità economico-ecologica.*



Cominciamo ora ad esaminare il quadro A che comprende, delimitati da una riga più marcata, gli scambi fra i vari settori della produzione e dei consumi considerati nelle contabilità economiche tradizionali, con la sola variante che nella presente elaborazione tali scambi sono indicati in unità naturali, anziché

in unità monetarie. È così possibile riconoscere in tale quadro i seguenti scambi:

A_{ib} quantità di merci importate nei settori *b* della produzione agricola;

A_{ij} quantità di merci importate nei settori *j* della produzione industriale;

A_{is} quantità di merci importate nei settori *s* dei trasporti e servizi;

A_{ic} quantità di merci importate nei settori *c* dei consumi finali.

Passando alla riga successiva troveremo:

$A_{bb}, A_{bj}, A_{bs}, A_{bc}, A_{bc}$ quantità di merci trasferite dai settori *b* della agricoltura, rispettivamente, ai settori *b* della stessa agricoltura, ai settori *j* della produzione industriale, ai settori *s* dei trasporti e dei servizi, ai settori *c* dei consumi finali, e, infine, (A_{bc}) quantità di merci prodotte dai settori dell'agricoltura ed esportate.

Passando alla riga ancora successiva troveremo:

$A_{jb}, A_{jj}, A_{js}, A_{jc}, A_{je}$ quantità di merci trasferite dai settori *j* della produzione industriale, rispettivamente, ai settori *b* dell'agricoltura, ai settori *j* della stessa produzione industriale, ai settori *s* dei trasporti e servizi, ai settori *c* dei consumi finali, e, infine, (A_{jc}) quantità di merci prodotte dai settori industriali ed esportate.

$A_{lb}, A_{lj}, A_{ls}, A_{lc}$ mano d'opera (in unità naturali, ore di lavoro, numero di addetti) assorbita dai settori, rispettivamente, dell'agricoltura, della produzione industriale, dei trasporti e servizi, e dei consumi finali.

Passiamo ora ad esaminare i nuovi quadri cominciando da quelli dell'importazione di beni ambientali. Troveremo così:

$A_{ab}, A_{aj}, A_{as}, A_{ac}$ quantità di beni o merci ambientali *a* assorbiti, rispettivamente, dai settori *b* dell'agricoltura, dai settori *j* della produzione industriale, dai settori *s* dei trasporti e servizi, e dai settori *c* dei consumi finali. In questi quadri figurano gli scambi dei beni ambientali a cui non corrisponde alcuna transazione monetaria, ma che hanno effetti ecologici di qualche tipo. È questo il caso dell'acqua per ir-

rigazione, dell'ossigeno dell'aria necessario per le combustioni, per le ossidazioni industriali, dell'aria per la fabbricazione di azoto e ossigeno, ecc.

Tralasciamo per ora l'ultima riga del quadro *A*, a cui ritorneremo fra poco.

Ciascuno dei settori dell'agricoltura, dell'industria, dei trasporti e servizi e dei consumi finali, nella trasformazione e nell'uso delle varie merci ricevute dagli altri settori, produce, insieme a merci e servizi, anche rifiuti costituiti da composti chimici, da calore, radioattività, rumore, ecc. La quantità di tali rifiuti e la loro provenienza appaiono nel quadro *B*. Ciascuna riga contiene le quantità, in unità fisiche, di ciascun rifiuto prodotto dai vari settori, e ciascuna colonna contiene le quantità dei vari rifiuti prodotte da ciascun settore: in questo modo è anche possibile identificare l'importanza relativa dei vari settori come fonti di nocività ambientali. Troveremo così:

B_{br} quantità dei vari rifiuti r prodotti dai vari settori b della agricoltura;

B_{jr} quantità dei vari rifiuti r prodotti dai vari settori j delle attività industriali;

B_{sr} quantità dei vari rifiuti r prodotti dai vari settori s dei trasporti e servizi;

B_{cr} quantità dei vari rifiuti r prodotti dai vari settori c dei consumi finali;

B_{ir} quantità dei vari rifiuti r importati da territori esterni a quello a cui si riferisce l'analisi. Si pensi alle coste dell'Adriatico su cui arrivano come agenti inquinanti gli idrocarburi scaricati dalle petroliere in transito che portano petrolio non alle nostre raffinerie (perché in tal caso si avrebbe un'entrata nel quadro B_{si} cioè una cessione di rifiuti dal settore dei trasporti associati alle attività economiche interne), ma alle raffinerie jugoslave o che alimentano, attraverso l'oleodotto transalpino, le raffinerie dell'Europa centrale; in questi casi all'importazione B_{ir} di rifiuti nel nostro paese non è associata alcuna transazione di beni che interessano l'economia italiana. Questa voce assume importanza specialmente nel caso dell'analisi di eco-

nomie regionali: si pensi ad un fiume che attraversa varie regioni e che porta nella regione a valle i rifiuti in esso immessi dalla regione a monte.

Il quadro *C* permette ora di conoscere dove vanno a finire i rifiuti. Una parte di questi rifiuti — C_{re} — viene esportata al di fuori del territorio a cui l'analisi si riferisce. Una parte dei rifiuti — C_{rm} — va a finire nei vari corpi riceventi *m* (fiumi, laghi, mare, aria, suolo, vegetazione, ecc.) della biosfera, dell'ambiente. Conoscendo le caratteristiche ecologiche e geografiche di ciascun corpo ricevente *m* e le caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche di ciascun rifiuto *r* è possibile comprendere se una immissione di rifiuti può arrecare un peggioramento grave della qualità — quello che abbiamo chiamato inquinamento — di ciascun corpo ricevente, o se il corpo ricevente, per le sue dimensioni e per le sue caratteristiche, può diluire, neutralizzare e degradare i potenziali inquinanti. È certamente questa la parte dell'analisi in cui le conoscenze sono più incerte.

Se le considerazioni ecologiche, economiche e politiche richiedono di evitare l'immissione di certi rifiuti in certi corpi riceventi, è possibile ricorrere ad accorgimenti tecnologici che sono stati in questa nota classificati sotto il termine generico di « trattamento dei rifiuti »; questi trattamenti possono essere di vario tipo e comprendono i processi di depurazione e quelli di riciclaggio.

L'analisi ecologica indica — se ne è già fatto cenno prima — che il trattamento dei rifiuti non distrugge né fa scomparire i rifiuti, ma semplicemente ne cambia la forma; tale cambiamento richiede energia, prodotti chimici, mano d'opera, per cui i settori del trattamento dei rifiuti possono essere rappresentati in un quadro i cui *inputs* sono la « materia prima », i rifiuti provenienti dal quadro *B*, i quali vengono trasformati attraverso l'uso di altri *inputs*, beni economici ed ecologici, provenienti dal quadro A. Avremo così, nei settori del trattamento dei rifiuti:

C_{rt} quantità dei vari rifiuti *r* trasferiti ai vari settori *t* del trattamento dei rifiuti, anziché ai corpi riceventi finali;

C_{at} quantità dei beni ambientali *a* trasferiti ai settori *t* del trattamento dei rifiuti (acqua, ossigeno, aria per le ossidazioni, ecc.);

C_{it} quantità delle merci di importazioni i impiegate nel trattamento dei rifiuti;

C_{bc} quantità delle merci prodotte dai settori b dell'agricoltura e impiegate nel trattamento dei rifiuti;

C_{jt} quantità delle merci prodotte dai settori j dell'industria e impiegate nel trattamento dei rifiuti (fonti di energia, prodotti chimici, ecc.);

C_{lt} mano d'opera utilizzata nei processi di trattamento dei rifiuti.

Come si è detto, nel corso dei vari trattamenti i rifiuti cambiano di forma e il peso complessivo dei prodotti risultanti aumenta, in seguito alle reazioni chimiche; dal trattamento dei rifiuti è possibile ottenere materiali utilizzabili dai processi produttivi ed economici, oppure altri rifiuti, generalmente diversi dai primi. Avremo così, rispettivamente, delle materie ricavate dal trattamento dei rifiuti che figurano come materie prime, prodotti intermedi o merci immessi nel quadro A:

A_{tb}, A_{tj}, A_{ts}, A_{tc}, A_{te} quantità di « merci » ricavate dai vari processi t di trattamento dei rifiuti e assorbite, rispettivamente, dai settori b dell'agricoltura (per es. fanghi organici utilizzati come concime), dai settori j dell'industria (per es. carta straccia, rottami, ecc.), dai settori s dei trasporti e servizi, dai settori c dei consumi finali o addirittura (A_{te}) esportate.

Oppure dal trattamento dei rifiuti avremo degli altri rifiuti, generalmente diversi dai primi, che figureranno come « importazione » nel quadro B:

B_{tr} quantità dei vari rifiuti r prodotti dai processi t di trattamento dei rifiuti. Ad esempio: le sostanze organiche presenti nelle fognature urbane (B_{cr}) senza trattamento finirebbero nei fiumi, nei laghi o nel mare; in seguito ad un trattamento t di depurazione possono trasformarsi in nuovi rifiuti r come anidride carbonica (che finisce nell'aria) e un fango (che può essere smaltito nel suolo). In seguito ai processi di trattamento cambia, quindi, non solo la natura chimica e la quantità del rifiuto, ma anche il corpo ricevente finale. In questa analisi bisogna prestare attenzione ai casi di doppia registrazione perché un rifiuto figura

prima, nell'esempio citato, come immissione di sostanze organiche nel quadro B_{cr} e, successivamente, come nuova immissione di anidride carbonica e sostanze solide nel quadro B_{tr}.

5. *Problemi aperti.*

L'analisi esposta nel precedente paragrafo rappresenta certamente una schematizzazione perché, per la natura stessa dei fenomeni ecologici, l'effetto della immissione di un rifiuto in un corpo ricevente non si fa sentire solo localmente, ma anche a grande distanza dal punto di immissione. Si pensi ai composti chimici (mercurio, insetticidi clorurati, elementi radioattivi, ecc.) che vengono assorbiti dagli essere viventi, animali e vegetali, ed entrano nelle catene alimentari disperdendosi così nell'intera biosfera.

Inoltre l'analisi delle nocività ambientali dovute ai rifiuti non è che una piccola parte del più vasto capitolo delle interferenze fra l'uomo e il mondo naturale.

Comunque quella che è stata proposta come contabilità economico-ecologica è ancora ben lontana da una forma trattabile come matrice dei rifiuti e anche il riempimento dei soli quadri degli scambi materiali intersettoriali richiede un lungo non facile lavoro interdisciplinare. Tale lavoro comprende le seguenti fasi principali:

(a) Una prima fase richiede l'analisi merceologica dei vari cicli produttivi, per ciascuno dei quali occorre identificare non soltanto le materie prime e il settore (economico ed ecologico) da cui esse provengono (compresa la mano d'opera), ma anche la distribuzione dei vari manufatti, beni e servizi ai vari settori delle attività economiche. Tale analisi deve comprendere anche le quantità di acqua, aria, ossigeno, energia, tratti dall'ambiente, per unità di peso (o di valore) delle merci prodotte o per addetto.

Anche se le statistiche offrono informazioni abbastanza accurate sulla formazione e sulla distribuzione del « valore », in unità monetarie, delle varie attività, la determinazione delle quantità fisiche associate alla formazione e distribuzione di tale valore richiede ancora molto lavoro.

(b) Una seconda fase di carattere tecnologico comporta l'analisi delle quantità e qualità dei rifiuti formatisi nei vari processi produttivi. Se è consentito questo neologismo, occorre sviluppare uno studio di « rifiutologia » come nuovo capitolo della merceologia. Le informazioni in questo settore sono poche e abbastanza incerte.

Occorre determinare, per ciascun settore di attività, la quantità (in unità di peso o energetiche), dei vari rifiuti per unità di peso (o per unità di valore) delle varie merci, oppure per addetto. Questi coefficienti (che corrispondono approssimativamente ai coefficienti tecnici delle analisi *input-output* tradizionali) richiedono indagini campionarie presso i vari settori economici e produttivi; poiché molti di tali settori non hanno neanche loro informazioni sulla quantità di rifiuti generati, occorre incoraggiare indagini per identificare tali quantità.

La letteratura (26) fornisce alcuni dati per alcuni settori e per alcuni rifiuti; occorre raccogliere ed esaminare tale letteratura, effettuare delle verifiche, rielaborare i dati per ottenere una base omogenea, tenere conto delle variazioni provocate nella produzione di rifiuti da innovazioni tecnologiche e da processi tecnologici alternativi.

Probabilmente i principali tipi di rifiuti da prendere in esame sono i seguenti:

1. Polveri
   - idrocarburi
   - altre

2. Gas
   - idrocarburi
   - anidridi dello zolfo
   - ossido di carbonio
   - anidride carbonica
   - ossidi di azoto
   - altri

(26) Soltanto per citare pochissime fonti: per i rifiuti immessi nell'atmosfera cfr.: R. L. Duprey, *Compilation of air pollutant emission factors*, U.S. Public Health Service, Durham, N.C., No. 999-P-42, 1968; TRW Inc., *Air pollutants emissions factors*, relazione alla National Air Pollution Control Administration, No. CPA 22-69-119, April 1970; per la produzione di polveri da parte delle varie attività, cfr.: Midwest Research Institute, *Particulate*

3. Composti chimici solubili o disperdibili in acqua
   - 3.1 Sostanze inorganiche
     - fertilizzanti
       - fosfatici
       - potassici
       - azotati
       - altri
     - sali metallici
     - acidi inorganici
     - basi inorganiche
     - altre
   - 3.2. Sostanze organiche degradabili con ossigeno
   - 3.3. Sostanze organiche non degradabili con ossigeno
     - idrocarburi
     - antiparassitari
     - altre

4. Sostanze solide insolubili e non disperdibili in acqua
   - rifiuti urbani
   - fanghi
   - ceneri
   - altri rifiuti solidi
   - altre

5. Radionuclidi (espressi in unità di peso o in curie)

6. Energia
   - calore (in kcal)
   - suono e rumore (in decibel e frequenza)
   - altre forme.

(c) Una terza fase riguarda la distribuzione dei vari rifiuti nei vari corpi riceventi. Si è già accennato alla grande difficoltà dei relativi rilevamenti perché i corpi riceventi sono diversi da luogo a luogo, a seconda delle stagioni, delle condizioni meteorologiche, ecc. Si pensi ad un tratto di fiume: l'immissione di certi rifiuti può avere effetto inquinante in certe stagioni e non inquinante quando il fiume è in piena.

---

pollutant system study. Vol. I. *Mass emission*, relazione per l'Environmental Proctection Agency, 1 May 1971. Altri dati si trovano sparsi nei lavori citati nelle note precedenti.

Le informazioni relative a questa fase richiedono la collaborazione di specialisti di molte discipline. Per ciascun corpo ricevente occorre conoscere le caratteristiche di capacità di precipitazione, assorbimento, autodepurazione, biodegradazione, concentrazione, dei vari agenti che vi vengono immessi, attraverso ricerche di biologia, fisica e chimica dell'atmosfera, del mare, delle acque, degli esseri viventi, ecc. Si tratta di ricerche di ecologia sperimentale che devono essere estese nel tempo per poter conoscere la storia naturale di ciascun corpo ricevente e le variazioni delle sue caratteristiche in seguito alle precedenti immissioni di altri rifiuti.

Occorre inoltre stabilire le interrelazioni fra un corpo ricevente e un altro: può infatti verificarsi che un rifiuto passi dalla atmosfera al mare, da un fiume al mare, dal mare o da un fiume agli organismi che vi vivono, da un organismo all'altro attraverso le catene alimentari, ecc.

(d) Una quarta fase riguarda la tecnologia del riciclaggio e del trattamento dei rifiuti; anche qui occorre un lavoro interdisciplinare per identificare la capacità di assorbimento, da parte del mercato, dei prodotti che si formano in seguito al trattamento dei rifiuti, l'effetto di incentivi fiscali sul trattamento dei rifiuti, la qualità merceologica dei sottoprodotti del trattamento dei rifiuti, ecc.

(e) Una quinta fase, più squisitamente compito degli economisti, comporta il confronto fra la nuova contabilità economico-ecologica in unità fisiche e la contabilità economica tradizionale in unità monetarie; il grado di suddivisione dei settori considerati, i diversi gradi di aggregazione con cui vengono valutati sia gli scambi, sia i rifiuti, devono coincidere, per quanto possibile, con i settori della contabilità economica.

La contabilità economico-ecologica può essere sviluppata con diversi gradi di aggregazione, dal livello domestico (al limite), o di singolo stabilimento, al livello di regioni politiche o, più probabilmente, di bacini idrografici (27), al livello nazionale. In qualche caso l'analisi dovrà essere condotta a livello di intere comunità economiche di paesi.

(27) Ai fini di un'analisi di questo tipo un bacino idrografico è probabilmente una unità ecologicamente più significativa di una regione politica. È interessante notare che i dipartimenti in cui Napoleone suddivise il territorio italiano durante il Regno Italico corrispondevano, in alcuni casi, a bacini idrografici: dipartimento del Reno, del Panaro, eccetera.

L'obiettivo di questo lungo e complesso lavoro sembra importante: la possibilità di identificare degli indicatori ambientali di cui oggi siamo sprovvisti e che costituiscono la premessa indispensabile per qualsiasi azione di politica ambientale.

L'utilità di una contabilità economico-ecologica è molteplice: (a) confrontando tale contabilità per i vari anni è possibile stabilire l'effetto dell'introduzione di tecnologie di depurazione, di tecnologie alternative meno inquinanti, del cambiamento di materie prime nei vari cicli produttivi sull'inquinamento ambientale; (b) il confronto fra le contabilità di vari paesi permette di identificare gli stessi effetti per diverse strutture economiche, di reddito, ecc.; (c) il confronto fra contabilità economico-ecologiche valutate in maniera omogenea permette di conoscere la variazione del carico di rifiuti e dell'inquinamento in seguito all'aumento della popolazione, del reddito, dei mutamenti tecnologici, ecc., e l'effetto dell'introduzione di tecnologie meno inquinanti sugli scambi internazionali, sull'occupazione, sul tasso di accrescimento del reddito ecc.

Le promesse del nuovo studio sono molte; il mantenimento di tali promesse dipende dalla capacità degli studiosi di affrontare una impresa interdisciplinare e complessa, anche se di grande fascino tecnico-scientifico.

6. *Un esempio.*

Un semplice esempio di applicazione della precedente analisi è rappresentato nelle figure 3 e 4. Immaginiamo di avere una centrale termoelettrica alimentata con olio combustibile (2,2 per cento di zolfo) e raffreddata ad acqua corrente, per esempio con acqua di mare. Per ottenere un milione di chilowattore (kWh) (la quantità di energia elettrica fornita in un'ora da una centrale della potenza di 1000 MW (e)) con un rendimento del 40 per cento occorre bruciare 225.000 kg di olio combustibile usando l'azoto e l'ossigeno dell'aria nelle quantità (in kg) indicate come trasferimento di beni ambientali al settore della produzione di energia elettrica. Per smaltire il calore di rifiuto occorre far passare attraverso la centrale 130 milioni di litri (130.000 metri cubi) di acqua di raffreddamento che viene reimmessa nell'ambiente tale e quale e soltanto con una temperatura superiore di circa 10° C a quella originale.

FIGURA 3. - *Contabilità economico-ecologica relativa alla produzione di un milione di kWh di energia termoelettrica.*

	Produzione energia elettrica	Industria chimica	Output	Trattamento dei rifiuti
Beni ambientali				
Aria: Azoto	2.500.000	—		—
Ossigeno	770.000	—		—
Acqua di raffreddamento	130.000.000	—		—
Attività industriali				
Raffinazione del petrolio	225.000	—	—	—
Produzione di energia elettrica	—	—	10^6 kWh	—
Industria chimica	—	—	—	—
Dal trattamento dei rifiuti	—	—	—	

Tutti i numeri indicano Kg se non è specificato diversamento

	Dal trattamento dei rifiuti				Aria	Acqua
Rifiuti						
Acqua di raffreddamento	—	130.000.000		—	—	130.000.000
Azoto	—	2.500.000		—	2.500.000	—
Anidride carbonica	—	710.000		—	710.000	—
Vapore acqueo	—	290.000		—	290.000	—
Polveri	—	250		—	250	—
Ossidi di Azoto	—	2.700		—	2.700	—
Anidride solforosa	—	10.000		—	10.000	—
Idrocarburi	—	45		—	45	—
Calore, 10^6 Kcal	—	1.300		—	—	1.300

Nel quadro dei rifiuti (figura 3) appaiono le quantità dei principali rifiuti in uscita dalla centrale (sempre in kg per ogni milione di kWh): fra questi troviamo tutta l'acqua usata per il raffreddamento e praticamente tutto l'azoto entrato in ciclo (esso, come costituente dell'aria, accompagna semplicemente l'ossigeno necessario per le combustioni, anche se una piccola parte si combina, alle alte temperature della caldaia, con l'ossigeno per dar luogo ad ossidi di azoto, in quantità di circa 2.700 kg per ogni milione di kWh, con una reazione secondaria che niente ha a che fare con la produzione di calore e di energia elettrica); non figura quella parte di aria che passa attraverso la caldaia e il cui ossigeno non partecipa alla combustione, non figura il calore disperso con i fumi.

Il terzo quadro indica che tutti i rifiuti di natura chimica vengono immessi nell'atmosfera, ad eccezione dell'acqua di raffreddamento che finisce in un qualche corpo idrico (per esempio torna nel mare) portando con sé la maggior parte del calore di rifiuto.

Immaginiamo ora (figura 4) che venga vietata l'immissione dell'anidride solforosa nell'atmosfera e che quindi l'anidride solforosa venga separata in qualche maniera dai fumi e venga avviata ad un impianto di trattamento dei rifiuti in cui viene fatta reagire con reagenti forniti dall'industria chimica (immaginiamo idrogeno in quantità di 600 kg per ogni 10.000 kg di anidride solforosa); da tale reazione si forma zolfo che viene fornito dal « trattamento dei rifiuti » all'industria chimica oltre a — immaginiamo — acqua di reazione che figura ora fra i rifiuti provenienti « dal trattamento » dell'anidride solforosa. Il quadro dei corpi riceventi risulterà ora mutato; non si ha più immissione di anidride solforosa nell'atmosfera e aumenta un poco la quantità di acqua immessa nell'aria. Secondo la reazione di Claus ($3\ SO_2 + 6\ H_2 = SO_2 + 2\ H_2S + 4\ H_2O = 3\ S + 6\ H_2O$), effettivamente usata in alcuni processi di depurazione dei fumi delle centrali termoelettriche, per ogni kg di anidride solforosa trattata si formano, teoricamente, 0,5 kg di zolfo e 0,56 kg di acqua di reazione, quindi 1,06 kg di nuovi prodotti.

I bilanci materiali effettivi nella realtà sono alquanto più complicati (qui non è stato, per esempio, considerato il numero di ore di lavoro necessario per produrre un milione di kWh) e la schematizzazione ha valore solo di esempio. Con queste limi-

FIGURA 4. - *Contabilità economico-ecologica relativa alla produzione di un milione di kWh di energia termoelettrica, con depurazione e trasformazione dell'anidride solforosa in zolfo vendibile.*

	Produzione energia elettrica	Industria chimica	Output	Trattamento dei rifiuti
Beni ambientali				
Aria: Azoto	2.500.000	—		—
Ossigeno	770.000	—		—
Acqua di raffreddamento	130.000.000	—		—
Attività industriali				
Raffinazione del petrolio	225.000	—	—	—
Produzione di energia elettrica	—	—	10^6 kWh	—
Industria chimica	—	—	—	600
Dal trattamento dei rifiuti	—	5.000	5.000	

Tutti i numeri indicano Kg se non è specificato diversamente

	Dal trattamento dei rifiuti	Produzione energia elettrica	Industria chimica	Output	Trattamento dei rifiuti	Aria	Acqua
Rifiuti							
Acqua di raffreddamento	—	130.000.000			—	—	130.000.000
Azoto	—	2.500.000			—	2.500.000	—
Anidride carbonica	—	710.000			—	710.000	—
Vapore acqueo	5.600	290.000			—	295.600	—
Polveri	—	250			—	250	—
Ossidi di Azoto	—	2.700			—	2.700	—
Anidride solforosa	—	10.000			10.000	—	—
Idrocarburi	—	45			—	45	—
Calore, 10^6 Kcal	—	1.300			—	—	1.300

tazioni, i quadri delle figure 3 e 4 forniscono, se così si può dire, dei coefficienti tecnici dei flussi di materiale per milione di kWh.

Dal confronto di tali figure un lettore interessato ai fatti economici potrà, per esempio, chiedersi se non sarebbe opportuno, invece di buttare nell'atmosfera l'anidride solforosa, con danni per la salute delle popolazioni, per la vegetazione, ecc., trattarla per ricuperarne una merce, come lo zolfo, che l'Italia importa. Oppure si chiederà se non è possibile ricuperare il calore di rifiuto, invece di buttarlo via, provocando un riscaldamento alle acque naturali e danni o disturbi ecologici, e utilizzarlo per il riscaldamento di edifici, di serre, ecc. In questo caso il calore di rifiuto, invece di finire nell'ambiente passerebbe ad una operazione di ricupero e figurerebbe come *input* di energia nel settore dei consumi (riscaldamento di edifici), col che si risparmierebbero anche le fonti di energia che importiamo, che sono scarse e che costano molto.

È vero che ciascuna di queste operazioni di ricupero comporta investimenti, mano d'opera e costi e che la relativa accettabilità deve essere verificata con un'analisi costi-benefici. Ma questo è compito dell'economista e il contabile merceologico ed ecologico sarebbe lieto e pago che i suoi numeri rendessero più facile al suo collega la ricerca del giudizio finale.