

*JOAN MARTINEZ ALIER, TOMMASO LUZZATI, JORDI
ROCA JUSMET*

**ECONOMIA ECOLOGICA E
POLITICA AMBIENTALE**

Attribuzioni e ringraziamenti

PREFAZIONE

PARTE I

L'economia come sistema aperto

SOMMARIO

1 INTRODUZIONE

1.1	Crescita del reddito, energia, materia e degrado ambientale ..	4
1.1.1	Ruolo dell'energia fossile nelle economie contemporanee	4
1.1.2	Degrado ambientale: scala e qualità	6
1.2	Due visioni del sistema economico: l'economia neoclassica e l'economia ecologica	7
1.2.1	L'economia come sistema chiuso	7
1.2.2	L'economia come sistema aperto	8
1.2.3	La visione dell'economia ecologica	9

2 ASPETTI QUANTITATIVI

2.1	I flussi di energia attraverso l'economia.....	12
2.1.1	Premessa: come si misura l'energia.....	12
2.1.2	Consumo endosomatico e esosomatico di energia	13
2.1.3	Statistiche sui consumi energetici.....	15
2.1.4	PIL e uso esosomatico di energia: la curva di Kuznets ambientale (EKC)	25
2.2	Bilanci energetici in agricoltura	30
2.2.1	Il contributo di Podolinsky	30
2.2.2	Un esempio di "oikos-nomia" dall'antropologia economica	31
2.2.3	Coltivare con il petrolio	33

2.3	Il flusso di materiali nelle economie industrializzate: l'economia si dematerializza?	35
2.4	L'analisi input-output: la disaggregazione dell'economia come sistema aperto.....	45
2.4.1	Cenni all'analisi input-output	45
2.4.2	L'analisi input-output applicata al caso delle emissioni inquinanti	48
2.4.3	Il commercio internazionale e la responsabilità nelle emissioni	52
2.4.4	Fabbisogno delle risorse naturali	54
3	<i>ASPETTI QUALITATIVI</i>	
3.1	La teoria dei sistemi e i sistemi biofisici	56
3.1.1	Sistemi e retroazioni	56
3.1.2	Equilibri, energia e fattori di stabilità.....	57
3.1.3	Sistemi semplici e sistemi complessi.....	60
3.2	Inquinamento e impatto dell'uomo sugli ecosistemi: spunti da B. Commoner.....	62
4	<i>PER UNA POLITICA AMBIENTALE ORIENTATA AI PRELIEVI</i>	65
	<i>BIBLIOGRAFIA</i>	68
	<i>INDICE DELLE FIGURE E DELLE TABELLE</i>	72

In breve

1. Introduzione

Con l'avvento delle fonti energetiche fossili l'uomo ha potuto usare quantità crescenti di energia. Ciò ha consentito di movimentare e trasformare quantità crescenti di materia, rendendo possibile lo sviluppo e la crescita economica per come si è manifestata dalla rivoluzione industriale. Al tempo stesso, ciò ha prodotto impatti sempre maggiori sull'ambiente naturale - degrado che non è dovuto soltanto alla qualità delle alterazioni prodotte dall'uomo, ma anche alla loro dimensione (quantità). Ciò conduce a discutere la visione che l'economia ecologica ha del sistema economico e l'importanza da essa attribuita all'analisi dell'aspetto energetico e materiale dell'economia.

2. Aspetti quantitativi

Le caratteristiche fisiche dei sistemi economici sono di fondamentale importanza per l'analisi. Il paragrafo 2.1 presenta i principali dati sui consumi energetici e sulla loro relazione con il PIL, il 2.2 le caratteristiche energetiche dell'agricoltura moderna, il 2.3 alcuni dati sulla dimensione materiale delle nostre economie e le nozioni di base del metodo per misurarla (la contabilità dei flussi di materia), mentre il 2.4 introduce il lettore a una tecnica molto utile nella disaggregazione dei sistemi oggetto di studio, l'analisi INPUT-OUTPUT.

3. Aspetti qualitativi

Non è certo sufficiente guardare solo alla dimensione globale degli impatti antropici, ma occorre guardare anche agli aspetti qualitativi, di cui accenniamo qui anche al loro nesso con la teoria dei sistemi e con la biologia.

4. Per una politica ambientale orientata ai prelievi

Quanto tracciato nei precedenti paragrafi ha forti implicazioni in termini di politica ambientale. Occorre infatti superare il prevalente approccio a valle, che guarda alle emissioni, in favore di un approccio orientato ai prelievi che in modo preventivo/prudenziale conduca ad una sostanziale riduzione del *material throughput* delle nostre economie.

1 INTRODUZIONE

1.1 Crescita del reddito, energia, materia e degrado ambientale

1.1.1 Ruolo dell'energia fossile nelle economie contemporanee

Prima della rivoluzione industriale, la quantità di energia che l'uomo riusciva a usare in un dato intervallo di tempo era modesta in quanto proveniva da fonti energetiche vincolate dal **flusso** di energia solare e dalla lentezza dei cicli fisici, chimici e biologici da esso attivati. L'energia proveniva, infatti, dalle biomasse (legna, cibo per sé e per i suoi animali), dal vento (vele e mulini) e dalle cadute d'acqua (mulini, segherie, frantoi, ...). Con poca energia l'uomo aveva anche ridotte capacità di trasformare (e danneggiare) il proprio ambiente. L'uso di energia poteva concentrarsi solo su porzioni limitate del territorio e il degrado ambientale aveva carattere locale.

Con l'industrializzazione entrano in scena le **fonti energetiche fossili**, prima il carbone e poi, dalla fine del XIX secolo, il petrolio e il gas naturale¹. Lo sviluppo nella capacità di impiego di queste fonti² ha fornito all'uomo enormi disponibilità di energia grazie alle quali si sono prodotte trasformazioni prima del tutto impensabili. Se la teoria economica moderna individua nel capitale umano - un termine poco felice per riferirsi alle conoscenze accumulate e frutto della nostra creatività e inventiva - il motore dei processi di sviluppo e crescita, non si può dimenticare il ruolo dell'energia fossile, vero e proprio carburante di detti processi. Per intuirne l'importanza è sufficiente guardare alla serie storica dei consumi energetici e del PIL di un qualsiasi paese ricco o anche del mondo nel suo complesso³. Malanima (2013) ha stimato consumi energetici per l'Italia dal 1861 ai giorni nostri e li ha accostati al Pil reale (ricostruito ai prezzi del 1911). I risultati di parte del lavoro sono sintetizzati dalla [Figura 1.1](#) e

¹ Viene spesso impiegato il termine "produzione" riferito alle fonti fossili, nonostante queste siano già state "prodotte" e l'uomo possa soltanto estrarle e usarle.

² Come è noto, fu soprattutto la macchina a vapore a dare avvio allo sfruttamento estensivo del carbone (a alla rivoluzione industriale), quella di Thomas Newcomen (sviluppata intorno al 1710) che trovò il suo uso specifico nel pompare acqua fuori dalle miniere, e i successivi perfezionamenti di James Watt che, cominciati nel 1763, ne estesero l'uso sia in miniera che alla manifattura e ai trasporti.

³ Molti dati sono disponibili sul sito dell'Agenzia Internazionale per l'Energia, www.iea.org, o su quello del ministero per l'Energia degli Stati Uniti, www.eia.gov

dalla [Figura 1.2](#). La prima mostra le stime dei consumi energetici suddivisi per fonte, tradizionale e moderna; si osservi la brusca impennata dei consumi energetici avvenuta con il boom economico del secondo dopoguerra. La seconda figura mostra in modo più esplicito lo stretto legame tra consumo di energia e del PIL.

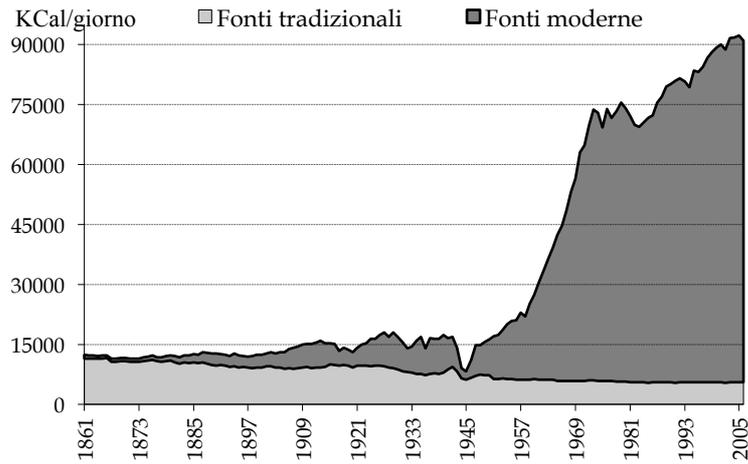


Figura 1.1. Consumi energetici pro-capite per l'Italia, 1861-2006
Kcal procapite al giorno. Fonte: Malanima (2013)

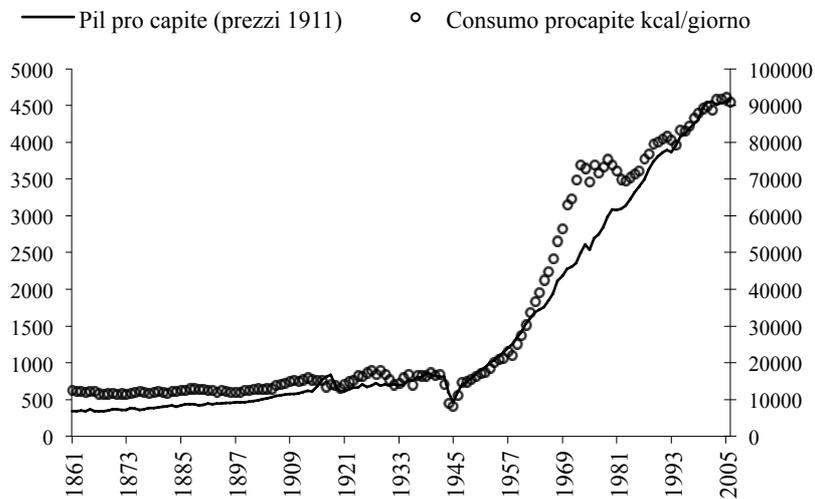


Figura 1.2. Pil e consumi energetici per l'Italia, 1861-2006
Fonte: Malanima (2013)

Come rovescio della medaglia, insieme alla crescita economica, l'aumento nel consumo di energia ha condotto ad un degrado ambientale sempre più intenso e diffuso. Si tratta di una conseguenza ovvia, poiché, come messo in luce dall'economista rumeno Georgescu-Roegen (1906-1998), il processo economico consiste proprio nel degradare materia per fornire all'uomo i mezzi per il godimento della vita (v. ad es. Georgescu Roegen, 1971, §4). In quest'ottica, ben si comprende come l'utilizzo di quantità sempre maggiori di combustibili fossili, a ritmi incomparabili rispetto alla loro produzione avvenuta in ere geologiche remote, abbia introdotto, sia in modo diretto che indiretto, forti squilibri nei cicli bio-geochimici. In generale l'uomo ha immesso e continua a immettere composti e materiali nel proprio ambiente ad un ritmo maggiore della spontanea capacità di assorbimento: basti pensare ancora al fosforo che va nelle acque con i detersivi e i fertilizzanti, oppure all'anidride carbonica, che viene rilasciata in atmosfera in quantità maggiori rispetto alle capacità di assorbimento di ecosistemi terrestri e di oceani - che peraltro stanno subendo una progressiva acidificazione.

1.1.2 Degrado ambientale: scala e qualità

Due aspetti caratterizzano l'interferenza degli esseri umani, la **dimensione** (ovvero la **scala**) delle proprie società e la **qualità** dei processi in esse attivati.

Dimensione. L'aspetto quantitativo non riceve sempre la giusta attenzione, eppure disporre di molta energia è potenzialmente molto dannoso in quanto consente di estrarre ogni giorno milioni di tonnellate di materia che, per di più, ritornano molto in fretta come scarti nell'ambiente. Tra i tanti esempi dei potenziali danni che derivano dal disporre di grande quantità di energia si pensi alle falde acquifere che sono spesso a rischio proprio per la facilità e rapidità dei prelievi, indipendentemente dall'origine più o meno "pulita" dell'energia!

Qualità. L'aspetto qualitativo, quello su cui siamo più abituati a riflettere, riguarda l'immissione di sostanze estranee ai cicli naturali e poco compatibili con la vita - sostanze sintetiche che, in alcuni casi, hanno prodotto impatti molto gravi, avvertiti solo dopo anni dalla loro utilizzazione (si pensi al DDT o ai CFC).

La [Figura 1.3](#) riassume schematicamente il ruolo dell'energia. Tanto maggiore è l'energia e tanto più siamo in grado di movimentare e trasformare materia e questo ha conseguenze benefiche per l'economia (indicate dal '+' nella figura) ma negative per l'ambiente (indicate dal '-').

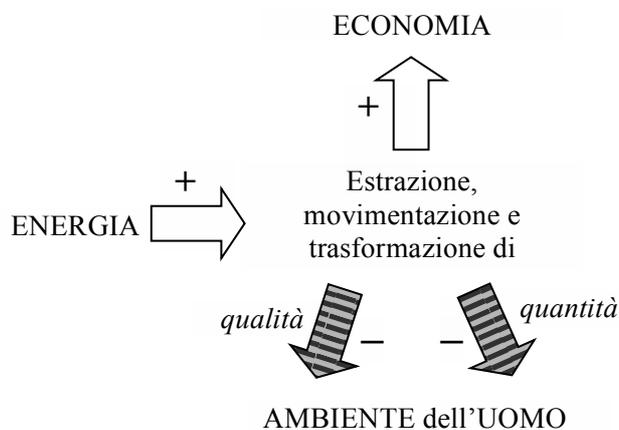


Figura 1.3. L'energia, la materia, l'economia e l'ambiente naturale

1.2 Due visioni del sistema economico: l'economia neoclassica e l'economia ecologica

Queste considerazioni introduttive consentono di passare a riflettere su come analizzare le relazioni tra sistema economico e ambiente naturale. Come vedremo in questo paragrafo l'approccio tradizionale limita il discorso ai meri aspetti economici, mentre altri approcci, incluso quello dell'economia ecologica, ritengono che una simile strategia di ricerca sia poco fruttuosa e che l'analisi debba essere più estesa.⁴

1.2.1 L'economia come sistema chiuso

La rappresentazione semplificata del sistema economico contenuta in molti manuali di economia è quella del "diagramma del flusso circolare". In cui imprese e individui si scambiano prodotti e fattori di produzione coordinati dal mercato, ovvero, prendendo le proprie decisioni sulla base

⁴ Benché il dibattito tra i due approcci si sia sviluppato in anni recenti, le sue origini risalgono a oltre cento anni fa. Questo, del resto, è facilmente immaginabile se pensiamo che le conoscenze di chimica, fisica e biologia - necessarie per capire i nessi tra l'economia umana e gli ecosistemi che la contengono - sono note da 150 anni: se i fisiocratici nella Francia del XVIII secolo, Adam Smith, David Ricardo, Thomas Malthus scrissero prima che fossero note le leggi della termodinamica, questo non è vero né per Marx, né per gli economisti neoclassici come Walras o Jevons della seconda metà del XIX secolo, né tanto meno per gli economisti contemporanei.

dei prezzi (Figura 1.4). La teoria economica convenzionale – o neoclassica – si concentra dunque sugli scambi e sui prezzi mentre presta scarsa attenzione alla realtà fisica.

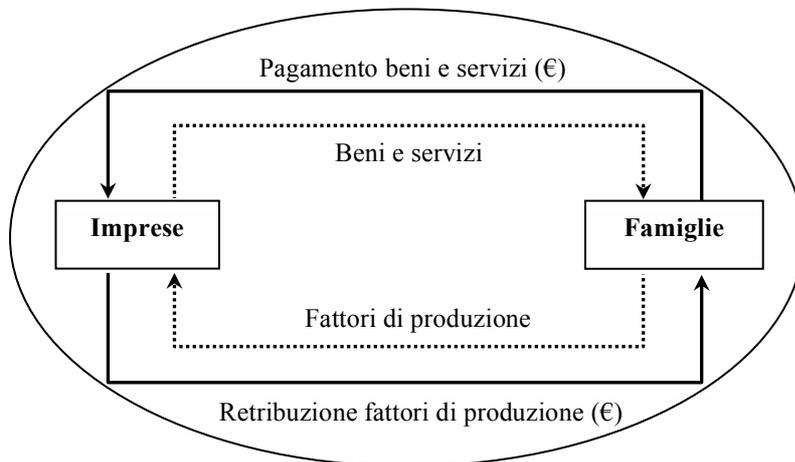


Figura 1.4. Il diagramma del flusso circolare dell'economia

1.2.2 L'economia come sistema aperto

Può la teoria economica fare a meno di considerare gli aspetti materiali del processo economico, e, con essi, le leggi della fisica e della chimica o gli insegnamenti della biologia? Chi non aveva dubbi in proposito era il citato Georgescu Roegen il quale criticava in modo aspro la visione meccanicistica della teoria neoclassica, di cui proprio il “diagramma del flusso circolare” era esempio emblematico, evocando un moto perpetuo analogo al pendolo senza attrito della meccanica classica (v., ad es., Georgescu Roegen 1975). L'economia ecologica, sviluppatasi dalla fine degli anni '80, e che ha in Georgescu uno dei suoi principali riferimenti, ritiene essenziale analizzare l'economia umana come un sistema aperto all'entrata di energia e materiali e all'uscita di rifiuti.

A parte la frazione riciclata, la materia utilizzata dal sistema economico viene, prima o poi⁵, restituita in forma degradata all'ambiente naturale, quando cioè i beni vengono considerati rifiuti. Per questo motivo la terminologia degli economisti, anche sotto questo aspetto, è discutibile. Come Ayres e Kneese segnarono nel loro pionieristico contributo

⁵ Una parte rimane temporaneamente accumulata in beni quali edifici, automobili o beni di consumo durevoli.

persistiamo nel riferirci al “consumo finale” di beni come se gli oggetti materiali, come i combustibili e i beni finiti, sparissero nel vuoto, pratica che in epoche passate, in confronto ad oggi, non generava effetti negativi, nella misura in cui l’aria e l’acqua erano beni liberi quasi letteralmente. Certamente, i rifiuti, gli scarti derivanti tanto dai processi produttivi quanto dal consumo, permangono e normalmente producono, più che servizi, disutilità (Ayres e Kneese 1969)..

A fronte dell’ingresso di energia e materiali, l’economia produce due tipi di rifiuti, il calore dissipato, o energia degradata (v. seconda legge della termodinamica), e i rifiuti materiali che attraverso il riciclaggio possono tornare a essere usati. Parte del riciclaggio si realizza tramite il mercato (per esempio la carta), la restante parte, di maggiore entità, si ricicla senza l’intervento dell’uomo mediante i cicli naturali che convertono “rifiuti” in “risorse”: così la CO₂ che gli animali emettono come conseguenza della respirazione è assorbita dalle piante per produrre materia organica, oppure lo sterco è trasformato da microrganismi e diventa nutrimento per le piante. Nelle economie moderne tuttavia i rifiuti – a causa della loro quantità e composizione – per la maggior parte si accumulano e solo in alcuni casi vengono convertiti in nuove risorse attraverso processi che, a loro volta, richiedono l’intervento dell’uomo (e l’impiego di energia) e che non consentono un recupero al 100%. Altri rifiuti (metalli pesanti o scorie radioattive) restano nocivi nell’ambiente per moltissimo tempo.

La natura svolge pertanto un ruolo essenziale rispetto all’economia umana: assume il duplice ruolo di fornire sia risorse sia bacini di assorbimento per i rifiuti e fornisce direttamente molti “servizi”, che vanno dal godimento dei paesaggi, fino al generale supporto alla vita (la fascia d’ozono, ad esempio, protegge la vita dai raggi ultravioletti).

1.2.3 La visione dell’economia ecologica

L’economia ecologica pone l’accento allora non solo sugli aspetti qualitativi – l’inquinamento e i danni da esso derivanti – ma anche sull’aspetto quantitativo. Come per l’ecologia, anche per l’economia è fondamentale contabilizzare i flussi di energia e di materia in entrata e in uscita. L’economia umana è infatti un sistema complesso aperto da studiare mediante diverse ottiche (diverse discipline) e mediante una molteplicità di indicatori e strumenti. L’economia ecologica, consapevole delle diverse scale temporali e spaziali alle quali si svolgono i processi, riconosce le discrepanze tra tempo economico e tempo bio-geo-chimico.

Lo schema adottato dall'economia ecologica, dunque, va oltre il diagramma del flusso circolare del reddito (v. [Figura 1.4](#)) che viene collocato non solo all'interno del contesto sociale di cui l'economia è parte, ma anche nell'ambiente naturale da cui l'economia e la società traggono risorse e in cui espellono gli scarti della loro attività, come illustrato nella [Figura 1.5](#).

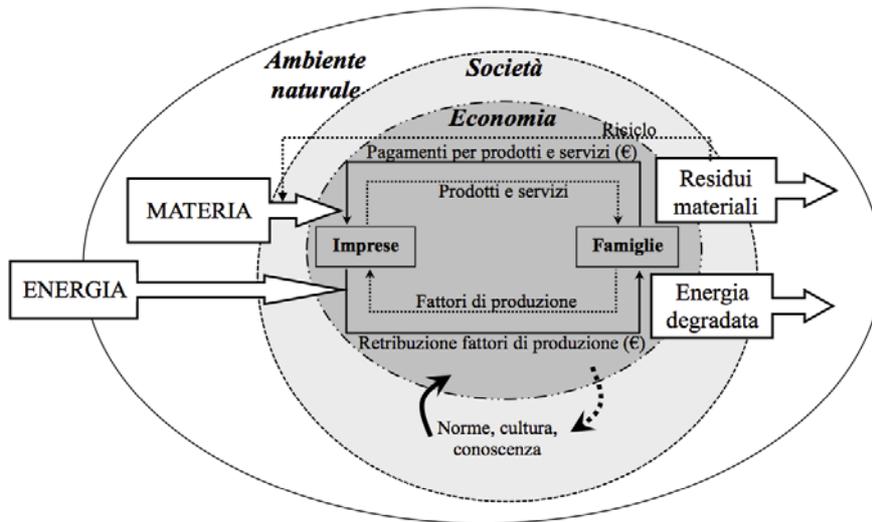


Figura 1.5. L'economia come sistema aperto

L'obiettivo dell'analisi non è dunque solo comprendere quali incentivi individuali conducano a un uso ottimale dell'ambiente, ma, più ambiziosamente, mira a studiare con un approccio interdisciplinare la (in)sostenibilità ecologica delle nostre società ed economie. Per questo si può dire che l'economia ecologica va oltre l'economia neoclassica estendendone la prospettiva e il campo di applicazione.

Una migliore rappresentazione

BOX: Antropocene

La capacità con cui oggi gli esseri umani riescono a influenzare l'ambiente, a scala planetaria, ha portato a ipotizzare di essere usciti dall'olocene per entrare in una nuova era geologica, l'antropocene. Già nel 1873, il geologo Stoppani paragonava il potenziale innovativo del genere umano alle forze della natura, mentre nel 1924 altri geologi quali Vernadsky, Teilhard de Chardin e Le Roy avevano coniato il termine “noosfera” per indicare il ruolo dell'intelligenza e della tecnologia umana nel plasmare l'ambiente e determinare l'andamento degli eventi futuri (Crutzen e Stoermer 2000).

Gli studiosi Crutzen e Stoermer (2000) hanno proposto come data di inizio della nuova era la seconda metà dell'ottocento, periodo che, con la rivoluzione industriale, ha segnato l'affermarsi del “dominio” umano sull'ambiente naturale grazie a una crescente capacità di sfruttare i combustibili fossili. Tali risorse hanno permesso lo svolgimento di attività prima impensabili, come i lunghi spostamenti in tempi molto rapidi, la produzione di composti chimici quali i fertilizzanti, l'intensificazione e la meccanizzazione dell'agricoltura, la creazione di enormi opere ingegneristiche quali le grandi dighe (Steffen *et al.* 2011). Di conseguenza abbiamo assistito non solo a profonde trasformazioni demografiche, socio-economiche, e ecosistemiche (ad es. perdita di biodiversità e estinzioni di specie) ma anche a cambiamenti nell'atmosfera che hanno prodotto fenomeni quali il buco nell'ozono e alterazioni del clima e che modificano i cicli biogeochimici naturali (Crutzen 2002).

Se si guarda poi al periodo che comincia con il secondo dopoguerra, si osserva che le attività antropiche e i loro impatti sono aumentate in modo considerevole in gran parte del pianeta. Il termine “grande accelerazione” è stato coniato per evidenziarne la loro crescita esponenziale. Cominciata con il boom economico che si è avuto in Europa, tale crescita ha trovato nuovo impulso con il boom economico di alcuni paesi in via di sviluppo, con le partnership tra governi, industrie e mondo scientifico che hanno stimolato l'innovazione, ma anche con l'affermazione di principi economici neoliberali e la nascita di organismi internazionali (ad es. WTO) che hanno favorito processi di globalizzazione molto più intensi che in passato (Steffen *et al.* 2011).

La presa di coscienza da parte del mondo accademico riguardo la forza e gli impatti geologici delle attività antropiche sull'ambiente dovrebbe guidare il genere umano verso un uso responsabile del proprio sapere tecnico e scientifico.

BIBLIOGRAFIA:

- Crutzen P. J. & Stoermer E. F. (2000), *The Anthropocene*, *Global Change Nesl.* vol. 41, pag. 17-1
- Crutzen P. J. (2002), *Geology of Mankind*, *Nature*, vol. 415, p. 23
- Steffen W., Grinevald J., Crutzen P. J. & McNeill J. (2011), *The Anthropocene: conceptual and historical perspectives*, *Phil. Trans. R. Soc. A*, vol. 369, pp. 842-867

2 ASPETTI QUANTITATIVI

2.1 I flussi di energia attraverso l'economia

2.1.1 Premessa: come si misura l'energia

L'energia, ovvero la capacità di compiere lavoro, è misurata nel sistema metrico internazionale con il *joule*. Occorre tuttavia notare che le statistiche energetiche per motivi di consuetudine storica, sono spesso elaborate con altre unità di misura: in campo alimentare, ad esempio, siamo abituati a usare la *caloria*⁶, mentre le statistiche internazionali sulle fonti energetiche usano spesso come riferimento la quantità di energia contenuta in una tonnellata di petrolio, esprimendo cioè l'energia delle altre fonti in termini di tonnellate di petrolio equivalente⁷ (*tons of oil equivalent*, TOE, 1 toe = 41 868 joules). Nel mondo anglosassone si impiega talvolta la *British Thermal Unit* (1 BTU=1055,056 joules).⁸

Coerenza imporrebbe di impiegare in tutti i casi il joule; è tuttavia spesso utile non ignorare le consuetudini, i riferimenti cognitivi cui siamo abituati. Dovendo allora misurare il consumo energetico di un volo aereo potremmo decidere di usare le Kcal in modo che possa essere immediatamente paragonabile con i nostri consumi di cibo. Un viaggio Parigi Buenos-Aires con 350 passeggeri a bordo consuma circa 70 tonnellate di carburante, circa 200 kg a persona; poiché un kg di carburante contiene circa 10 000 kcal, il consumo medio del viaggio è di circa 2 000 000 kcal, 800-1000 volte il consumo giornaliero di calorie in

⁶ La caloria è la quantità di calore necessaria per innalzare di un grado centigrado la temperatura di un grammo d'acqua. Dato che vi sono diverse definizioni di caloria a seconda delle condizioni sperimentali (ad es. la temperatura) la corrispondenza tra calorie e *joule* non è univoca, attestandosi intorno a 1 cal \approx 4.185 Joules.

⁷ Per poter esaminare l'evoluzione storica dell'uso totale di energia o valutare il fabbisogno energetico di un paese è necessario esprimere le diverse fonti con la stessa unità di misura. Per farlo esistono dei metodi standardizzati in base ai quali si elaborano delle statistiche internazionali. Tali metodi sono in genere accettabili nel caso dei combustibili fossili, mentre sono più controversi quando si considerano altri casi come l'elettricità di origine idroelettrica. I vari tipi di energia hanno infatti "qualità" diversa. Nella pratica si è soliti misurare l'elettricità idroelettrica e quella nucleare in base all'equivalente calorico, o in termini di "costo opportunità energetico" (l'equivalente calorico del combustibile fossile che, in condizioni di efficienza media, sarebbe necessario per produrre l'elettricità).

⁸ E' utile ricordare, anche per i dati che seguiranno dopo, alcuni multipli del joule e le loro abbreviazioni: kilojoule (kJ) \equiv 10³J, megajoule (MJ) \equiv 10⁶, gigajoule (GJ) \equiv 10⁹, terajoule (TJ) \equiv 10¹², petajoule (PJ) \equiv 10¹⁵, exajoule (EJ) \equiv 10¹⁸.

cibo, superiore al doppio delle calorie assunte con il nostro consumo annuale di cibo e pari al consumo annuale di energia esosomatica (per la definizione v. il prossimo paragrafo) di un abitante della maggior parte dei paesi poveri.

2.1.2 Consumo endosomatico e esosomatico di energia

Come evidenziato da Lotka (1945, p. 188) e poi, in molti scritti, da Georgescu Roegen, l'adattamento dell'uomo al proprio ambiente è avvenuto non solo mediante i meccanismi dell'evoluzione (variazione, selezione, riproduzione) ma anche, e soprattutto, attraverso il rapido sviluppo di ausili artificiali, mezzi esosomatici, esterni cioè al nostro corpo. Come vedremo in questo paragrafo, la distinzione tra ciò che è interno e esterno al corpo è utile anche in riferimento all'energia.

Da circa 150 anni sappiamo che la quantità di cibo ingerita al giorno da un adulto equivale a due o tre mila kcalorie, a seconda della dimensione della persona e dello sforzo che compie nel lavorare e muoversi. E' questo il consumo **endosomatico** di energia: il cibo è il combustibile usato sia per il mantenimento dell'organismo che per compiere lavoro, per l'uomo in proporzione di circa 4 a 1. Il consumo endosomatico di energia obbedisce a regole fisiologiche naturali, cosicché le differenze di consumi calorici tra poveri e ricchi, pur presenti, non risultano essere elevate, anche perché quando il consumo scende a valori molto bassi si muore di inedia o di malattia.⁹

⁹ Ovviamente ciò che è variabile è l'aspetto qualitativo dell'alimentazione, in particolare la cucina – specifica delle diverse culture e/o stati sociali. Ad esempio, tanto in passato quanto oggi, l'alimentazione popolare è caratterizzata da abbinamenti di cereali e legumi (riso e fagioli; riso e soia; mais e fagioli), o di tuberi (patate) e qualche alimento ricco di proteine, mentre quella dei ricchi contiene maggiori quantità di carne, che richiede, per nutrire gli animali, anche una grande quantità di vegetali.

L'aspetto qualitativo è molto importante quando si affronta il problema della "fame nel mondo". La terminologia usata evoca una carenza quantitativa, così come anche gli indicatori impiegati per analizzare il fenomeno. Un indicatore molto in voga è, ad esempio, il consumo di Kcal procapite nelle diverse nazioni che risulta molto maggiore nei paesi ricchi. Come Giampietro et al. (2007) osservano, una disparità in questo indicatore tra paesi ricchi e paesi poveri deriva dalla diversa composizione demografica: ad esempio la popolazione di un paese povero dell'Africa ha molti giovani il che significa che il peso medio della popolazione è molto inferiore rispetto a quello, ad esempio, di un paese europeo, e dunque, pur considerando le maggiori necessità caloriche nei giovani, questo paese registra fabbisogni calorici per persona inferiori. Confrontando il consumo di Kcal per unità di massa (considerando cioè il peso dell'individuo medio), piuttosto che in termini pro capite, si ottengono valori simili per i diversi paesi, quelli dettati dalla

Se dunque, per quanto ricchi siamo, non possiamo decidere di assumere ogni giorno cibo per il triplo delle calorie necessarie, ciò che è molto variabile è il **consumo esosomatico** di energia. Possiamo andare al lavoro in bicicletta, coi mezzi pubblici, o in automobile, opzione quest'ultima che necessita 20 000 kcal di petrolio per un viaggio di 15 km andata e ritorno. Il consumo esosomatico di energia non ha nulla a che fare con istruzioni genetiche e varia molto a seconda delle società umane e delle condizioni sociali e di reddito, oscillando tra meno di 5000 kcal al giorno per i più poveri che vivono in climi caldi e consumano energia solo per cucinare o per realizzare abiti e abitazioni molto semplici, a più di 100 000 kcal al giorno per gli abitanti dei paesi ricchi. Nei sistemi economici preindustriali la fonte di gran lunga più importante di energia è costituita dalle biomasse, ovvero energia solare convertita attraverso la fotosintesi in cibo e legna; soddisfatte le necessità endosomatiche, gran parte dell'energia esosomatica proviene dagli animali e dalla legna (spesso trasformata in carbone da legna). In ogni caso, i valori dell'energia endosomatica e di quella esosomatica assumono lo stesso ordine di grandezza, con rapporti che variano tra 1:2 e 1:5. Così non è per le economie industriali in cui la parte endosomatica è una frazione irrisoria, inferiore a 1:50. Per avere un'idea intuitiva delle ragioni di tale rapporto si consideri che in una città come Los Angeles, dove l'urbanizzazione è molto dispersa (c.d. *urbansprawl*), una stima ragionevole del consumo pro-capite annuo nel trasporto è di circa 40 GJ per anno se si viaggia in auto contro i 4GJ se si viaggia su mezzi pubblici, da paragonare con i circa 3,8 GJ di consumo endosomatico annuale (se si considerano 10,5MJ al giorno, ovvero 2500 kcal).

fisiologia! La scelta di un indicatore appropriato mostra dunque come la fame non sia tanto problema di ordine quantitativo, sottanutrizione, ma piuttosto qualitativo, ovvero malnutrizione.

2.1.3 Statistiche sui consumi energetici^{10 11}

Vediamo ora alcuni dati sull'energia, cominciando con i consumi complessivi per passare poi alla loro composizione - sia rispetto alle fonti che agli usi. Infine presenteremo la questione della relazione tra energia e reddito nazionale.

Occorre precisare che gran parte dei dati che vedremo partono dal 1971, anno dal quale abbiamo statistiche (affidabili) per molti paesi del mondo. In alcuni casi sarà utile vedere le statistiche anche per sotto-periodi poiché due eventi epocali hanno avviato profonde trasformazioni strutturali, rispettivamente la caduta del muro di Berlino e, con essa, la disgregazione di Unione Sovietica e Jugoslavia, nel 1989, e il grande balzo nei processi di globalizzazione che si è avuto a fine 2001 con l'entrata della Cina nell'organizzazione mondiale del commercio.

Il lettore deve far attenzione quando interpreta i dati nazionali sul fabbisogno di energia: essi si riferiscono non soltanto ai consumi interni, ma anche alle produzioni destinate all'esportazione. Per paesi in rapido sviluppo, come la Cina, l'energia utilizzata (e le relative emissioni) vanno a soddisfare la domanda di beni dei paesi più avanzati. Torneremo su questo tema più avanti, quando tratteremo di contabilità dei flussi materiali.

Inoltre le statistiche convenzionali sull'energia non includono il contenuto energetico degli alimenti. Questo aspetto non ha rilevanza per i paesi ricchi che mostrano una quota di energia endosomatica trascurabile e nei quali l'agricoltura fa largo uso di energia fossile e di prodotti chimici che, passando per il mercato, vengono contabilizzati. Nei paesi poveri

¹⁰ È importante ricordare che, come per ogni indicatore statistico, anche nel campo dell'energia esistono delle convenzioni che consentono di tradurre in pratica le definizioni concettuali. Per l'energia è utile la lettura delle "The International Recommendations for Energy Statistics" della commissione statistica delle Nazioni Unite disponibile a questo indirizzo <https://unstats.un.org/unsd/energystats/methodology/ires/>

¹¹ Molte sono le istituzioni che mettono a disposizione dati sull'energia, in prevalenza in modo gratuito, soprattutto i dati di carattere più generale. In proposito, segnaliamo la US Energy Information Administration (<https://www.eia.gov/>), che mette a disposizione dati anche per paesi diversi dagli Stati Uniti. Ovviamente, molti dati sono facilmente accessibili dalle banche dati di OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*, in italiano OCSE), Organizzazione economica dei e di World Bank. Per i dati a livello mondiale è interessante la consultazione di <https://ourworldindata.org/energy>. La più importante istituzione è l'*International Energy Agency*, IEA, i cui dati sono spesso ottenibili solo a pagamento. Tuttavia, da alcuni anni, molti indicatori a cadenza annuale sono riportati nel file "CO2Highlights" che può essere scaricato liberamente dal loro sito e che costituisce la base per quasi tutti i grafici di questo paragrafo.

prevale l'agricoltura tradizionale che si fonda su fonti di energia poco soggette a transazioni economiche registrate e che sfuggono alle statistiche, così come anche il consumo di legna e di sterco, spesso impiegato come combustibile. Pertanto, non poter includere una stima del contenuto energetico degli alimenti significa ignorare una parte importante nel consumo energetico totale dei paesi poveri.

2.1.3.1 *Fabbisogno complessivo di energia (TPES¹²)*

Gli andamenti su tutto il periodo rivelano i seguenti fatti stilizzati:

- a) un forte aumento di produzione di energia primaria in termini assoluti. La [Tabella 2.1](#) mostra che il tasso annuo di crescita per il mondo nel suo complesso è stato intorno al 2%. In termini complessivi, dunque, in circa 50 anni è aumentata di due volte e mezzo, come mostra la [Figura 2.1](#);
- b) una forte crescita, pur con fluttuazioni, anche in termini pro capite (v. [Figura 2.2](#));
- c) una disomogeneità nella crescita tra le diverse aree del mondo (v. [Tabella 2.1](#));
- d) fino alla fine degli anni 1990, gran parte del fabbisogno energetico era dovuta ai paesi OECD. (v. [Figura 2.3](#));
- e) ancora oggi sono considerevoli le differenze tra paesi ricchi e paesi poveri nell'uso pro capite di energia esosomatica, come si può osservare dalla [Figura 2.4](#);
- f) ancora la [Figura 2.4](#) mostra la grande variabilità nei consumi procapite, persino tra i paesi con livelli di benessere paragonabili. Il fatto che paesi simili presentino consumi di energia pro-capite molto diversi può essere preso come indizio del fatto che l'associazione tra consumo di energia e benessere non sembra troppo stretta, almeno per livelli elevati di consumi energetici.

¹² TPES è l'acronimo per *Total Primary Energy Supply*, è l'offerta totale di energia primaria, l'energia che un paese ha a disposizione. Ciò include l'energia importata, quella esportata (sottratta) e quella estratta da risorse naturali (produzione di energia). Torneremo oltre sulla distinzione tra energia primaria e consumi.

Tabella 2.1. Tassi di crescita di Energia Primaria, Pil pro capite e Popolazione

<i>Tassi crescita (1971-2017) di</i>	<i>TPES</i>	<i>GDP pc</i>	<i>Popol.</i>
Non-OECD Europe and Eurasia	0.6%	1.8%	0.3%
OECD Europe	0.7%	2.2%	0.5%
OECD Americas	0.9%	2.7%	1.2%
<i>Mondo</i>	<i>2.0%</i>	<i>1.8%</i>	<i>1.5%</i>
OECD Asia Oceania	2.0%	2.8%	0.7%
Non-OECD Americas	2.5%	2.7%	1.6%
Africa	3.2%	3.2%	2.6%
Asia (excl. China)	3.9%	5.3%	1.9%
China (incl. Hong Kong, China)	4.5%	8.5%	1.1%
Middle East	6.3%	2.8%	2.8%

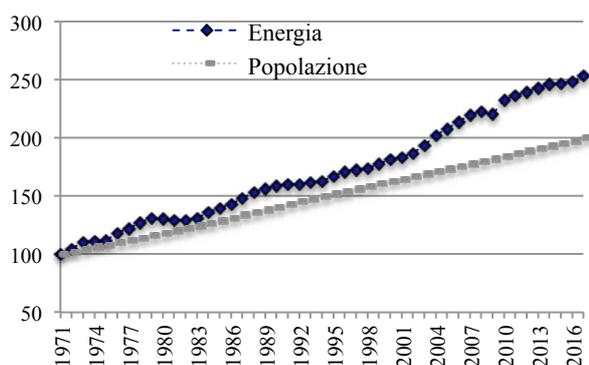


Figura 2.1. Andamento dell'energia primaria e della popolazione per il mondo

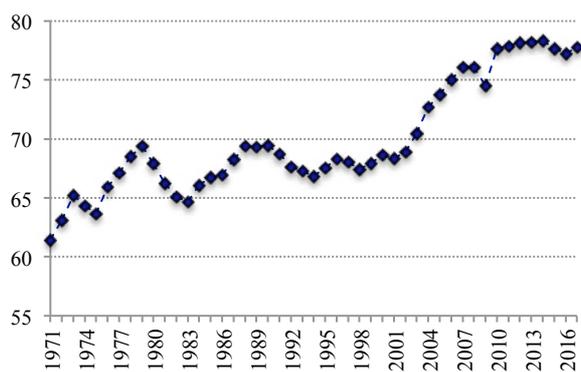


Figura 2.2. Andamento dell'energia primaria pro-capite per il mondo

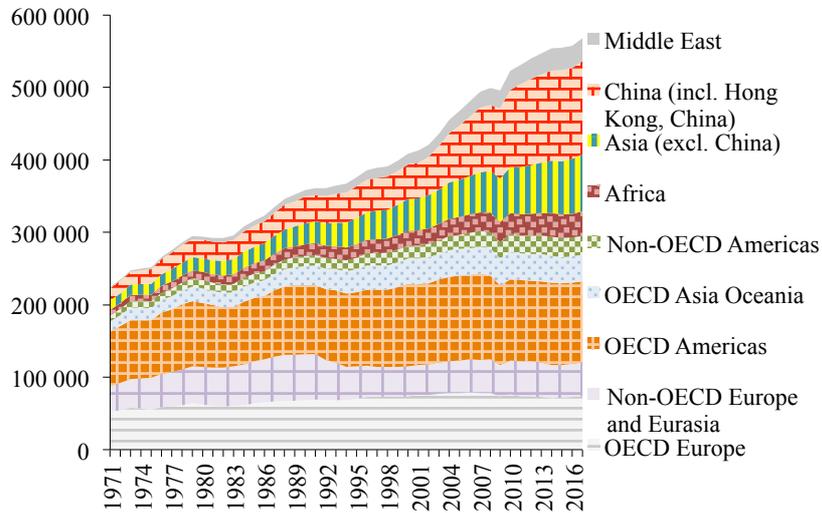


Figura 2.3. Energia primaria per regione
PJoules

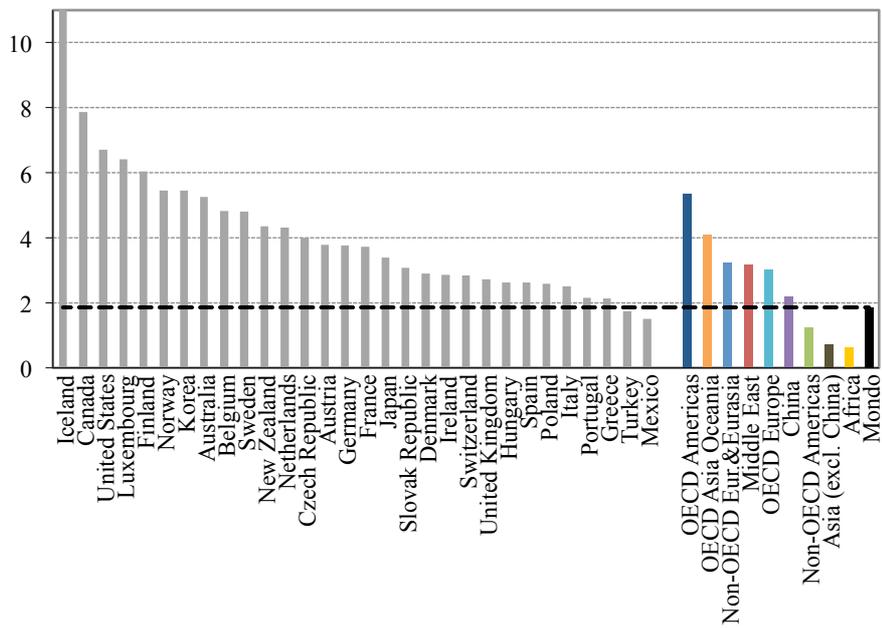


Figura 2.4. Energia pro capite nei paesi OECD europei e in aggregati del mondo
Tonnellate di petrolio equivalente

2.1.3.2 Fonti energetiche

Quanto ai trend delle principali fonti di energia nei paesi industriali nell'intero periodo, se guardiamo alla composizione percentuale [Figura 2.5](#)) sembra osservarsi un solo sostanziale cambiamento, la sostituzione del petrolio con il gas naturale.

Tuttavia, dobbiamo guardare anche ai dati assoluti che, se confermano la crescita del gas naturale, non mostrano una riduzione del petrolio. Piuttosto che fermarsi a osservare il periodo 1971, poiché sono disponibili stime che vanno anche molto indietro, è utile estendere l'orizzonte temporale, come si fa nei grafici che vanno da [Figura 2.6](#) a [Figura 2.10](#). L'interpretazione di questi andamenti è immediata e viene lasciata al lettore, che però deve essere attento a notare le diverse scale temporali. Inoltre, segnaliamo che il confronto tra la [Figura 2.7](#) e la [Figura 2.10](#) consente di apprezzare le differenze tra evoluzione mondiale e quella di un'economia matura, gli USA.

Infine, il lettore osserverà anche che l'energia nucleare fornisce un contributo modesto all'offerta energetica, nonostante in alcuni paesi, tra cui gli USA, sia importante. Dopo una breve fase di rapida crescita, la costruzione di centrali nucleari ha subito un forte rallentamento in seguito all'incidente della centrale di *Three Miles Island* (Stati Uniti, 1979) e di *Chernobyl* (Unione Sovietica, 1986). Se l'incidente di Fukushima (2011) in Giappone ha rafforzato i dubbi sulla sicurezza, l'irrisolto problema delle scorie e le evidenze sempre più forti delle pessime *performance* da un punto di vista economico¹³ del nucleare non fanno pensare ad una ripresa di tale fonte, che ha ricevuto anche imponenti finanziamenti dagli Stati. Oltre a ciò, preoccupano – a causa della stretta relazione tra usi militari e civili – le questioni legate alla sicurezza rispetto al terrorismo internazionale e al traffico clandestino di materiali radioattivi.

¹³ Ovviamente nel computo vanno inseriti tutti i costi, non solo quelli operativi ma anche quelli di costruzione, smantellamento a fine vita, nonché quelli connessi alla gestione delle scorte.

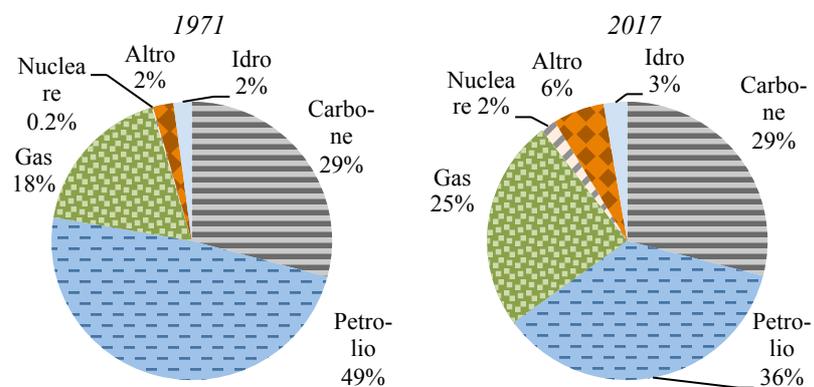


Figura 2.5. Composizione per prodotto dell'energia primaria mondiale 1971, 2017

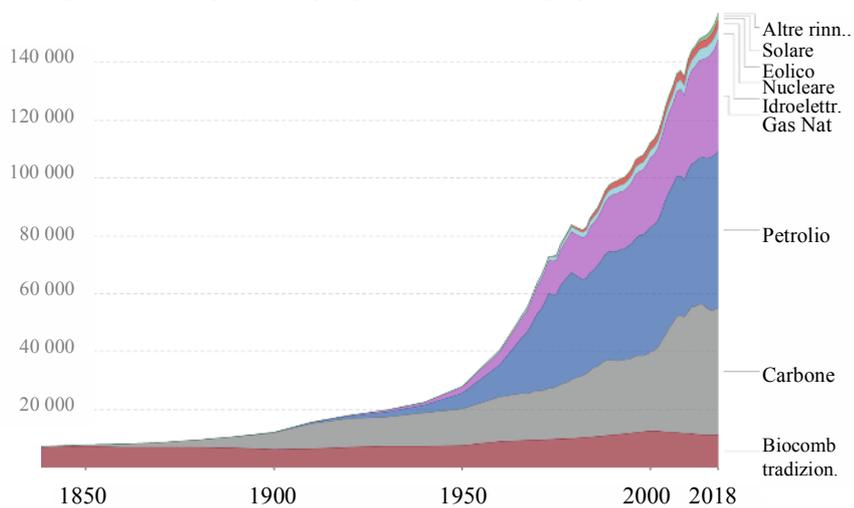


Figura 2.6. Energia primaria distinta per fonte a livello mondiale, periodo 1800-2018
Terawatt-ora annui, TWh. Adattata da Ritchie e Roser (2020)

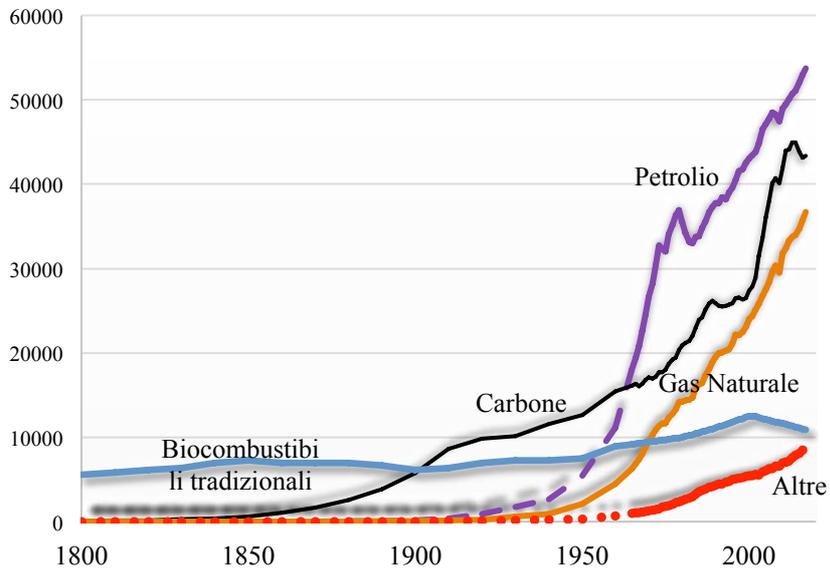


Figura 2.7. Energia primaria per ciascuna fonte, a livello mondiale periodo 1800-2018
TWh annui, dati tratti da Ritchie e Roser (2020)

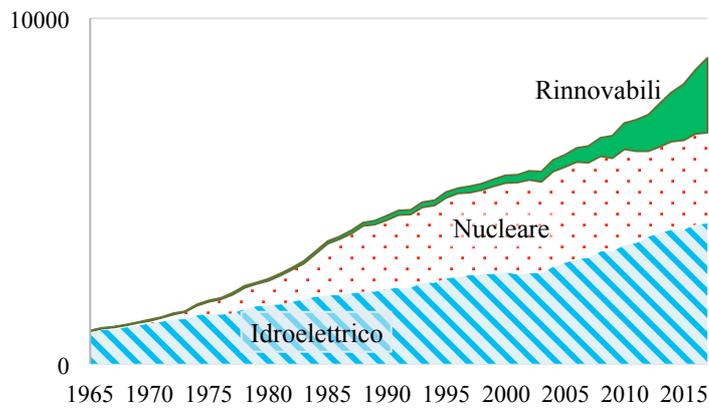


Figura 2.8. Scomposizione della serie “Altre fonti” di Figura 2.7b in “Idroelettrico, Nucleare e Rinnovabili” – Mondo, 1965-2018
TWh annui, dati tratti da Ritchie e Roser (2020)

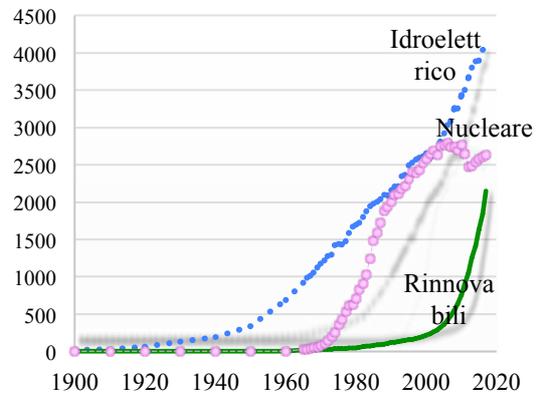


Figura 2.9. Evoluzione di Idroelettrico, Nucleare e Rinnovabili, a livello mondiale, periodo 1800-2018

TWh annui, dati tratti da Ritchie e Roser (2020)

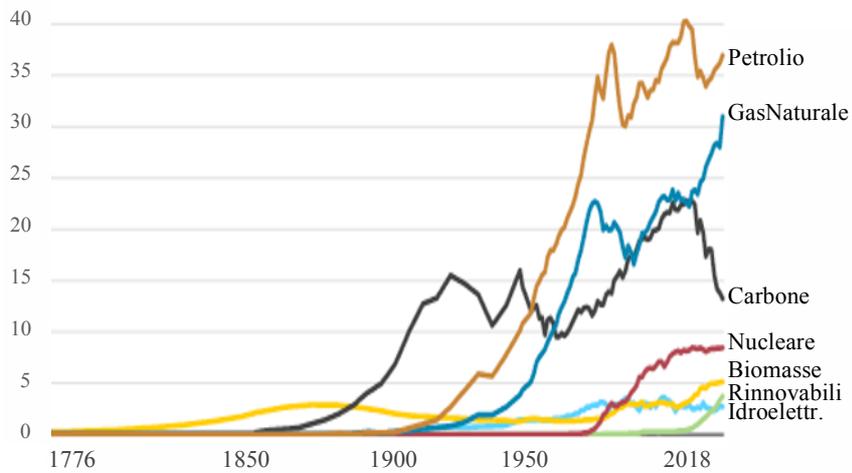


Figura 2.10. Evoluzione per tipo di fonte energetica negli USA 1776-2019
 10^{15} Btu.¹⁴

¹⁴Modificata da <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=40013#>

2.1.3.3 Usi energetici

Per analizzare la domanda di energia occorre distinguere tra “energia primaria” e “consumo finale di energia”. Per comprendere la differenza si consideri il caso dell’elettricità che continua a essere generata soprattutto dal carbone, dal petrolio, e dal gas naturale. Se in media le centrali termoelettriche di un’economia hanno una efficienza di 1/3, allora per ogni Joule di uso finale sotto forma di elettricità ne avremo bisogno di tre sotto forma di energia primaria. Il processo di trasformazione energetica è dunque molto importante e va contabilizzato, come mostra la [Tabella 2.2](#) che sintetizza i bilanci di tre diversi anni per i paesi europei appartenenti all’OECD. I costi di trasformazione si aggirano attorno al 30%, con una lieve tendenza alla loro riduzione (29% nel 2017).

Dalla stessa tabella si possono osservare i mutamenti nella composizione del consumo finale di energia - la domanda del settore produttivo (soprattutto dell’industria), del commercio e dei servizi pubblici, delle famiglie per i consumi residenziali, del trasporto e degli usi non energetici. I cambiamenti nelle percentuali di composizione mostrano bene una specificità delle economie dei paesi in esame, ovvero la deindustrializzazione¹⁵ e il passaggio a un’economia incentrata sul terziario, e una tendenza generale, ovvero l’aumento dei consumi energetici per il trasporto. Per quanto riguarda la quasi costanza dei consumi complessivi, si deve ricordare come la crisi del 2008 abbia innescato un trend in discesa che è durato fino al 2014.¹⁶

Per visualizzare l’evoluzione della domanda energetica dei vari settori è anche efficace l’impiego di grafici a “radar”. La [Figura 2.11](#) presenta il caso degli USA - per gli anni 1949, 1971, 2001 e 2019 - che evidenzia bene come i consumi per industria e agricoltura siano rimasti quasi invariati dal 1970 mentre siano aumentati quelli per il trasporto.

¹⁵ La riduzione del fabbisogno energetico del settore dell’industria non è solo conseguenza della crescente importanza del settore dei servizi, ma anche del fatto che è cresciuta l’efficienza dell’uso di energia nei processi industriali.

¹⁶ Il lettore interessato potrà trovare i trend sul sito della IEA, in particolare consultando i dati all’indirizzo [https://www.iea.org/data-and-statistics?country=OECD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20\(TPES\)%20by%20source](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=OECD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20(TPES)%20by%20source)

Tabella 2.2 Energia Primaria nel e suoi usi nei paesi OECD

<i>KToe</i>	1990	2001	2017
Energia primaria e costi energetici:			
Energia Primaria	1 642 780 100%	1 792 897 100%	1 761 249 100%
Trasformazione energetica	-500 478 30%	-538 078 30%	-503 268 29%
Domanda finale	1 142 302 70%	1 254 819 70%	1 257 981 71%
Composizione domanda finale:			
Domanda finale	1 142 300 100%	1 254 817 100%	1 257 979 100%
Produzione	363 835 32%	352 093 28%	326 535 26%
Trasporti	268 829 24%	321 092 26%	352 704 28%
Residenziali	282 163 25%	319 219 25%	302 511 24%
Commercio e servizi pubblici	114 076 10%	135 001 11%	165 220 13%
non specificato	12 157 1%	13 372 1%	3 007 0%
Usi non energetici	101 240 9%	114 040 9%	108 002 9%

Fonte: nostra elaborazione su dati IEA

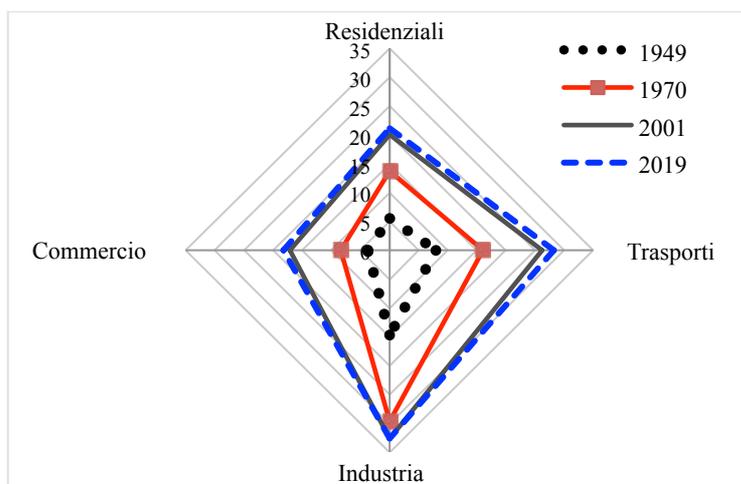


Figura 2.11. Evoluzione dei consumi per settore in USA dal 1949 al 2018

Fonte: nostra elaborazione su dati EIA, Dati espressi in 10¹⁵BTU¹⁷

¹⁷ BTU sono le British Thermal Unit, usate dal U.S. Energy Information Administration. Una BTU corrisponde circa a 1055,05 Joules. I dati sono reperibili sull'Annual Energy Review all'indirizzo <https://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/>, "Primary energy consumption by sector"

2.1.4 PIL e uso esosomesico di energia: la curva di Kuznets ambientale (EKC)

Come abbiamo visto fin qui, gli accresciuti consumi energetici hanno consentito di incrementare il livello di benessere materiale, almeno per i paesi industrializzati. Al tempo stesso, l'uso di energia continua a crescere e da diversi anni, e sempre più ai nostri giorni, molti sono i dubbi che possano continuare i trend di crescita nell'energia visti finora, non solo per la crescente scarsità delle risorse energetiche ma anche per gli impatti, sempre più pesanti, dell'uomo sul proprio ambiente. E' divenuta dunque importante la questione se, superati certi livelli di reddito, si riesca contemporaneamente ad avere un PIL crescente e consumi energetici stabili o addirittura in calo. Un'ipotesi simile è stata avanzata per l'inquinamento agli inizi degli anni '90 e va sotto il nome di Curva di Kuznets Ambientale (*Environmental Kuznets' Curve*, EKC) e prevede che le pressioni ambientali e l'inquinamento si riducano con lo sviluppo economico. Il motivo ipotizzato è che la progressiva terziarizzazione dell'economia (effetto "di composizione") e il progresso tecnologico (effetto "tecnica") più che compensino i maggiori impatti che si hanno con l'aumento delle dimensioni dell'economia (effetto "scala").

L'ipotesi di EKC è stata valutata anche rispetto all'energia poiché questa rappresenta un indicatore sintetico delle pressioni antropiche¹⁸. La speranza di poter stabilizzare i consumi di energia senza dover ridurre il PIL è alimentata dall'osservazione empirica circa l'andamento decrescente nel tempo dell'*intensità energetica* (vedi [Figura 2.12](#)). Tale indicatore è costruito come rapporto tra energia usata e PIL, misurando dunque la quantità di energia impiegata per unità di PIL (l'inverso dell'efficienza energetica).

¹⁸ Per approfondimenti v. Luzzati et al. (2018).

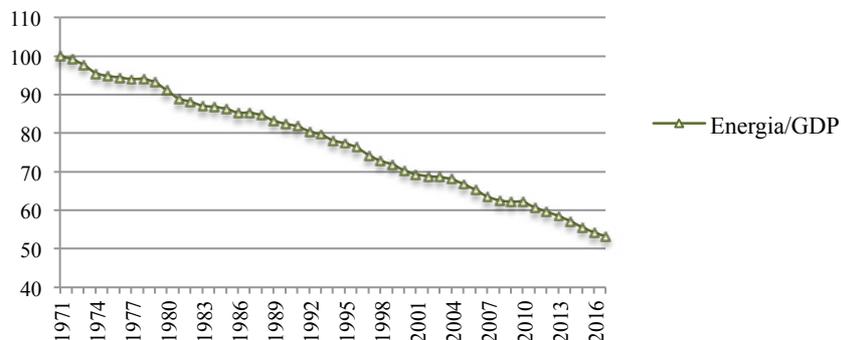


Figura 2.12. Andamento dell'intensità energetica per il mondo
Numeri indice

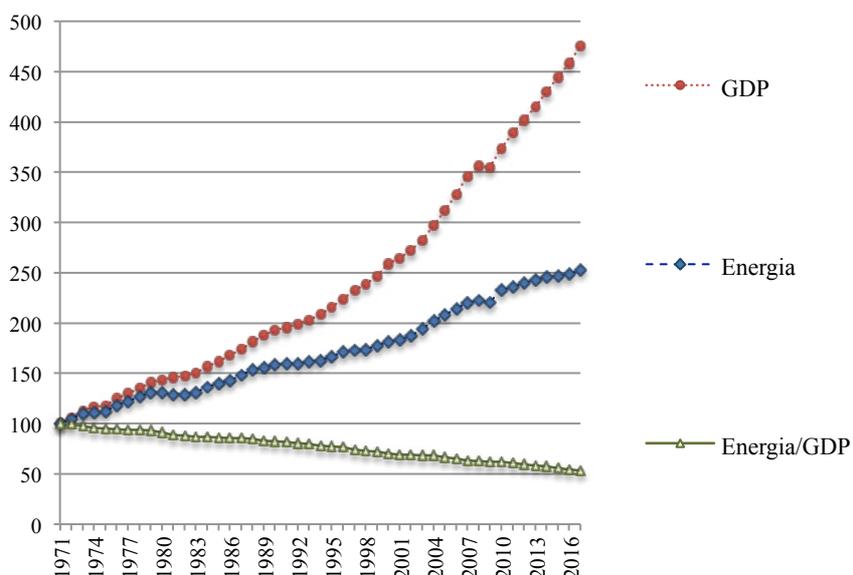


Figura 2.13. Trend dell'intensità energetica, dei consumi energetici e del PIL - mondo
Pil a parità di potere di acquisto, USA 2010

Un'intensità energetica in discesa, tuttavia, non significa che automaticamente si stabilizzeranno i consumi energetici: la riduzione che si è manifestata finora è dovuta alla forte crescita del PIL, il denominatore, e non dall'arresto dei consumi energetici, il numeratore. Se torniamo indietro di qualche pagina alla [Tabella 2.1](#) vediamo come questa evidenza

è vera anche per le diverse aree geografiche: il PIL pro-capite è cresciuto quasi ovunque di più dei consumi energetici, che sono tuttavia anche essi cresciuti.

A ben vedere il miglioramento dell'efficienza energetica dovrebbe suscitare preoccupazione in quanto sono i sistemi di grandi dimensioni, quelli che usano molta energia, ad essere caratterizzati da elevati livelli di efficienza energetica. Sembra cioè che siano all'opera meccanismi che, consentendo l'aumento delle dimensioni complessive del sistema, rendono vani i guadagni in efficienza. Si tratta di un effetto noto come effetto Jevons o *effetto rebound* (rimbalzo) per il quale si rinvia all'apposito riquadro. Qui è sufficiente sottolineare come la presenza di un effetto rimbalzo abbia una chiara conseguenza sulle politiche: non basta promuovere l'efficienza ma è necessario mirare a ridurre o a contenere la scala complessiva.

Il modo più immediato per verificare l'eventuale manifestarsi di una relazione a U-rovesciata è esaminare innanzitutto quello che è successo a livello globale. Il vantaggio è di neutralizzare quel fenomeno, la cui intensità non è del tutto chiara, che va sotto il nome di "*pollution haven*" che vede i paesi più ricchi apparire più virtuosi perché delegano le produzioni più inquinanti ai paesi poveri. La Figura 2.14 riporta il c.d. "*scatter plot*" tra PIL pro capite a parità di potere di acquisto e Energia primaria (TPES) per il mondo nel periodo 1971-2017. Quello che anche a prima vista si osserva è un andamento crescente, anche se sembra che la curva riduca la sua pendenza a partire da livelli di reddito intorno a poco meno di 10000\$.

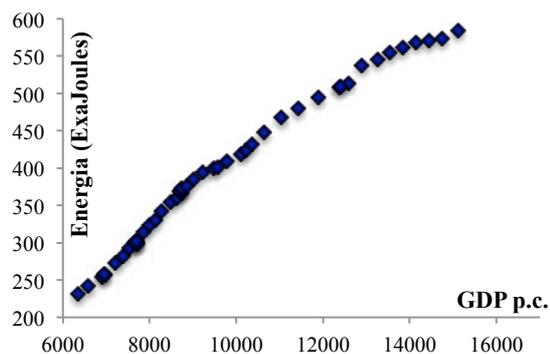


Figura 2.14. Energia e PIL per il mondo, 1971-2017
Pil a parità di potere di acquisto, \$ USA 2010

In generale, gli studi sulla EKC hanno esaminato la relazione per dati *panel* in cui, cioè, si analizzano contemporaneamente le serie temporali di diversi paesi (*time-series* e *cross-country*). I risultati sono molto contrastanti, sia per i differenti metodi di indagine, sia per la diversità dei gruppi di paesi presi in esame. In generale, l'ipotesi di EKC non sembra abbia trovato grandi riscontri empirici particolarmente (v. Stern 2003), se non per inquinanti di natura locale. In ogni caso, occorre anche tener conto che il punto di svolta potrebbe manifestarsi troppo tardi, per livelli di inquinamento assai dannosi.

Inoltre, occorre evidenziare un vizio che riguarda tutto il filone di studi, cioè il fatto che viene studiata la correlazione empirica tra PIL pro-capite e impatto/pressione ambientale pro-capite. Considerata la crescita della popolazione, questo vizio introduce un *bias* in favore dell'ipotesi EKC. Per quale motivo, tuttavia, se sono i valori assoluti che rilevano per l'ambiente, si prendono indicatori in termini pro-capite? Non sussistono ragioni né teoriche né empiriche. Ovviamente se si vuole fare un confronto grafico e rappresentare le serie del PIL e degli indicatori di pressione o impatto ambientale è necessario adottare qualche standardizzazione che tenga conto della dimensione di ciascun paese - ovvero riscalarle le variabili ambientali rispetto ad un indicatore della dimensione del paese, ad esempio la sua superficie o la sua popolazione in un certo anno. Ma nelle stime econometriche con dati *panel* questa "standardizzazione" è insita nel metodo, dato che si includono di variabili *dummy* specifiche per ciascun paese.

La Figura 2.15 e la Figura 2.16 rappresentano le coppie di valori PIL pro-capite e energia (riscalata rispetto alla popolazione media del periodo) per alcune nazioni per il periodo 1971-2014. La linea tra gli indicatori mostra l'evoluzione temporale delle serie. Nella prima figura abbiamo incluso anche due paesi, Iran e Arabia Saudita, la cui economia dipende molto dal petrolio, le cui variazioni di prezzo incidono in modo significativo sul PIL. Questi paesi sono del tutto particolari e hanno mostrato consumi energetici in forte crescita a fronte di PIL per lunghi periodi in flessione.

La scala della prima figura è logaritmica in modo da poter interpretare l'inclinazione delle curve come l'elasticità dell'energia rispetto al PIL p.c., cioè quanto varia percentualmente l'energia in seguito ad aumento percentuale unitario del PIL procapite. Per gran parte dei paesi (anche quelli non considerati nel grafico) l'elasticità è positiva per l'intero

periodo, indicando dunque come al crescere del PIL procapite sia aumentato il fabbisogno energetico. Una delle poche eccezioni¹⁹ sembra essere la Germania che, dopo lo shock generato dall'unificazione, sembra aver stabilizzato i propri consumi energetici. Per altri paesi (v. Figura 2.16), quali il Regno Unito o la Francia, sembra che vi sia stata una flessione in seguito alla crisi del 2008, ma potrebbe trattarsi solo di un fenomeno temporaneo.

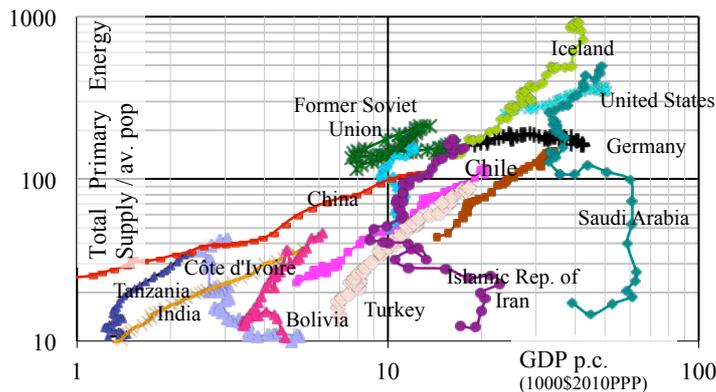


Figura 2.15. Energia e GDP pro-capite per alcuni paesi, 1971-2004
 Pil a parità di potere di acquisto, \$USA 2010, Energia per popolazione media del periodo; nostra elaborazione su dati IEA

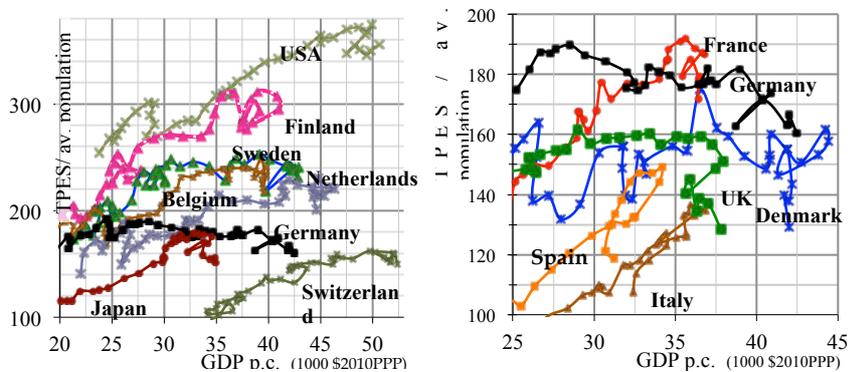


Figura 2.16. Energia e PIL pro-capite per alcuni paesi colpiti dalla "grande recessione" del 2008

¹⁹ Vi sono altre nazioni per le quali vale una correlazione negativa. Si tratta di paesi africani e di paesi produttori di materie prime energetiche il cui PIL si è ridotto per diversi periodi.

2.2 Bilanci energetici in agricoltura

2.2.1 Il contributo di Podolinsky

Esporrò ora i fondamenti dell'economia energetica così come furono enunciati nel 1880 da S.A. Podolinsky (1850-1891). Tali principi mirano a spiegare in primo luogo le condizioni minime di sussistenza in termini energetici, vale a dire, le condizioni minime necessarie per soddisfare il primo dei bisogni umani: l'alimentazione. Le idee pioniere di Podolinsky, socialista e medico²⁰ ucraino, sono note soprattutto per i commenti che ne fecero Engels (il compagno intellettuale e politico di Marx) e Vladimir Vernadsky, il famoso ecologo russo. Engels lesse il lavoro di Podolinsky nel 1882 ma non lo trovò di particolare interesse, troncando in questo modo lo sviluppo di un marxismo ecologico. Vernadsky invece, scopertolo nel 1925, lo apprezzò molto proprio per il fatto di applicare ai fenomeni economici quanto appreso nello studio dell'«energia della vita».

Podolinsky intese studiare l'economia come un sistema di conversioni energetiche. Notando che solo una parte molto piccola di energia solare è assimilata dalle piante, mostrò come il lavoro umano (e animale) possa aumentare il bilancio energetico sulla superficie terrestre attraverso l'agricoltura. Per fare questo confrontò la produttività di alcuni terreni in Francia, colture di cereali e di foraggio con pascoli naturali e foreste. I calcoli cui pervenne mostravano proprio come la produzione netta di biomassa fosse maggiore quando interveniva il lavoro umano e animale: una caloria di lavoro consentiva di avere un aumento di prodotto pari a 20-40 calorie. Il lavoro dunque aumentava l'accumulazione di energia netta sulla terra cosicché, nelle intenzioni di Podolinsky, la contabilità energetica avrebbe dato un fondamento scientifico alla teoria del valore-lavoro.

Da dove proveniva la capacità di lavorare? Come è ovvio dal consumo di alimenti, da quella che Lotka ha chiamato energia endosomatica. Già allora era noto che il lavoro che un uomo riesce a compiere è pari a circa 1/5 rispetto all'energia assunta cosicché, considerando il corpo umano come una "macchina termica" possiamo dire che ha un'efficienza del

²⁰ Per approfondimenti si rinvia a Martinez Alier (1991).

20%. Un uomo dunque può sopravvivere solo se una caloria impiegata a scopi produttivi ne produce almeno cinque. Podolinsky considerò che esistono altre necessità oltre a quella di nutrirsi: non tutti si dedicano all'agricoltura, alcuni non possono lavorare, le classi sociali ricche dedicano molta più energia dei poveri ai lussi e ai divertimenti ... Di conseguenza, secondo Podolinsky, il massimo "coefficiente economico" – per usare la terminologia impiegata allora per esprimere il tasso di conversione energia-lavoro umano - non andava oltre 1:10, cosicché le condizioni minime di esistenza di una società richiedono che la produttività energetica del lavoro sia almeno pari a 10:1. Non occorre sottolineare che con l'aumentare della gamma di bisogni e della differenziazione sociale la produttività energetica minima debba essere molto maggiore.

L'agricoltura dunque consente alla specie umana di essere una "macchina termodinamicamente perfetta" - per usare la metafora con cui Podolinsky rimandò al lavoro di Sadi Carnot del 1824 - alimentando la propria "caldaia" con l'energia ottenuta tramite il proprio lavoro. E' ovvio che il merito non va soltanto all'ingegno nella selezione delle piante coltivate e al lavoro fisico, ma soprattutto alla fotosintesi: il flusso principale di energia, proveniente dal sole, non entra infatti nei nostri calcoli economici.

2.2.2 Un esempio di "oikos-nomia" dall'antropologia economica

In anni successivi diversi studiosi, pur se ignari del lavoro di Podolinsky, hanno elaborato analisi che si sviluppano secondo linee simili. Fra gli studi più importanti per l'economia ecologica troviamo quelli di alcuni antropologi ecologici. Gli antropologi studiano il funzionamento di società che chiamano "primitive", indagandole nei singoli aspetti - l'economia, la religione, il simbolismo, ... - e nel loro complesso. Devono avere competenze di scienze naturali, per comprendere i rapporti tra società umane e ambiente naturale, e essere al tempo stesso scienziati sociali, con particolari conoscenze sulle relazioni familiari, così importanti nelle società "primitive"; in apparenza sembrerebbe che gli antropologi non debbano avere particolari competenze da economisti, giacché le società che studiano non hanno sviluppato istituzioni economiche complicate, non hanno un mercato, o se lo hanno, è marginale rispetto alle decisioni di produzione. Se l'oggetto della scienza economica è studiare – come riportano molti manuali – l'allocazione di risorse scarse tra fini alternativi, attuali e futuri, allocazione che si realizza attraverso il

meccanismo dei prezzi, in che senso si parla di “economia” nelle società primitive? La loro economia va oltre la loro ecologia? Possono esserci “prezzi” in economie senza mercato e moneta? Come vedremo in questo paragrafo, si può dare una risposta positiva a questi interrogativi ricordando che, nella definizione data da Aristotele nella *Politica*, l’economia si occupa di tutto ciò che fa capo all'*oikos*, e cioè dei beni e dell’approvvigionamento materiale della famiglia, ma anche dei rapporti interpersonali che sono gli elementi costitutivi del vivere sociale.

L’antropologo Roy Rappaport studiò negli anni '60 un piccolo gruppo umano, i *tsembaga-maring* della Nuova Guinea, cui dedicò una famosa monografia intitolata “Maiali per gli antenati” (Rappaport, 1968). Gli *tsembaga* coltivavano una grande varietà di verdure, di radici e di tuberi, canna da zucchero e alcuni alberi da frutta. Due erano i tipi di campi più frequenti, uno con *taro* e *yam*, l’altro con canna da zucchero e patata dolce, anche se in ogni campo erano compresenti molte delle altre piante che coltivavano. L’agricoltura era di tipo “*slash and burn*”²¹ che consiste nel coltivare un appezzamento di terreno disboscato con l’aiuto del fuoco; dopo qualche anno, quando iniziano a manifestarsi erosione e perdita di fertilità del suolo, i terreni vengono abbandonati e ritornano a maggesi o foresta secondaria. Gli *tsembaga* si dedicavano anche all’allevamento di maiali; ogni gruppo familiare disponeva di alcuni di questi animali che, raggiunti circa 80 kg di peso, venivano sacrificati, quasi tutti in una volta, in una mattanza rituale chiamata *kaiko*, istituzione sociale e religiosa che ristabiliva, attraverso regali, le alleanze con i gruppi vicini, soprattutto se rotte da guerre.

Rappaport registrò in modo accurato il lavoro di donne e uomini nelle operazioni di realizzazione degli orti, di pulitura dalle erbacce e di raccolta, e convertì questo lavoro in termini energetici. Studiò anche il rendimento o produttività energetica del lavoro, a seconda dei vari prodotti raccolti e attribuendogli il proprio valore calorico. In questo modo determinò il rendimento calorico degli apporti di lavoro misurato anch’esso in calorie, essendo in entrambi i tipi di coltivazione di circa 20:1. Riscopri dunque quello che abbiamo chiamato il ‘principio di

²¹ Includendo tra gli input non solo l’energia del lavoro umano ma anche quella della foresta primaria e secondaria bruciata si comprende come questa pratica di agricoltura sia la più “energivora”, (anche di più dell’agricoltura moderna, che assorbe grandi quantità di combustibili fossili). Solo una densità di popolazione molto bassa (e l’assenza di pressioni all’exportazione) consente periodi di riposo del terreno tali da consentire il rinnovamento della foresta secondaria.

Podolinsky', ovvero fece notare che la produttività energetica superava il consumo energetico endosomatico che rendeva possibile il lavoro fisico negli orti. L'economia era di sussistenza egalitaria in cui tutti gli uomini e le donne lavoravano e non vi era una classe dirigente oziosa da mantenere.

La produttività energetica agricola era tale da consentire di mantenere sia le persone che i maiali; questi ultimi quando erano piccoli si cibavano dei rifiuti domestici, ma quando crescevano avevano bisogno di lavoro per la loro alimentazione, vale a dire, si dedicavano loro orti speciali. Facendo il bilancio energetico di questa economia si presentava l'apparente paradosso per cui il rendimento in calorie era talmente basso che sembrava assurdo dedicarsi ad allevare maiali. Si doveva lavorare nei campi, raccogliere e dar da mangiare ai maiali (che non erano chiusi all'interno di una specie di campo di concentrazione, come accade oggi nei paesi più ricchi, ma correvano liberi, consumando così molta energia), col risultato di avere un bilancio energetico molto povero. Gli *tsembaga* mostravano allora una irrazionalità economico-ecologica nel dedicarsi all'allevamento dei maiali? La risposta è negativa, per vari motivi. Innanzitutto, la carne di maiale veniva mangiata sia per il suo buon sapore che per le sue proteine e non per le calorie (benché gli *tsembaga* sapessero nulla di proteine, sapevano che la carne di maiale era molto indicata per i bambini e per le donne in gravidanza). Inoltre, la mattanza rituale aveva un significato religioso.

E' interessante notare che il *kaiko* aveva inizio dietro indicazione delle guide religiose le quali, oltre che ai segni propizi, guardavano anche quando il numero e il peso dei maiali da mantenere superava un certo limite! Come scrisse Rappaport, «troppi maiali sono costosi». Ma come possono esserlo se non c'è un mercato, né prezzi? Vediamo qui i due significati, quello antico e quello moderno, della parola *economia*: approvvigionamento materiale e energetico dell'*oikos* e studio dell'allocazione di risorse scarse tra fini alternativi, anche se non necessariamente attraverso prezzi di mercato, ma almeno attraverso la comparazione di diversi valori. Le proteine dei maiali risultano convenienti, anche se le loro calorie sono costose, sempre che il loro numero e il loro peso non divenga eccessivo. La monografia di Rappaport costituisce dunque uno studio di economia, di economia ecologica.

2.2.3 Coltivare con il petrolio

Gli esempi citati prima analizzavano il flusso di energia in sistemi agricoli molto semplici. Intorno al 1970 molti studiosi, sulla scia degli

insegnamenti dell'ecologo Howard T. Odum, presentarono bilanci energetici di vari tipi di agricoltura, mostrando in particolare come l'agricoltura moderna, a differenza dell'agricoltura tradizionale, abbia cessato di essere un produttore netto di energia primaria. Perelman (1972), ad esempio, scrive:

Chinese wet-rice agriculture is far more efficient than our own system – that is if measured in terms of output per unit of energy instead of output per hour of farm labor or in terms of (market) value of output per dollar input.

Il lavoro più celebre è quello di David Pimentel, dell'Università di Cornell²² che mostrò che l'efficienza energetica della coltivazione del mais negli Stati Uniti era decrescente a causa dell'enorme e crescente impiego di petrolio o suoi derivati (come fertilizzanti e pesticidi). Negli USA l'efficienza energetica, misurata come rapporto tra contenuto energetico del prodotto e input energetico totale, era divenuta inferiore all'unità, come avviene in ogni economia in cui l'agricoltura assume carattere industriale.

Da un lato, dunque, abbiamo innumerevoli studi che concludono che la produttività energetica diminuisce con la modernizzazione, dall'altro l'opinione diffusa che l'agricoltura moderna sia di gran lunga più produttiva. In realtà il contrasto è solo apparente e deriva da che cosa si intenda per "produttività". Il concetto ha un significato abbastanza chiaro se ci si riferisce alla produttività di uno degli input che intervengono in un particolare processo produttivo; si parla così della produttività del lavoro (marginale o media) come quantità di produzione agricola (misurata in unità fisiche di un certo prodotto) che otteniamo da un'ora di lavoro (in media o marginale). Moltiplicando il prodotto per il suo prezzo di vendita se ne ottiene il suo valore monetario. E' chiaro che la qualità di un'ora di lavoro non è la stessa per ciascun lavoratore e che si dovrebbe tenere in conto non solo del lavoro diretto, ma anche di quello indirettamente necessario (per esempio quello dedicato a produrre fertilizzanti o macchinari). Anche se questo è di difficile individuazione, il concetto rimane chiaro. Se dunque prendiamo la produttività oraria, come quella per ettaro, non ci sono dubbi che in agricoltura questa sia aumentata molto, anche considerando il crescente peso del lavoro indiretto. Ovviamente per un imprenditore agricolo gli aspetti rilevanti, quelli che

²² L'Università - il cui fondatore Cornell si arricchì abbattendo foreste - è rinomata per gli studi agrari e forestali.

determinano le proprie scelte, sono i rendimenti dei propri fattori produttivi.

A livello di società, tuttavia, potrebbe essere rilevante conoscere anche la produttività complessiva, ovvero il rapporto tra ciò che esce e ciò che entra nel processo produttivo. Tale questione è delicata in chiave epistemologica poiché tutti gli input vanno espressi nella stessa unità di misura dell'output. Il calcolo energetico quale è stato menzionato finora è una delle possibilità, una possibilità che aggiunge importanti conoscenze, anche se il risultato non può essere l'unica guida per valutare le diverse tecniche agricole. Ad esempio, non siamo solo interessati alla quantità totale di energia impiegata, ma anche alla sua composizione (la parte conferita dall'uomo, quella da fonti rinnovabili e quella da fonti non rinnovabili), l'uso di sostanze inquinanti, l'uso di acqua, la conservazione e coevoluzione della biodiversità, ecc... Quello che per il momento ci preme sottolineare è che si collocano nel cuore dell'economia ecologica le questioni cui si è accennato ora – ovvero chiedersi se l'agricoltura moderna davvero determini aumenti di produttività, mostrare il conflitto tra la valutazione economica convenzionale e i risultati ottenuti dall'analisi dei flussi di energia nell'agricoltura, interrogarsi su quale siano i metodi adeguati per valutare le risorse e i servizi ambientali degradati dalla modernizzazione dell'agricoltura.

2.3 Il flusso di materiali nelle economie industrializzate: l'economia si dematerializza?

Grazie all'energia, l'uomo movimentata e trasforma la materia modificando così il proprio ambiente; tuttavia, ogni uso di materia causa impatti ambientali che dipendono, ovviamente, anche dalla natura dei materiali stessi. E' dunque necessario affiancare alla contabilità nazionale, che misura le grandezze in termini monetari, un sistema di conti bio-fisici.

Comprendere quanta materia, nelle sue varie forme, venga impiegata da un sistema è lo scopo della contabilità dei flussi di materia (*material flow accounting*, d'ora in avanti abbreviata con MFA). L'idea è semplice: definiti i confini del sistema oggetto di analisi – un individuo, la propria abitazione, una città, ... - si contabilizza quanta materia, in un certo periodo di tempo, entri, quanta se ne accumuli al suo interno e quanta ne esca. L'analogia spesso usata è quella del metabolismo: come per i sistemi biologici, anche quelli socioeconomici si fondano sul continuo passaggio di energia e di materia che consente il mantenimento della loro struttura

interna, con la differenza, tuttavia, che il *metabolismo sociale* può assumere forme assai variabili e dipende dall'evoluzione istituzionale e socio-economica di ciascuna società.

Se le basi per la MFA erano già state gettate nel 1969 da Ayres e Kneese in un importante contributo citato in precedenza, è solo con gli anni 1990, con il dibattito sullo sviluppo sostenibile, che se ne è diffusa l'applicazione. Uno dei suoi principali vantaggi è che consente di superare alcune difficoltà a contabilizzare quanto l'uomo restituisce all'ambiente. Se si pensa alla struttura dei prelievi, detti *input*, e delle restituzioni, dette *output*, ci si rende subito conto che mentre la restituzione avviene in modo diffuso, i prelievi avvengono in modo ben più concentrato - presso una cava, una miniera, da un fiume - e risultano pertanto assai più facili da stimare. Partire dai prelievi consente pertanto di verificare, e migliorare sensibilmente, le stime sugli "scarti" restituiti all'ambiente; in altri termini, la redazione di un bilancio impone un rigore che consente di ridurre dimenticanze e omissioni. Per un'economia nazionale lo schema di MFA è rappresentato in [Figura 2.17](#).

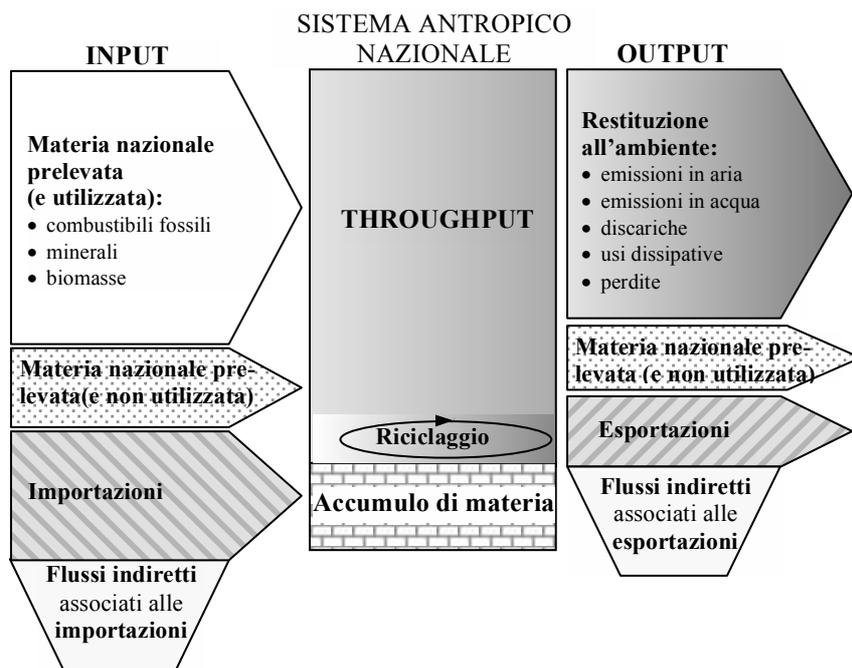


Figura 2.17. Schema per la contabilità dei flussi di materia per una nazione.

Una MFA a livello nazionale contabilizza gli input materiali provenienti dal territorio nazionale e dall'estero, l'accumulazione all'interno del sistema economico, e gli output materiali in uscita verso altre economie o che tornano al territorio. I vari flussi (rimangono fuori l'uso di acqua e aria), pur distinti in varie categorie, vengono misurati nella stessa unità di misura, tonnellate. Un termine assai importante è *material throughput*, ciò che passa attraverso l'economia in un dato lasso di tempo (v. Boulding, 1966); la sua riduzione è premessa per la riduzione degli impatti ambientali.

L'ufficio di statistica europeo, Eurostat, da diversi anni ha elaborato metodi di contabilità standardizzati che permettono di confrontare i dati che gli Uffici di Statistica Nazionale raccolgono (cfr. ad es. Schütz e Steurer, 2001) e che ha consentito alla MFA di entrare nelle statistiche ufficiali dell'Unione Europea. In conseguenza di questo lavoro, possiamo disporre di ampie serie storiche per molti paesi dell'Unione Europea.²³

Il *Wuppertal Institut per il Clima e l'Ambiente* (www.wupperist.org) è stata una delle prime istituzioni ad occuparsi del tema delle basi materiali dell'economia. Tra le molte attività svolte, ha contribuito - insieme al *World Resources Institute* di Washington (www.wri.org) e ad altre organizzazioni olandesi e giapponesi - a un pionieristico studio sull'uso di risorse in Germania, Stati Uniti, Paesi Bassi e Giappone (Adriaanse et al. 1997) incentrato sui prelievi di materia, cui è seguito un altro studio focalizzato questa volta sugli output (Matthews et al., 2000). Benché la metodologia e la terminologia impiegata è in parte differente da quella attuale, è utile riportare alcuni dei principali risultati ottenuti.

In primo luogo, si osservi la stima delle serie storiche del fabbisogno materiale complessivo annuale (*Total Material Requirement*, TMR) i cui valori pro-capite sono raffigurati in [Figura 2.18](#). Come si può osservare, negli anni '70 il TMR pro-capite era di circa 40 tonnellate per il Giappone, 65 per Germania e Paesi Bassi, 100 per gli USA; nel tempo, si è manifestato un processo di convergenza fra questi tre paesi mentre il TMR Giappone, sia pur in crescita, si è mantenuto su livelli molto più bassi, anche, ma non solo, in virtù di un maggior ricorso all'energia nucleare. Occorre ricordare che nel periodo la popolazione è aumentata cosicché per il flusso complessivo di materia è aumentato di più di quanto non si ricavi dal grafico. Anche per gli Stati Uniti, nonostante la riduzione del TMR pro-capite, il TMR complessivo è di poco aumentato, di circa il 3.5%.

²³ <https://ec.europa.eu/eurostat/web/environment/material-flows-and-resource-productivity>

Per i paesi poveri del mondo le stime sono molto più difficoltose; si ritiene (Naredo e Valero 1999) che non sia azzardato valutare il fabbisogno pro capite dei paesi ricchi siano almeno dieci volte superiori rispetto a quelle del resto del mondo.

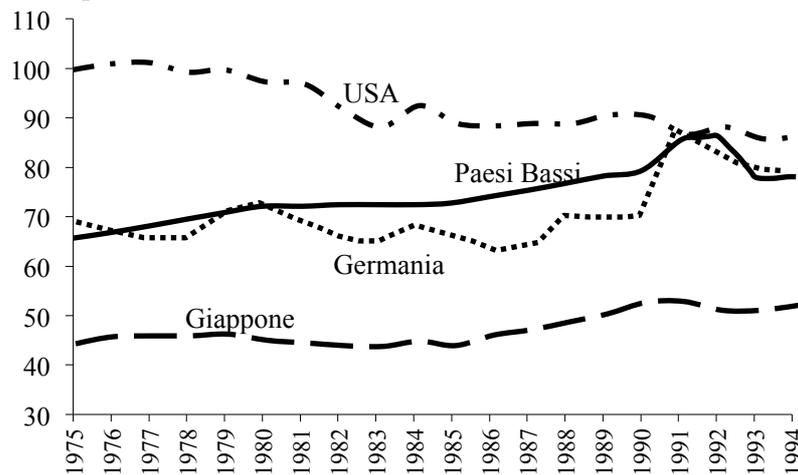


Figura 2.18. Fabbisogno di materia procapite di Germania, Paesi Bassi, Giappone e USA - 1975-1994

Tonnellate, adattato da Adriansee et al. (1997)

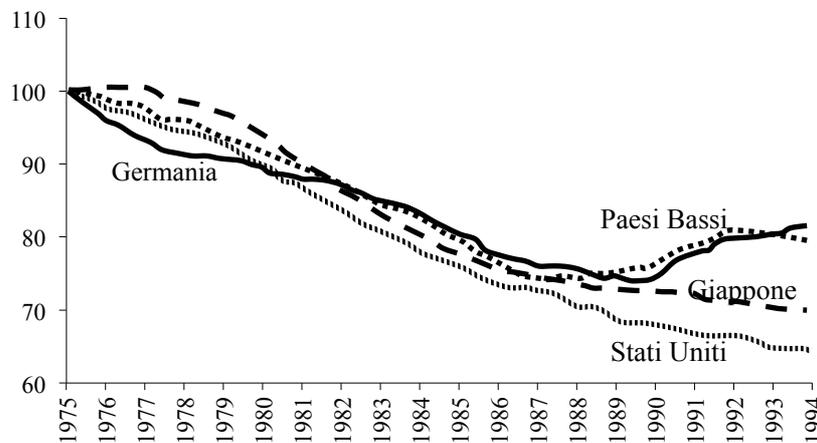


Figura 2.19. Intensità materiale di Germania, Paesi Bassi, Giappone e USA 1975-1994

Adattato da Adriansee et al. (1997)

L'ovvia critica rivolta agli indicatori che sommano la massa di materiali assai eterogenei con impatti diversi tra loro: il caso estremo è quello dell'uranio, il cui peso rispetto al totale dei materiali è trascurabile. Una simile critica, tuttavia, non ha fondamenti nell'approccio dell'economia ecologica la quale interpreta la somma dei flussi di materia soltanto come uno degli strumenti per la valutazione, un indicatore della scala complessiva dell'economia, importante, ma né unico, né il migliore. Esso viene, ad esempio, affiancato dalla disaggregazione nelle sue varie componenti cosicché si possa comprenderne la mutevolezza della sua composizione e, di conseguenza, i suoi effetti in termini di impatti ambientali.

Fatta questa premessa di metodo, possiamo andare avanti ad esporre alcuni risultati ottenuti dallo studio in esame. Come per l'energia, si può calcolare l'intensità materiale del PIL. Quel che si ottiene è un'intensità materiale in generale decrescente (v. [Figura 2.19](#)). Come evidenziano gli studi che si sono occupati della questione (v. ad es. De Bruyn e Opschoor, 1997), ciò è avvenuto perché, come per l'energia, il PIL è cresciuto più in fretta dei flussi di materia e non perché la quantità totale di materia si sia ridotta (lo stesso vale se ci limitiamo ai flussi diretti). Si può pertanto parlare di **dematerializzazione** dell'economia solo in termini relativi e non assoluti, mentre è ovvio che «quello che è ecologicamente significativo è il volume in termini assoluti di materie prime consumate, e non il volume in rapporto al PIL» (Bunker 1997).

Ultimo punto da sottolineare è che lo studio di Adriansee et al. (1997) avendo come obiettivo l'analisi il TMR, aveva stimato non solo i flussi materiali *diretti* - quelli che si scambiano nei mercati, carbone, ferro, biomasse, ...) - ma anche quelli *nascosti* o indiretti - la materia rimossa nell'estrazione del carbone o di un altro minerale, nel realizzare infrastrutture, o l'erosione del suolo nelle produzioni agricole²⁴. Lo stesso studio mostra inoltre, tentandone una stima, come la materia importata rechi con sé i flussi che sono stati necessari per estrarla o produrla nei paesi di origine; dimenticando questo aspetto si rischia di dare giudizi positivi, in termini di ridotto uso di materia, a paesi che, importando molto, scaricano all'estero i loro impatti ambientali. Nella [Figura 2.20](#)

²⁴ I flussi nascosti non vanno sul mercato ma entrano comunque in gioco quando vengono estratti i materiali venduti sul mercato; essi consistono di materia che viene rimossa per ottenere il materiale desiderato, come il materiale scartato nell'estrazione di minerali, l'erosione del suolo in agricoltura, i materiali rimossi nel settore delle costruzioni, nel dragaggio dei porti, ecc.

abbiamo riportato la composizione del TMR pro-capite per il 1991 distinta, nella prima barra, in flussi originati all'interno e all'estero, nella seconda in flussi diretti e nascosti.

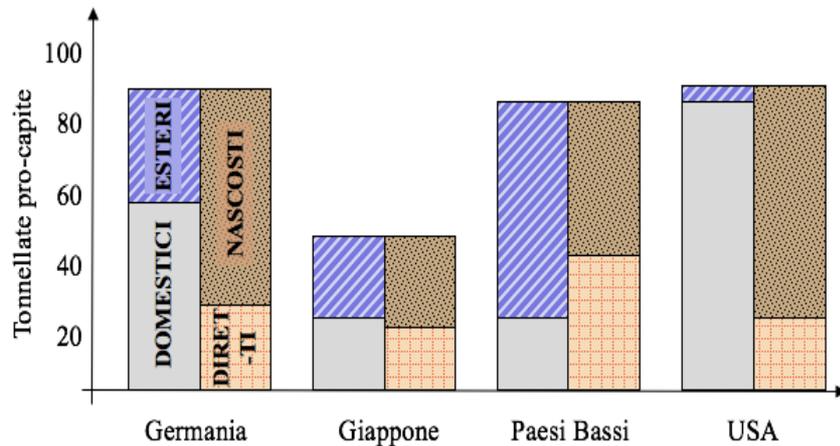


Figura 2.20. Scomposizione del TMR per il 1991 in “flussi domestici” e “esteri” e in “diretti” e “nascosti”

Adattato da Adriansee et al. (1997)

Nella [Figura 2.21](#) si riporta l'input materiale diretto per l'Italia nel periodo 1980-2001 come somma delle importazioni e della materia estratta all'interno (v. Femia et al. 2009). Notiamo che si è avuta una crescita della materia impiegata, soprattutto se si tiene conto della crescita delle importazioni che non includono i materiali usati nella loro produzione; stimandone i loro flussi indiretti, si è ottenuta una misura del TMR, mostrato nella [Figura 2.22](#). Sembra pertanto emergere che nel periodo considerato l'Italia abbia trasferito all'estero il fardello materiale dei propri consumi.

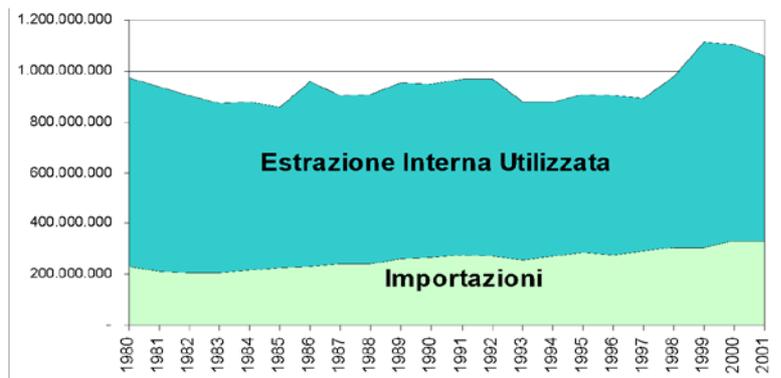


Figura 2.21. Input Materiale Diretto (DMI) per l'Italia, periodo 1980-2001
Tonnellate; adattato da Femia et al. (2009)

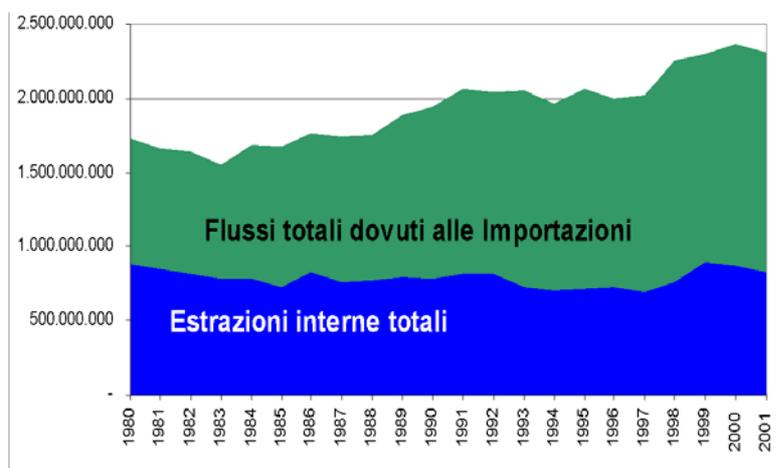


Figura 2.22. Evoluzione del Fabbisogno Totale di Materia (TMR) per l'Italia, periodo 1980-2001
Tonnellate; adattato da Femia et al (2009)

Occorre tuttavia sottolineare come la stima sia dei flussi domestici nascosti che di quelli originati all'estero comporta gravi difficoltà, anche metodologiche, che rischiano di rendere inaffidabili le stime, soprattutto per i materiali che non entrano nell'economia, i materiali non impiegati. Pertanto ha prevalso l'orientamento di produrre statistiche solo per i flussi materiali diretti o comunque per quelli stimabili con ragionevole certezza.

Il modo più intuitivo di vedere le principali grandezze che oggi sono oggetto della MFA è tramite la [Figura 2.23](#). A sinistra si comincia con quanto entra nell'economia interna (*domestic* in inglese), ovvero le

estrazioni interne (Domestic Extraction, DE) e le importazioni (IMP); la somma di queste due grandezze si chiama *direct material input* (dMI²⁵). La produzione impiega questi flussi di materia e li trasforma in beni e servizi che in parte vengono esportate.

Nell'economia rimane dunque quello che si definisce il consumo²⁶ di materiali interni, il DMC, dato dalla somma della estrazione domestica e della bilancia commerciale fisica (PTB), $DMC \equiv DE + IMP - EXP$. L'estrazione interna, DE, riguarda i materiali che entrano nell'economia (esclusa acqua e aria); questi vengono suddivisi in biomasse, minerali industriali, materie da costruzione, e combustibili fossili. La bilancia commerciale fisica, poiché è positiva quando nel paese entra più materia di quanta ne esca, viene definita come importazioni meno esportazioni, ovvero $PTB = IMP - EXP$ ²⁷.

Come si è detto, il termine "*direct*" sta a indicare che sono beni che passano per il mercato, mentre non viene inclusa quella che oggi si definisce l'estrazione interna inutilizzata, UDE (*unused domestic extraction*), ovvero i materiali spostati dall'azione umana ma che non entrano nel mercato.

Il DMC indica dunque il fabbisogno di materiali lungo tutta la catena produttiva per soddisfare consumi, investimenti e le esportazioni. Indica anche il potenziale di rifiuti che verranno a ricadere nel paese e pertanto può considerarsi come indicatore di pressione antropica delle produzioni svolte nel paese. Il DMC, tuttavia, non cattura l'eventuale spostamento all'estero di produzioni ad alta intensità di materiali, ovvero il fatto che un paese potrebbe avere un elevato DMC non tanto perché i propri cittadini consumano molti beni, ma perché soddisfa la domanda di abitanti di altri paesi. In questo senso il DMC guarda ai flussi materiali dal punto di vista della "produzione".

La parte destra della [Figura 2.23](#) ci conduce al punto di vista del "consumo", per ottenere indicatori che stimano quanto uso di materia vada attribuito al mercato interno. Come primo passo si compie una stima della materia impiegata per le importazioni e per le esportazioni e si esprimono queste grandezze in termini di "materia grezza equivalente" (Raw Material

²⁵ Diversamente dalla notazione convenzionale, per maggiore chiarezza usiamo la "d" minuscola per indicare "diretti" e la "D" maiuscola per indicare "Domestic".

²⁶ Occorre precisare il termine "consumi" non si riferisce, come in macroeconomia, al consumo di beni finali, bensì al materiale usato nei processi di produzione e di consumo domestici.

²⁷ Si osservi che la bilancia commerciale della contabilità nazionale, volendo misurare i flussi monetari, viene definita in modo opposto, cioè esportazioni meno importazioni.

Equivalent, RME). A questo punto, sommando le estrazioni interne alle importazioni in RME si ottiene l'input materiale grezzo (Raw Material Input, RMI). Calcolata la bilancia commerciale in termini di RME, la si somma alle estrazioni domestiche per ottenere il consumo di materia grezza (Raw Material Consumption), ovvero $RMC \equiv DE + IMP_{RME} - EXP_{RME}$

Il RME viene detto anche "impronta materiale" (Material Footprint, MF) in analogia con l'impronta ecologica per sottolineare il fatto che esso stima i flussi di risorse associati alla domanda finale interna, indipendentemente da dove questi si siano manifestati, nel paese o all'estero. In altri termini, è una stima di quanto consumo di materia sono "responsabili" gli abitanti di una certa nazione.

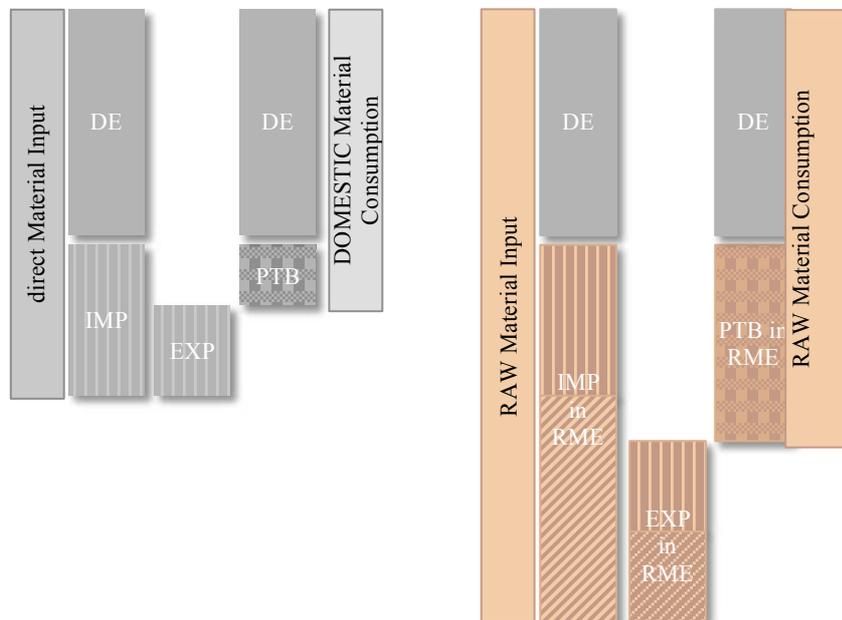


Figura 2.23 Tavola riassuntiva delle principali macro grandezze della MFA
Adattata da <http://www.materialflows.net/methods>

Figura 2.24

Come esempio delle potenzialità di questa metodologia, mostriamo alcuni risultati dello studio di Weisz et al. (2006) sui paesi EU-15. La [Figura 2.24](#) mostra il livello e la composizione del DMC mentre la [Figura 2.25](#) il DMC e la DE per unità di territorio, due indicatori della pressione esercitata dall'economia sull'ambiente.

Per chiarimenti e approfondimenti sulla MFA si possono consultare le guide alla MFA di EUROSTAT (ad es. Schütz e Steurer, 2001), le note metodologiche di Istat (2006), Krausmann et al (2017), Schandl et al. (2018) e anche la pagina <http://www.materialflows.net/methods/>.

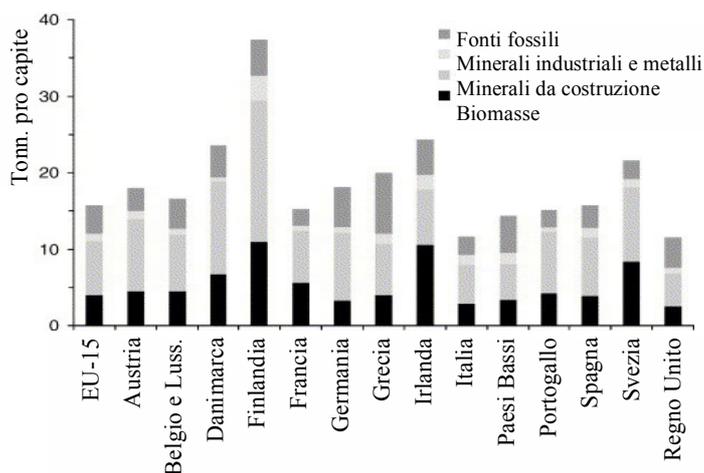


Figura 2.24. Livelli e composizione del DMC pro-capite per tipologia di materiale nei paesi EU-15

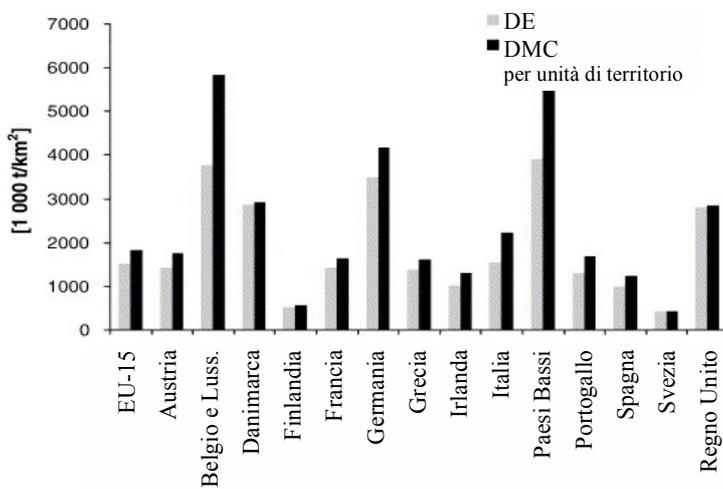


Figura 2.25. DE e DMC per unità di territorio, anno 2000

2.4 L'analisi input-output: la disaggregazione dell'economia come sistema aperto

2.4.1 Cenni all'analisi input-output

Nelle economie moderne ci sono forti interrelazioni tra i settori economici, nel senso che la produzione di moltissimi beni non va alla domanda finale²⁸, ma costituisce prodotto intermedio (semilavorato) per altri settori. Se guardiamo a un singolo settore, la domanda che riceve genera una domanda (indiretta) per altri settori; il settore agricolo, ad esempio, utilizza quello chimico per i fertilizzanti e quello energetico per i combustibili. Per rappresentare e analizzare le interrelazioni settoriali, l'economista Wassily Leontief (1905-1999) sviluppa, negli anni trenta del XX secolo, un metodo molto efficace noto come "analisi input-output". L'idea consiste nel disaggregare l'economia in diversi settori e tenere conto dei flussi monetari²⁹ periodici (in genere annuali) tra questi settori, distinti in beni e servizi in ingresso, input, e in uscita, output. Questo metodo ha avuto un grande successo, sia perché ha generato una ricca letteratura scientifica che lo ha sviluppato e raffinato, sia perché è un utilissimo strumento di analisi e per le politiche economiche, tant'è vero che gli istituti di statistica nazionale di gran parte dei paesi elaborano le tabelle input-output.

Esaminiamo un esempio molto semplice, descritto nella [Tabella 2.3](#), in cui si considerano solo tre settori (ad esempio agricoltura, industria e servizi) e si ipotizza che l'economia sia "chiusa", ovvero sia autosufficiente e non scambi con il resto del mondo. Scorrendo per riga, si legge la destinazione dell'output (prodotto) di ciascun settore, ovvero le sue vendite, per colonna invece si leggono i costi e il valore aggiunto. Ad esempio il settore I produce per un valore totale di 5000 euro destinato in parte a fornire *input* ai settori (rispettivamente 500, 1020 e 440, per un totale di 1960) e in parte a soddisfare la domanda finale dei consumatori (pari a 3040). Scorrendo per colonna, si apprende che il settore I acquista

²⁸ La domanda finale verrà identificata nei nostri semplici esempi con il consumo, sebbene in realtà le tabelle input-output considerino anche gli investimenti o la formazione lorda di capitale come domanda finale, poiché parte degli acquisti da un settore all'altro non servono tanto per consentire la produzione del periodo quanto per accumulare o sostituire il capitale. Inoltre, parte della produzione, come le esportazioni, è destinata a un altro tipo di domanda, quella estera (e parte degli acquisti di input sono importazioni).

²⁹ Se l'economia fosse disaggregata, in modo da avere tanti settori quanti sono i beni, lavoreremmo, come nel modello teorico input-output, in unità fisiche e non monetarie.

input dai diversi settori per un totale di 2000 euro e che distribuisce ai fattori produttivi 3000 euro come valore aggiunto (ovvero il valore della produzione meno il valore degli *input*).³⁰ La somma dei valori aggiunti (6290) dà il reddito nazionale, che coincide con la somma del valore delle domande finali per ciascun settore, cioè con il prodotto nazionale³¹ (6920).

Tabella 2.3. Esempio dell'analisi input-output: un'economia chiusa con tre settori (ad es. migliaia di euro)

<i>Settore</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>D: Domanda finale</i>	<i>X: Valore totale</i>
<i>I</i>	500	1020	440	3040	5000
<i>II</i>	1000	1530	880	1690	5100
<i>III</i>	500	1020	1320	1560	4400
<i>Valore aggiunto</i>	3000	1530	1760	6290	
<i>Produzione totale</i>	5000	5100	4400		

Se esprimiamo le relazioni intersettoriali in termini di acquisti per unità di prodotto otteniamo la matrice riportata nella [Tabella 2.4](#), che è nota come matrice dei coefficienti tecnici intersettoriali. Se, ad esempio consideriamo gli acquisti del settore III dal settore I e li dividiamo per il valore prodotto dal III, ovvero 440 diviso 4400, otteniamo un valore pari a 0,10: per ogni euro prodotto dal settore III questi deve acquistare dal settore I beni e servizi per un valore pari a 10 cent. In modo simile, il settore II per ogni euro prodotto deve acquistare input che costano un totale di 70 cent (somma della seconda colonna).

Tabella 2.4 Matrice dei coefficienti tecnici intersettoriali dell'economia

Settore	I	II	III
I	0,10	0,20	0,10
II	0,20	0,30	0,20
III	0,10	0,20	0,30

³⁰ Ciò viene di solito identificato, a nostro avviso in modo confuso, con una remunerazione per gli input primari, lavoro e capitale. Il lavoro è certamente un input, ma il capitale che viene rinnovato è una somma di denaro che consente di acquisire input (pagare per la propria forza lavoro, materie prime, macchinari ...) e che dà diritto a ricevere parte del reddito. Gli unici input che meritano di essere qualificati come primari sono le risorse naturali e il lavoro (sebbene questo sia anche, in realtà, un input derivato, poiché richiede, per rinnovare se stesso, cibo e tutte le cure fornite al di fuori dall'economia).

³¹ In un'economia chiusa non c'è differenza tra il concetto di prodotto interno e nazionale.

Uno dei motivi per cui l'analisi input-output è così importante è che consente di quantificare le complesse conseguenze di cambiamenti della domanda finale. Che cosa succede se i consumatori domandano un altro euro di beni del settore I? Affinché questo euro di bene aggiuntivo venga prodotto occorre che anche gli altri settori aumentino la produzione dei beni che sono input del settore I, il che a sua volta genera la necessità di produrre a sua volta altri input, determinando una lunga catena di effetti. Per comprendere come si calcola l'effetto complessivo di questa catena a partire da un cambiamento della domanda di beni finali occorre procedere a una formalizzazione.

Sia A la matrice dei coefficienti tecnici intersettoriali di ordine $n \times n$ (dove n è il numero di settori considerati) e X il vettore (colonna) delle produzioni totali e D il vettore (colonna) delle domande finali. Se si considera che il valore degli input necessari per produrre X è dato dal prodotto AX possiamo scrivere

$$AX + D = X$$

Per rendere meno astratta questa formula si provi a leggere una delle righe della [Tabella 2.3](#) nei seguenti termini: la somma del valore degli input più la domanda di un bene prodotto da un settore è uguale al valore della produzione, indicato nell'ultima colonna, ad esempio per il settore II abbiamo $(1000+1530+880) + 1690 = 5100$.

Possiamo riscrivere l'equazione di cui sopra come

$$D = (I - A) X,$$

dove I è la matrice diagonale unitaria e poi risolvere per X ottenendo

$$X = (I - A)^{-1} D$$

Il termine $(I - A)^{-1}$, noto come l'inversa di Leontief, è la matrice dei coefficienti di fabbisogno (diretti e indiretti) e esprime le quantità di produzione necessarie per soddisfare un'unità di domanda finale in ciascun settore. Nel nostro esempio l'inversa è la seguente:

$$(I - A)^{-1} = \begin{pmatrix} 1,243 & 0,442 & 0,304 \\ 0,442 & 1,713 & 0,552 \\ 0,304 & 0,552 & 1,630 \end{pmatrix}$$

Il coefficiente situato nella riga i -esima e nella colonna j -esima indica il valore delle quantità del settore i necessarie per soddisfare un euro di domanda finale di beni prodotti dal settore j . Ad esempio, il valore 0,442 situato nella prima riga e seconda colonna indica che è necessario produrre complessivamente 44,2 cent nel settore I per soddisfare un euro di domanda finale del settore II. Sommando i valori di ciascuna colonna si

ottiene il c.d. moltiplicatore settoriale che esprime l'incremento di produzione causato da un aumento unitario della domanda finale del settore corrispondente alla colonna.

Con matrici estese al commercio con l'estero e dettagliate nei sottosettori delle attività produttive e nell'ipotesi che la matrice dei coefficienti tecnici intersettoriali non cambi e che le interrelazioni siano effettivamente lineari, l'analisi input-output consente di analizzare gli ipotetici effetti dei cambiamenti delle domande dei beni prodotti da ciascuno dei settori (o sottosettori).

2.4.2 L'analisi input-output applicata al caso delle emissioni inquinanti

L'analisi input-output può essere impiegata per individuare gli impatti ambientali delle attività economiche (v., ad es., James et al., 1978) e lo stesso Leontief ha contribuito in tal senso. Pensiamo, ad esempio, all'emissione di un contaminante nell'atmosfera, il caso per il quale ci sono state più applicazioni. Per analizzarne l'impatto si devono includere i dati delle quantità di inquinanti generati da ciascun settore economico. Se le quantità di inquinante nei tre settori fossero rispettivamente 50, 540, e 110 (per un totale di 700), avremmo i seguenti coefficienti di emissione per unità di produzione (ad esempio, in tonnellate di inquinante per ogni mille euro di produzione):

Settori	Q coefficienti di impatto
I	$50/5000=0,010$
II	$540/5100=0,106$
III	$110/4400=0,025$

In forma di vettore riga, possiamo indicare tali coefficienti come $Q'=(0.010, 0.106, 0.025)$ che moltiplicato per X , il vettore colonna delle produzioni, indica le emissioni totali E . Sapendo che X è uguale all'inversa di Leontieff moltiplicata per il vettore della domanda otteniamo:

$$E = Q' X = Q' (I - A)^{-1} D = B' D = 700$$

in cui B' esprime le emissioni complessive (dirette e indirette) generate per un'unità di domanda finale in ciascun settore (se consideriamo diversi contaminanti, sia Q che B sarebbero matrici e non vettori). Nel nostro esempio $B' = (0,067; 0,200; 0,102)$.

Così come avevamo calcolato la produzione complessiva associata a un vettore della domanda finale, abbiamo ora calcolato la contaminazione generata nel complesso da questa. Ad esempio, il terzo elemento di B'

rappresenta l'inquinamento diretto e indiretto generato da un'unità di consumo di beni del settore III; è un valore pari a 0,102, ben superiore al coefficiente di inquinamento diretto (0,025 unità di emissioni per 1€) in quanto si tiene ora conto degli inquinamenti generati nella produzione dei beni degli altri settori.³² Ciò illustra un fatto generale: l'impatto ambientale diretto della produzione di un bene può essere piccolo, ma il suo impatto complessivo molto grande, se il settore impiega quantità significative di input di altri settori la cui produzione ha un alto impatto ambientale.

Se ipotizziamo che i coefficienti tecnici e i coefficienti di impatto ambientale restino invariati, ipotesi verosimile nel breve periodo, possiamo stimare l'impatto inquinante di variazioni della domanda finale, ad esempio, di cambiamenti nei consumi. Se la domanda diretta ai diversi settori cresce in modo equiproporzionale, ovviamente anche le produzioni totali e l'inquinamento di tutti loro cresceranno nella stessa proporzione. Questo non avviene se la domanda aumenta in modo differenziato per i beni dei diversi settori. Per illustrare questo aspetto, immaginiamo che il valore aggiunto aumenti del 10%, passando da 6290 a 6919, in tre diversi modi, facendo aumentare rispettivamente solo quello del settore I, solo quello del settore II e solo quello del settore III come mostrato nella [Tabella 2.5](#) (i cambiamenti rispetto alla situazione iniziale sono in grassetto). La [Tabella 2.6](#) mostra gli effetti sulla produzione e sulle emissioni di questi cambiamenti: se l'aumento della domanda riguarda beni prodotti dal settore I, allora le emissioni aumentano del 6%, se solo beni prodotti dal settore II, l'aumento è del 10%, se solo beni prodotti dal settore III, l'aumento è del 9,2%.

³² In effetti, nel nostro esempio, la maggior parte dell'inquinamento generato dalla domanda rivolta al settore III non si ha nel settore stesso ma nel settore II. Per rendersene conto, anziché usare il vettore Q' , possiamo usare una matrice diagonale (sulla diagonale principale sono collocati i coefficienti di impatto e nelle altre posizioni degli zeri) che ci consente di ottenere i coefficienti di impatto complessivi disaggregati per settore, dati dalla matrice B (la cui somma per colonna dà il vettore B'). In questo caso:

$$B = \begin{pmatrix} 0.012 & 0.004 & 0.003 \\ 0.047 & 0.181 & 0.058 \\ 0.008 & 0.014 & 0.041 \end{pmatrix}$$

Questa matrice indica che se la domanda nel settore III aumenta di un'unità, le emissioni nel settore I aumentano di 0,003 unità, nel II di 0,058, mentre nel settore stesso di 0,041.

Tabella 2.5 Tre diversi ipotesi di aumento del V.A. complessivo

Settore	Domanda finale iniziale	A: aumento solo in I	B: aumento solo in II	C: aumento solo in III
I	3040	3669	3040	3040
II	1690	1690	2319	1690
III	1590	1560	1590	2189
VA	6290	6919	6919	6919

Tabella 2.6 Gli effetti sulla produzione e sulle emissioni di tre diversi ipotesi di aumento del V.A. complessivo

Settore	Prod. iniziale	Prod. in A	Prod. in B	Prod. in C	Emissio- ni iniziali	Emiss. in A	Emiss. in B	Emiss. in C
I	5000	5782	5278	5191	50	58	53	52
II	5100	5378	6177	5448	540	569	654	577
III	4400	4591	4747	5425	110	115	119	136
					700	742	826	765
						+6%	+18%	+9,2%

L'esempio chiarisce che la stessa crescita economica (così come viene misurata convenzionalmente) genera impatti molto diversi a seconda della struttura della domanda, poiché l'impatto sull'inquinamento è diverso per ciascun settore; ci consente inoltre di comprendere che gli effetti delle variazioni nella domanda non sono prevedibili con facilità. In particolare, un settore potrebbe avere a prima vista un piccolo impatto diretto, che però diviene rilevante se si considera l'effetto indiretto rivelato dall'analisi input-output. Ovviamente, quanto maggiore è il livello di disaggregazione, tanto migliore sarà l'analisi (ad esempio, parlare di servizi senza distinzione tra trasporto, turismo o istruzione ha poco significato).

Come applicazione reale dell'analisi input-output alle emissioni, la Tabella 2.7 riporta i risultati di stime³³ per l'economia spagnola delle emissioni di gas serra³⁴ generate per unità di prodotto per diversi settori economici nel 2007. La colonna relativa alle emissioni totali deriva dal calcolo delle emissioni medie in modo da consentire di avere un'unità monetaria della domanda finale per ciascun tipo di bene e servizio³⁵. Come

³³ I presupposti per il calcolo (che includono una stima delle emissioni associate alle merci importate) sono spiegati in Arto e al. (2012).

³⁴ I seguenti sono considerati gas a effetto serra (quelli regolati dal protocollo di Kyoto) CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, HFC e CFP.

³⁵ Il coefficiente diretto è rappresentato dalle emissioni medie del settore per ciascuna unità monetaria prodotta. I coefficienti totali - derivati dall'analisi degli input-output - sono le emissioni totali indotte da un'unità monetaria della domanda finale.

ci si aspetta, i settori che generano più inquinamento sono i settori dell'energia e alcuni settori industriali ad alta intensità energetica come la produzione di cemento. Anche i settori agricolo e zootecnico e della pesca sono molto inquinanti. Come caso estremo abbiamo il settore elettrico che mostra un coefficiente di inquinamento totale superiore di oltre 40 volte rispetto a quello dell'istruzione pubblica. Questi dati sono importanti non solo per conoscere gli effetti ambientali delle diverse strutture della domanda, ma anche per prevedere gli effetti di varie proposte di riforme fiscali ecologiche sui prezzi di diversi tipi di beni e, di conseguenza, sul tenore di vita dei diversi gruppi sociali.

Tabella 2.7. Intensità contaminante dei gas ad effetto serra di alcuni settori selezionati in Spagna, 2007.

KgCO₂-equivalente / €

	Diretta	Totale
Produzione e distribuzione di energia elettrica	1.86	2.96
Produzione e distribuzione di gas	1.87	2.13
Fabbricazione dei prodotti minerali	1.33	2.13
Antracite carbone lignite e torba	1.44	2.05
Fabbricazione di cemento e gesso	1.35	1.98
Agricoltura allevamento e caccia	0.98	1.40
Pesca e acquacultura	0.99	1.28
Servizi sanitari e sociali nel mercato	0.02	0.20
Amministrazione pubblica	0.01	0.18
Educazione al mercato	0.00	0.11
Istruzione nel mercato	0.00	0.07

L'analisi input-output può essere anche impiegata per comprendere il cambiamento delle emissioni tra due anni specifici (o se si vuole pianificare una politica che consente loro di diminuire), tenendo presente che il cambiamento può venir scomposto nei tre seguenti fattori:

1. il livello di crescita della domanda;
2. il cambiamento nella struttura produttiva (che, in un'economia molto legata ad altre economie, dipende anche dal modello di specializzazione);
3. il cambiamento nel rapporto tra inquinamento e capacità produttiva dei vari settori (misurato a prezzi costanti) - un fattore soprattutto tecnologico che può essere influenzato dalla politica ambientale.

Ad esempio, impiegando la metodologia della "scomposizione in fattori", si può spiegare l'apparente contraddizione che si è registrata in

Spagna nel periodo 1995-2000. Da un lato le emissioni di CO2 generate dai diversi settori economici (non sono incluse le emissioni derivanti dal consumo, come quelle delle auto private) sono cresciute di circa il 25% dall'altro le emissioni di SO2 sono diminuite del 7%. La differenza di comportamento sembra spiegata dal fattore tecnologico che per gli ossidi di zolfo è stato molto più efficace³⁶.

Possiamo ora avanzare due osservazioni sulla relazione tra settori economici e impatti ambientali. La prima è che, quando vi sono vari tipi di inquinanti, alcuni cambiamenti nella domanda riducono determinati impatti, ma spesso a costo di aumentarne altri: l'attività per ridurre l'inquinamento genera altri tipi di inquinanti (spesso con un impatto minore), ad esempio quando i depuratori delle acque o i filtri del gas generano rifiuti solidi che devono poi essere trattati. La seconda è che, in un'economia aperta l'analisi diventa molto più difficile poiché, per i beni importati, gli impatti ambientali della produzione non ricadono nel paese in cui il bene viene consumato (vedi oltre).

Infine, dobbiamo sottolineare come una parte consistente dell'inquinamento è generata dal consumo³⁷, mentre finora ci siamo concentrati solo sugli impatti inquinanti delle attività produttive. Quando si effettuano analisi più generali dell'impatto inquinante di un dato vettore di domanda D si devono scrivere le emissioni come

$$E_{totali} = B'D + F'D$$

dove F sono i coefficienti delle emissioni generate nel consumo di una unità di domanda finale di ciascun settore, e come al solito, B e F sono matrici e E_{totali} è un vettore se consideriamo molti inquinanti, altrimenti rispettivamente due vettori e uno scalare.

2.4.3 Il commercio internazionale e la responsabilità nelle emissioni

Il modello input-output che abbiamo visto per spiegare le relazioni tra economia e emissioni inquinanti è sviluppato per un'economia isolata e autosufficiente. Come abbiamo già visto quando abbiamo affrontato il tema della contabilità dei flussi di materia, il fatto che ciascun paese

³⁶ Per la metodologia e altri risultati vedere Roca e Serrano (2007). I risultati sono simili a quelli di altri lavori, ad es. De Haan (2001) per i Paesi Bassi nel periodo 1987-1998.

³⁷ Si pensi ad esempio al ruolo del traffico dei veicoli privati nelle emissioni di ossidi di azoto.

economie scambino grandi quantità di merci con gli altri introduce una nuova prospettiva, diversa dalla solita, sulla responsabilità per l'inquinamento (o l'uso di risorse come l'energia o l'acqua). Secondo questa nuova prospettiva, un paese è responsabile di tutte le emissioni dirette e indirette associate alla produzione dei beni che richiede internamente. Il termine che è stato usato per anni per riferirsi a questo approccio è quello di "responsabilità del consumatore" (sebbene un termine migliore sarebbe "responsabilità della domanda interna o domestica"), che differisce dalla tradizionale "responsabilità del produttore". Per il calcolo delle emissioni secondo il principio del consumo, alle emissioni generate in un paese vengono aggiunte le emissioni associate alle importazioni e vengono sottratte quelle associate alle esportazioni.

Il confronto tra "responsabilità del consumatore" e "responsabilità del produttore" in un paese è direttamente correlato a ciò che possiamo chiamare "bilancia commerciale delle emissioni" (v., ad es., Peters e Hertwich, 2008, e Serrano e Dietzenbacher, 2010). Se le emissioni incorporate nelle importazioni sono superiori a quelle incorporate nelle esportazioni, la responsabilità del paese nel ruolo di "consumatore" sarà superiore a quella nel ruolo di "produttore" e si può dire che si tratta di un "esportatore netto" di emissioni³⁸, vale a dire, parte delle emissioni generate dai loro modelli di consumo sono "nascoste" perché sono prodotte in altri paesi.

Il calcolo delle emissioni associate alle importazioni e alle esportazioni di un paese non è facile per diversi motivi. In primo luogo, non è sufficiente sapere quale sia la bilancia commerciale tra il paese e il resto dei paesi, ma è necessario tenere conto della composizione settoriale del commercio estero. In secondo luogo, dovrebbero essere prese in considerazione non solo le emissioni dirette associate alla produzione di beni scambiati, ma anche quelle generate lungo tutta la catena di produzione, cioè per produrre gli input utilizzati e, a sua volta, l'input dell'input, e così via ...

Sono proprio i modelli di input-output economico-ambientale che consentono di calcolare le emissioni associate al commercio internazionale tenendo conto sia del tipo di obiettivi del commercio sia delle relazioni intersettoriali dell'economia. Questo è il motivo per cui l'analisi input-output è fondamentale per comprendere le conseguenze ambientali del

³⁸ Il linguaggio non è unificato e alcuni autori usano il termine "importatore netto di emissioni" per riferirsi a ciò che preferiamo chiamare qui "esportatore netto di emissioni".

commercio internazionale. Per passare da modelli a buone stime empiriche, è dunque necessario disporre di tabelle di input-output economico-ambientali “multiregionali” che forniscano informazioni sufficientemente disaggregate sui flussi commerciali tra i diversi paesi, informazioni che sono sempre più disponibili nelle banche dati internazionali. In ogni caso la loro natura di stima, spesso fondata su ipotesi restrittive, ci deve far leggere i risultati delle analisi fondate su queste tavole con cautela e prenderli come indicazioni di massima.

2.4.4 Fabbisogno delle risorse naturali

Un'altra possibile estensione dell'analisi input-output ha a che fare con la relazione tra la domanda finale e il fabbisogno di risorse naturali. Le tabelle input-output sono state concepite per gli input che hanno valore economico e che sono il risultato di scambi economici.

L'unico input “esterno” che riceve un ruolo privilegiato nel modello input-output, come inizialmente proposto da Leontief, è il lavoro³⁹. Se conosciamo i coefficienti di lavoro (misurati in ore o persone annue) di ciascun settore economico, dedurremo facilmente la quantità di lavoro direttamente e indirettamente necessaria per ottenere un'unità di produzione in ciascun settore, che corrisponde al concetto di valore del lavoro che occupa un posto così centrale nelle teorie classiche del valore di Ricardo e Marx. Se L' è un vettore (riga) che esprime la quantità di lavoro per unità di prodotto di ciascuno dei settori, avremmo che la quantità di lavoro necessaria per coprire la domanda D è:

$$T = L' X = L' (I - A)^{-1} D.$$

Ponendo $D'=(1, 0, 0 \dots 0)$ otteniamo il valore del lavoro di un'unità del primo settore economico, e così via.

In linea di principio, a parte il problema della disponibilità dei dati, nulla si oppone a utilizzare lo stesso metodo per determinare le esigenze dirette e indirette di altri input primari, come il carbone o il minerale ferro che si trovano nei giacimenti. Ad esempio, se avessimo buone informazioni sulla quantità di acqua utilizzata direttamente da ciascuno dei

³⁹ “Di solito, quando un settore utilizza una risorsa naturale proveniente direttamente dalla terra come input, questo input viene ignorato [...] Ad esempio, nel settore minerario si presume che lavoro, macchine, carburante, ecc., si combinino per produrre minerale di ferro, anche se nessuna combinazione immaginabile di questi input potrebbe produrre ferro senza un adeguato apporto di risorse dalla terra.” Casler e Wilbur (1984, p. 189).

settori, calcoleremmo i valori dell'acqua (il "costo nell'acqua") corrispondenti ai diversi settori economici⁴⁰; per questo, invece del vettore L' dei coefficienti di funzionamento, dovremmo usare un vettore di coefficienti dell'acqua. Questi valori ci direbbero, per ogni unità monetaria prodotta di ciascun settore, quali sono le esigenze idriche totali: un'informazione che è chiaramente rilevante quando si considera una politica delle risorse idriche che consiste non solo nel cercare di adattare l'offerta alle esigenze economiche, ma anche nel "gestire la domanda".

Lo stesso si potrebbe fare per determinare i fabbisogni delle varie risorse materiali primarie, in particolare per l'energia. E' infatti molto importante, in una prospettiva di economia ecologica, conoscere il fabbisogno di energia complessivo attivato da un'unità di domanda nei diversi settori⁴¹, domanda cui si può rispondere proprio grazie all'analisi input-output⁴².

⁴⁰ Questo è ciò che viene proposto nel lavoro di Choliz et al. (1996) in cui la metodologia viene analizzata e applicata all'analisi di una regione.

⁴¹ Questo non implica aderire a una teoria del "valore-energia", che cioè misuri il valore dei beni in termini di fabbisogno energetico. Non è infatti rilevante solo quanta energia totale viene usata per ottenere i diversi beni, ma anche la sua fonte, cioè petrolio, gas naturale, idroelettrico, eolico, ...

⁴² Come al solito, qui non si considera né l'energia solare da cui ha luogo la fotosintesi, né l'energia umana.

3 ASPETTI QUALITATIVI

3.1 La teoria dei sistemi e i sistemi biofisici

3.1.1 Sistemi e retroazioni

In questo paragrafo riassumiamo soltanto alcuni elementi essenziali per comprendere l'interazione uomo ambiente, senza alcuna pretesa di completezza o di rigore formale per i quali rinviemo a testi di ecologia funzionale.

Il primo concetto da avere ben chiaro è quello di **sistema**, un'entità che è costituita da elementi che sono legati tra loro da un insieme di relazioni che consistono in flussi di materia, energia, e informazione. La teoria dei sistemi si è sviluppata a cavallo degli anni '50 e '60 del secolo scorso⁴³ e ci ha insegnato a comprendere quanto siano importanti le relazioni tra le componenti di un sistema. E' sì importante conoscerne le caratteristiche, ma ancora più capire come ciascuno influenza gli altri, ovvero i meccanismi di **retroazione** dinamica che li legano (*feedback*). Un muretto a secco, pur essendo costituito da un insieme sovrapposto di pietre non può essere considerato un sistema proprio per la mancanza di relazioni dinamiche tra le sue componenti. E' vero che la pietra che sta sotto sostiene quelle sovrastanti e che fattori esterni, quali le intemperie, possono modificare il muretto, ma questo non vuol dire che vi siano interazioni tra gli elementi, catene di risposta alla variazione di un elemento. I feedback possono avere carattere "**negativo**" o "**positivo**", a seconda che conducano o meno a una stabilizzazione. Un esempio del primo tipo è il sudore: quando la temperatura corporea aumenta, si attivano dei meccanismi che, provocando il sudore, vanno a contrastare l'aumento della temperatura. Si pensi anche allo stimolo della fame o della sete ... L'effetto dunque è una stabilizzazione di alcune caratteristiche del sistema e la catena di *feedback* negativi costituisce il meccanismo di autoregolazione del sistema. Un classico esempio di retroazione "positiva" è quello della corsa agli armamenti. Uno stato che accresca l'armamentario bellico induce l'avversario ad accrescere a sua volta il

⁴³ Ci si riferisce in particolare alla riflessione sui sistemi complessi, sviluppatasi soprattutto con i contributi di Ashby (1956) e Bertalanffy (1968). Tra i numerosissimi riferimenti bibliografici ricordiamo qui Arthur (1994), Bateson (1979), Emery (1981), Hall e Fagen (1956), Lange (1956), Waddington (1977).

proprio, che a sua volta stimola una reazione nella prima a incrementarlo ulteriormente. I *feedback* a retroazione positiva tendono a destabilizzare i sistemi poiché costituiscono meccanismi di amplificazione che accentuano l'effetto della perturbazione iniziale. L'esito sarà quella di distruggere l'organizzazione del sistema una volta superato un certo valore limite, cioè una **soglia** (*thresholds*) oltre la quale il sistema non è più in grado di tornare alla configurazione iniziale e si sposta su un nuovo stato. Tra gli economisti, è Myrdal (1969) a sottolineare l'importanza di tale modalità di causazione, da lui indicata come **causazione circolare cumulativa**.

L'esistenza di effetti soglia è aspetto cruciale anche quando sono presenti meccanismi che si autoregolano: quando la perturbazione è troppo forte la rete di *feedback* negativi potrebbe “non farcela.” Abbiamo esempi continui nella nostra quotidianità: è quello che accade quando un essere vivente muore per una malattia. Eppure è difficile comprendere quanto siano importanti le soglie. Molto spesso si sottovalutano dei fenomeni in quanto non ne vediamo subito gli effetti, i quali invece si manifestano invece in modo improvviso e incontrollabile solo dopo il raggiungimento di una certa soglia in alcuni parametri, spesso a distanza di tempo dall'evento che li ha provocati (**lag temporali**). Si pensi al classico esempio del fuoco che può covare sotto la cenere per settimane; superata una certa soglia, si innescano una catena di retroazioni positive che si manifestano in un incendio. E' evidente l'importanza delle soglie in campo ambientale. Una certa concentrazione di un certo inquinante potrebbe essere ben tollerata da un ecosistema, ma diventare “letale” se va oltre un certo livello, proprio in quanto rompe quei meccanismi di autoregolamentazione che garantiscono il mantenimento di un certo stato, la cosiddetta **omeostasi**.

Come evidenziato dalla teoria delle catastrofi (Woodcock e Davis 1978) che era molto in voga negli anni 1970, per avere una discontinuità, un cambiamento improvviso, è sufficiente avere anche shock esterni di lieve entità e non necessariamente molto grandi.

3.1.2 Equilibri, energia e fattori di stabilità

Le complesse reti di *feedback* sono alla base delle relazioni tra sistemi e condizioni esterne; per comprenderle, occorre chiarire due aspetti. Il primo è che i sistemi viventi - e con ciò non si deve soltanto pensare a un ecosistema, ma vale anche per una organizzazione umana quale può essere una attività produttiva - funzionano in condizioni lontane dall'equilibrio termodinamico, “nutrendosi” di energia e materia prelevata dall'esterno. Il

secondo aspetto è che esistono molti possibili stati in cui i sistemi possono tendere a rimanere. Il particolare stato in cui un sistema permane mutare a causa di mutamenti nelle condizioni esterne. Come vedremo oltre, le risposte di un sistema a tali variazioni possono essere di resistenza, di resilienza e di metastabilità.

E' chiaro a tutti che i viventi scambiano materia ed energia con il proprio ambiente, sono cioè sistemi **aperti**, differenti da quelli **chiusi**, che scambiano solo energia, e da quelli **isolati** che non scambiano né energia né materia e che vengono usati come astrazioni dalla fisica classica. La termodinamica ci insegna che i sistemi ordinati tendono spontaneamente verso il disordine, con un aumento di entropia - nozione che definisce l'entità di degradazione di energia. Un esempio intuitivo è quello di due sfere di vetro tra loro collegate che contengono un certo numero di molecole di gas: se le spostassimo tutte da un lato per un attimo queste tenderebbero presto a distribuirsi un modo uniforme come mostra la parte di destra della [Figura 3.1](#).

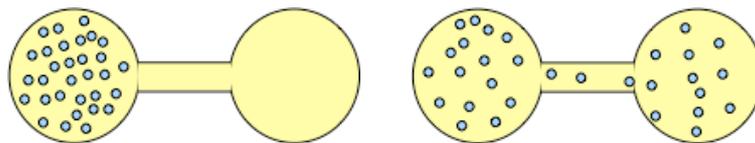


Figura 3.1. Ordine e disordine in due sfere con molecole di gas

E' anche evidente il legame tra entropia, disordine e probabilità: la configurazione di sinistra è ordinata, a bassa entropia e altamente improbabile. Le strutture viventi sono pertanto paragonabili alla configurazione di sinistra della figura: sono strutture improbabili che contrastano i processi entropici "pompano" fuori il disordine che inevitabilmente si genera all'interno del sistema; l'aumento di entropia interna è "espulso" all'esterno tramite efficienti meccanismi dissipativi.

E' pertanto possibile ora comprendere la distinzione tra equilibrio termodinamico e stato stazionario. Il primo si riferisce a una situazione in cui non avviene alcun cambiamento spontaneo poiché nel sistema non vi è alcun tipo di gradiente di energia potenziale, né meccanico, né termico, né chimico. Vi è totale uniformità (disordine) e l'entropia è massima. Nello stato stazionario invece i processi in atto si compensano e mantengono il sistema in una configurazione ordinata lontana dall'equilibrio termodinamico; il cambiamento non avviene perché siamo in una situazione di equilibrio dinamico.

Quando osserviamo un lago, la sua quantità di acqua rimane costante solo perché la quantità di acqua in entrata è uguale a quella in uscita. Allo stesso modo, una pallina può rimanere sospesa più o meno nello stesso punto, in equilibrio sopra il getto d'acqua di una fontana, o la temperatura di una abitazione può essere mantenuta costantemente differente dalla temperatura esterna. Queste configurazioni improbabili, cioè ordinate, sono possibili solo grazie all'immissione di energia dall'esterno.

E' chiaro che un sistema può avere tante configurazioni di stato stazionario e che la loro stabilità dipende sia da fattori esterni che interni. Tanto più il quadro di riferimento esterno garantisce flussi costanti di energia e di materie "prime" e capacità di ricevere i prodotti di scarto del "metabolismo", tanto più facile è per il sistema mantenersi in un certo stato stazionario. I fattori di stabilità interna sono legati alla capacità di auto-organizzazione, ovvero all'efficacia della rete di *feedback* nell'apprendere e nell'adattarsi.

Di fronte a cambiamenti delle condizioni esterne, il sistema può discostarsi dal suo stato stazionario per poi ritornarvi oppure passare a una differente configurazione. La risposta può essere di **resistenza** e o di resilienza. Il primo termine ha un significato intuitivo: una piastrella di ceramica è resistente. Un sistema resistente, di fronte a una perturbazione, si discosta poco dalla sua configurazione di stato stazionario.

Il termine **resilienza**, oggi molto in voga, indica invece la capacità di un sistema di assorbire la perturbazione, mantenendo cioè la sua struttura e funzioni. La resilienza può essere concepita in due modi, in termini sia di velocità di ritorno allo stato stazionario, sia di ampiezza delle variazioni esterne che possono essere sopportate. Una lettura obbligata è il contributo da cui ha avuto origine il concetto (Holling 1973) e un successivo articolo dello stesso autore (Holling 1994) in cui si chiariscono bene le visioni che sottostanno ai due diversi modi di concepire la resilienza e le loro implicazioni per la gestione della complessità e del cambiamento. Nella [Figura 3.2](#) è rappresentato un equilibrio in due configurazioni diverse. La resilienza del sistema, intesa come capacità di assorbire shock esterni, può essere misurata dalla quantità di energia necessaria per spostare la pallina oltre il massimo alla sua sinistra, la soglia oltre cui cambia l'equilibrio - evidentemente maggiore per la configurazione di sinistra. Se vogliamo, possiamo anche evitare di riferirci all'energia e limitarci alla distanza sull'asse delle ascisse, dove è indicato un qualche fattore di controllo, tra il punto in cui la pallina si trova e la soglia.

Pensare alla resilienza in termini di velocità di aggiustamento, presuppone una scarsa attenzione verso l'esistenza di una molteplicità di

stati stazionari e la ricerca di meccanismi gestionali che puntano a massimizzare l'efficienza del sistema per mantenerlo quanto più possibile in quello stato, rendendolo magari più resistente, con il rischio di non rendersi conto che alcuni di questi interventi potrebbero minare la stabilità su un orizzonte temporale più lungo. La nozione di resilienza come ampiezza dei disturbi che possono essere sopportati dal sistema senza che esso cambi configurazione, invece, è più consapevole del fatto che esistono molti possibili stati stazionari. In termini di gestione, si punta a mantenere in esistenza il sistema, piuttosto che all'efficienza della sua risposta, con esiti che potrebbero essere più favorevoli nel lungo termine.

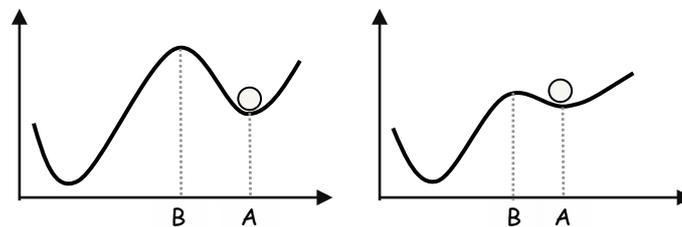


Figura 3.2. Un semplice esempio di diversi gradi di resilienza
Adattata da Holling 1994

3.1.3 Sistemi semplici e sistemi complessi

I meccanismi e gli anelli di retroazione cui abbiamo accennato, sono più o meno importanti a seconda del sistema cui ci troviamo di fronte. Alcuni possono essere sistemi molto semplici. Si pensi ad esempio a un sistema composto da una caldaia, un termostato e una abitazione. Quando la temperatura interna scende sotto un certo livello, il termostato provoca l'accensione della caldaia che riporta la temperatura al livello desiderato. Prevedere il comportamento di questo sistema non comporta alcuna difficoltà. Se il termostato si guasta e cessa di inviare il segnale di accensione, la temperatura della casa tenderà ad essere quella dell'ambiente esterno. Se invece non inviasse il sistema di spegnimento, allora la temperatura in casa diverrebbe insopportabile. Se l'impianto è collegato a un serbatoio di gasolio, questo alla fine terminerà e la caldaia cesserà di riscaldare. L'esempio non è proposto per annoiare il lettore, ma solo per evidenziare che in molti casi i **sistemi** sono **semplici**, mentre in altri casi sono **complessi**, un termine che non equivale al termine complicato, anche se nel linguaggio comune sono usati spesso come

sinonimi. Benché la complessità sia un concetto non definito in modo univoco e presente in diversi campi⁴⁴, nel campo delle scienze della vita e sociale, un sistema può dirsi complesso se gli elementi che lo costituiscono possiedono le seguenti caratteristiche.

- a) Hanno un elevato numero di componenti.
- b) Si sviluppano interazioni a catena e processi omeostatici di autoregolazione.
- c) Da un lato il sistema possiamo è composto da molti sottoinsiemi che a loro volte ne contengono altri (gerarchia nidificata), dall'altro il potere di gestione dei processi è sufficientemente ripartito tra le varie componenti e ciascuno dei sottosistemi.

La ripartizione nel controllo del funzionamento del sistema la si comprende bene pensando al caso in cui una sola componente ha il pieno controllo del sistema. Se così fosse verrebbe meno l'interazione tra le parti di cui al punto b). L'aspetto di gerarchia nidificata lo si coglie bene pensando che ciascuno di noi è parte, ad esempio, di una famiglia, di una comunità di persone, ma anche di un ambiente fisico, che a sua volta è parte di un'area più grande, che rientra in un certo comune, che a sua volta fa parte di una regione. Le componenti di ciascun livello - il singolo, le famiglie, i gruppi, le città, le regioni - hanno dei limiti imposti dal livello superiore, ma al tempo stesso attraverso dei meccanismi di retroazione, possono interagire con il livello superiore e modificarlo, ad esempio eleggendo un sindaco piuttosto che un altro.

Questo esempio ci porta anche a un'altra importante caratteristica, (v. ad es. Rosen 1977, p. 229), ovvero il fatto che i sistemi possono essere osservati e analizzati usando descrizioni non equivalenti e che, pertanto, vi è una inevitabile arbitrarietà nella loro analisi e che non esiste un modello in grado di catturarlo. Posso descrivere me stesso come un cittadino che svolge un ruolo attivo nella propria comunità, ma anche come essere umano che interagisce con il proprio ambiente naturale.

In termini generali per analizzare un sistema si devono impiegare **diverse variabili descrittive**: come sappiamo sin dalla scuola primaria vi è una carta geografica politica, che mostra i confini amministrativi e i

⁴⁴ Ad esempio, il termine complessità assume significato diverso, seppur collegato quando si impiega in altri campi. Viene usato dalla teoria della complessità algoritmica, legata ai nomi degli scienziati Kolmogorov, Chaitin e Solomonoff, che riguarda la descrizione degli algoritmi, ma anche nella teoria della complessità computazionale che si occupa della risorse minime di calcolo richieste per risolvere un problema.

livelli di organizzazione gerarchica delle città, ma anche una fisica, che riporta l'assetto fisico del territorio: guardiamo allo stesso oggetto ma lo descriviamo usando variabili differenti e non equivalenti tra loro. E' anche molto importante essere consapevoli che sono necessarie diverse **scale spaziali**, cioè guardare a livello sempre più microscopico o sempre più macroscopico, ma anche diverse **scale temporali**, usando cadenze che possono andare, a seconda del fenomeno che studiamo, dai nano-secondi ai milioni o miliardi di anni. Se vogliamo osservare l'accrescimento di un bambino, quando è neonato usiamo i giorni, ma poi le settimane e dopo ancora i mesi e infine gli anni.⁴⁵

3.2 Inquinamento e impatto dell'uomo sugli ecosistemi: spunti da B. Commoner

Nei primi due capitoli abbiamo visto quanto sia divenuta rilevante la dimensione materiale delle economie contemporanee, che ha accresciuto a dismisura l'impatto dell'uomo sul proprio ambiente. E' un aspetto che ha attirato l'attenzione solo da pochi anni, soprattutto per la maggiore consapevolezza dei cambiamenti climatici che sono collegati al quantitativo complessivo di combustibili fossili che vengono usati. Da molti anni invece c'è consapevolezza, ben rappresentata dalla copertura mediatica, degli aspetti qualitativi dell'impatto antropico, ad esempio la qualità dell'aria e delle acque o gli effetti di sostanze nocive. Questi aspetti possono essere ben sintetizzati alla luce dei brevi richiami fatti nel paragrafo sui sistemi ambientali. Il modo più efficace per farlo è riferirsi a un biologo che ha contribuito allo sviluppo di una consapevolezza ambientalista non solo attraverso i suoi studi ma anche a una grande capacità di divulgazione, espressasi soprattutto in due *bestseller*, "Il cerchio da chiudere" del 1972 e "Fare Pace con il Pianeta" del 1990.

Per comprendere la rilevanza dei suoi contributi si rimanda alle tante informazioni che si trovano con facilità in internet, mentre, ai fini della nostra trattazione, è per il momento sufficiente riprendere la tesi principale di Commoner (1972 e 1990), ovvero il contrasto tra modo di funzionare della natura e delle società umane contemporanee, la guerra tra "ecosfera" e "tecnosfera", tra la natura e il mondo costruito da noi. A tal fine Commoner enuncia quattro "leggi" dell'ecologia, ovvero:

- 1) ogni cosa è connessa con ogni altra cosa,

⁴⁵ Per approfondire v. ad es. Giampietro (2002 e 2004).

- 2) tutto deve andare da qualche parte,
- 3) la natura è la sola a sapere il fatto suo,
- 4) non esistono pasti gratuiti.

La prima e la seconda legge ci ricordano come funzionano gli ecosistemi. In particolare, la prima

“esprime il fatto che l'ecosfera è un complesso reticolo in cui ciascuna parte è collegata a molte altre. In un ecosistema acquatico, per esempio, un pesce non è soltanto un pesce che genera altri pesci. E anche il produttore di rifiuti organici che nutrono microrganismi e poi le piante acquatiche; è il consumatore di ossigeno prodotto per fotosintesi da tali piante; è l'habitat di parassiti; è la preda del falco pescatore. Il pesce non è dunque soltanto un pesce, ma un elemento di questo reticolo che ne definisce le funzioni.” (Commoner 1990, 40)

La seconda legge, collegata alla prima, ci ricorda che in natura non esistono rifiuti, sprechi, ma vi è circolarità. Commoner riprende l'esempio del pesce:

“Con la respirazione, i pesci producono anidride carbonica, che viene assorbita dalle piante acquatiche e usata, attraverso la fotosintesi, per produrre l'ossigeno di cui i pesci necessitano per respirare. I pesci espellono rifiuti contenenti composti organici azotati; quando i rifiuti sono metabolizzati dai batteri e dalle muffe acquatiche, l'azoto organico è trasformato in nitrato che a sua volta è un nutrimento essenziale per le alghe; queste, ingerite dai pesci, contribuiscono a produrre i loro rifiuti organici; e il ciclo è completo” (Commoner 1990, 41-42)

La terza legge esprime il concetto di coerenza conservativa dell'evoluzione.

“i suoi numerosi componenti sono compatibili l'uno con l'altro e con l'insieme. Una simile struttura armoniosa è il frutto di un lunghissimo periodo di tentativi ed errori: i 5 miliardi di anni di evoluzione” (Commoner 1990, 43)

Commoner prosegue ricordandoci come sulla carta siano possibili moltissimi composti organici di cui, tuttavia, in natura ne troviamo solo una piccolissima parte, come probabile esito del processo dell'evoluzione.

certe disposizioni molecolari sono evitate nella chimica della vita. Così si trovano negli esseri viventi pochissimi composti organici clorurati, nei quali gli atomi di cloro sono legati al carbonio. Il che fa pensare che numerosissimi composti organici cloroderivati chimicamente possibili (molti di essi sono prodotti oggi dall'industria petrolchimica) siano stati scartati nel lungo corso dell'evoluzione come composti biochimici.

L'assenza di una particolare sostanza in natura è spesso un segno di una sua incompatibilità con la chimica della vita. (Commoner 1990, 44)

Infine la quarta legge ci impone di riflettere sulle conseguenze degli errori. Le distorsioni di cicli ecologici o l'inserimento di sostanze chimiche tossiche nell'ambiente provocano dei danni irreversibili, anche se spesso occorre tempo perché si manifestino. Prima o poi, come recita un adagio popolare, "i nodi verranno al pettine" e la natura presenterà il conto ...

Commoner individua questi quattro aspetti proprio perché sono quelli che più mostrano il contrasto tra i distinguono "ecosfera" e "tecnosfera". A differenza del pesce, "un'automobile si impone all'ambiente e non è definita da esso; la stessa automobile si vende e si usa sulle congestionate autostrade di Los Angeles o in un tranquillo villaggio sperduto". In contrasto con la seconda legge, la tecnosfera è dominata da processi lineari che generano rifiuti, spesso altamente tossici. Quanto alla terza legge, l'uomo davvero si comporta come "topolino l'apprendista stregone", immettendo nell'ambiente sostanze di sintesi nuove, senza poterle controllare gli effetti. Questo è a nostro avviso davvero paradossale dato che il metodo scientifico che adottiamo nei nostri laboratori impone di far variare un fattore mantenendo sotto controllo gli altri fattori. Peraltro, le nuove sostanze generate dalla petrolchimica sono basate sulla chimica del carbonio e possono pertanto insinuarsi in modo insidioso e distruttivo negli esseri viventi. Commoner ci ricorda anche che ogni composto organico prodotto da un essere vivente ha un enzima capace di degradarlo, come accade per la cellulosa, mentre l'uomo ha creato sostanze, le materie plastiche, che non sono biodegradabili e che già trent'anni fa avevano invaso gli oceani. Quanto alla non esistenza in natura di "pasti gratuiti" Commoner enfatizza che nella tecnosfera i debiti sono interni ad essa: di norma il sistema produttivo consente di ottenere beni capaci di estinguerli e se questo non accade i debiti vengono cancellati, tramite le procedure fallimentari. Al contrario

quando invece i debiti costituiti dall'inquinamento ambientale sono creati dalla tecnosfera e trasferiti all'ecosfera, non possono essere annullati; il danno è inevitabile. I debiti creati [...] dalle sostanze chimiche tossiche che hanno investito Bhopal non sono stati annullati. Sono stati soltanto accollati alle vittime che li pagano ammalandosi e morendo. (Commoner 1990, 47)

4 PER UNA POLITICA AMBIENTALE ORIENTATA AI PRELIEVI

E' bene trarre sin da ora le conseguenze dell'analisi sin qui svolta in termini di politica ambientale, anche se a questa sia poi dedicata la seconda parte del manuale. L'approccio che ha prevalso sino ai nostri giorni è stato quello di interventi ex-post e a valle, come conseguenza di ciò che è più visibile, i danni da inquinamento. In altri termini, osservato un forte deterioramento di qualche aspetto del nostro ambiente, quando vi è il sospetto che esso possa dipendere dall'azione umana, si comincia a studiarne le caratteristiche e i fattori che lo determinano. Una volta si sia riusciti a individuarne l'origine antropica con una ragionevole certezza, si mette in moto la politica ambientale individuando delle misure che mirano a ridurre la pericolosità della specifica causa individuata, ad esempio una certa sostanza inquinante. Seguendo questo rigido approccio, fondato su un ingenuo determinismo di causa-effetto, gli interventi finiscono per essere incentrati sul lato finale della produzione o del consumo, **“a valle”**, o, come si dice in inglese **“end-of-the pipe”**, alla fine del tubo.

Tuttavia, alla luce delle argomentazioni svolte finora, ovvero se si guarda all'economia come sistema aperto, un simile approccio risulta inadeguato. Innanzitutto, come si è visto, il problema centrale oggi è l'enorme dimensione materiale delle nostre economie cui corrisponde anche la diffusione su porzioni sempre più ampie di territorio degli impatti antropici. In secondo luogo, vi è la complessità dell'ambiente, complessità che rende la nostra conoscenza, benché sempre più vasta e approfondita, ontologicamente limitata. I fenomeni sono spesso non conoscibili in quanto la complessità delle relazioni funzionali tra gli elementi rende non utilizzabile la logica del *ceteris paribus* – quella per cui si studia un fenomeno mantenendo invariate tutte le altre condizioni. Ma anche quando vi è possibilità teorica di conoscenza, ritardi temporali (*lag*) e soglie (*thresholds*) di manifestazione impongono tempi così lunghi che finiamo spesso per essere consapevoli dei meccanismi di funzionamento solo quando i danni sono divenuti irreversibilmente gravi, quando cioè “i buoi sono già scappati dalla stalla” (irreversibilità) e quando la “terapia” è difficile da mettere in atto anche in virtù del consolidamento nel tempo degli interessi in gioco. Per contro, interventi tempestivi hanno di solito a disposizione modelli specifici che sono molto parziali, incompleti, e incapaci di cogliere appieno i nessi e quindi di prevedere la dinamica che si realizzerà in concreto. Non raramente succede che i problemi vengano

risolti spostandoli su un altro piano (la sostituzione nella benzina del piombo con un agente cancerogeno quale il benzene; la costruzione di alti camini che hanno spostato l'inquinamento da una dimensione locale ad una internazionale creando il problema delle piogge acide, ...). Per dirla con i termini dell'approccio della c.d. Scienza Post-Normale⁴⁶ (Funtowicz e Ravetz, 1993), su cui torneremo verso la fine di questo manuale, per i problemi ambientali “i fatti sono incerti, i valori in disputa, la posta in gioco elevata, le decisioni urgenti”.

Sono queste le ragioni che stanno alla base di un atteggiamento non ancora affermato ma abbastanza diffuso, specie a livello di studiosi della sostenibilità e anche a livello delle istituzioni dell'Unione Europea, che chiede di agire secondo criteri generali e prudenziali. In quest'ottica la politica ambientale per essere efficace deve agire a monte, all'origine, con l'obiettivo di ridurre la quantità di materia che passa dalle nostre economie, il *material throughput*. L'azione a monte è strettamente connessa con un approccio prudenziale, con l'idea che “è meglio prevenire che curare”. Si tratta di un criterio che spesso guida le nostre vite private e alcune politiche di tutela collettiva, come testimoniato anche dal seguente brano⁴⁷:

“It is not possible to find hard evidence that something is going to happen [...] Now, can anyone — will be always able to say, even after the fact, that there isn't sufficient evidence, that you don't have proof beyond a reasonable doubt. You'll know an event occurred, but even after it occurs, it's very difficult to get perfect evidence. Our goal is not to go into a court of law and try to prove something to somebody. [...] It is the task of taking these disparate pieces and putting them together so that people can make their own judgment, not for us to prove anything. What they have to do is they have to say what does a reasonable person conclude are the risks from this?” (U.S. Department of State 2002, 8)

Le argomentazioni di questo brano - pronunciate dall'allora ministro della difesa degli USA, D. Rumsfeld – sono portate in favore di una guerra preventiva contro l'Iraq di Saddam Hussein. Ci si potrebbe allora chiedere per quali motivi, al contrario, un approccio prudenziale e a valle emerga con tante difficoltà quando la tutela collettiva passa per la difesa della qualità dell'ambiente.

E' utile visualizzare quanto esposto in questo paragrafo con la [Figura 4.1](#) che mostra, nella parte a destra della linea tratteggiata, l'approccio

⁴⁶ <http://www.nusap.net/sections.php?op=viewarticle&artid=13>

⁴⁷ Ringraziamo Mario Giampietro per averci segnalato, molti anni fa, queste dichiarazioni.

tradizionale alla politica ambientale. La sfera umana produce rifiuti che retroagiscono, attraverso l'ambiente, sull'uomo stesso provocando perdite di benessere. Tali danni, tuttavia, si manifestano con ritardo e attraverso meccanismi complessi, aspetti che ne ostacolano la comprensione. L'approccio tradizionale è di aspettare di averne una buona comprensione, con l'effetto che gli interventi sono tardivi, quando ormai danni irreversibili si sono già prodotti. D'altronde sarebbe assai rischioso intervenire senza conoscenza, "alla cieca". Molto migliore è dunque agire anche e soprattutto a monte, a sinistra della linea tratteggiata, sulla **riduzione dei prelievi** e sulla riduzione della velocità alla quale passa la materia.

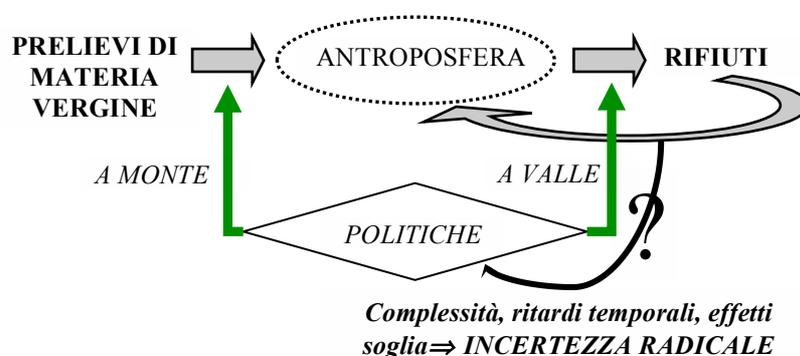


Figura 4.1. Politiche a valle e a monte

Nell'ottica esposta, una politica ambientale efficace si deve incentrare sulla riduzione dei flussi di materia che attraversano l'economia, ad esempio sull'allungamento della vita dei prodotti, su una maggior chiusura dei cicli materiali produzione-consumo (ovvero il riutilizzo della materia incorporata nei rifiuti), nonché su misure di contenimento della domanda di energia risparmio di energia. Vedremo nella parte dedicata alla politica ambientale, che molteplici sono le tipologie di strumenti che possono essere impiegate, sia interventi economici - quali una riforma fiscale che, ad esempio, sposti il carico dal lavoro ai prelievi di materia⁴⁸ - sia regolamentazione e accordi volontari.

⁴⁸La principale difficoltà di una riforma fiscale in tal senso consiste nell'individuare meccanismi che non favoriscano le imprese di un paese spostare l'onere ambientale all'estero.

BIBLIOGRAFIA

- Adriaanse A., Bringezu S., Hammond A., Moriguchi Y., Rodenburg E., et al., 1997. *Resource Flows: The Material Basis of Industrial Economies*. World Res. Inst., Washington, DC.
- Arthur W. B., 1994. "Inductive Reasoning and Bounded Rationality", *American Economic Review*, 84(2), 406-411
- Arto, I., Roca, J. and Serrano, M., 2012. Emisiones territoriales y fuga de emisiones: análisis del caso español. *Revibec: revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica*, 18, pp. 73-87.
- Ashby W. R., 1956. *Introduction to Cybernetics*, Wiley, New York (Traduzione italiana Introduzione alla Cibernetica, 1971, Einaudi, Torino).
- Bateson G., 1979. *Mind and Nature. A Necessary Unity*, Wildwood, London.
- Bertalanffy L. von, 1968, *General System Theory*, George Braziller, New York.
- Boulding K. E., 1966. "The Economics of the Coming Spaceship Earth", in H. Jarrett, (a cura di) *Environmental Quality in a Growing Economy, Essays from the Sixth RFF Forum*, 3-14, Resources for the Future/Johns Hopkins University Press, Baltimore MD. Ristampato in Boulding, 1968, *Beyond Economics: Essays on Society, Religion, and Ethics*. University of Michigan Press, Ann Arbor, pp. 273-287.
- Bunker S., 1997. "Materias primas y la economía global: olvidos y distorsiones de la ecología industrial", *Ecología Política*, 12, 81-89.
- Casler, S. and Wilbur, S., 1984. Energy input-output analysis: a simple guide. *Resources and Energy*, 6(2), pp.187-201.
- Commoner B., 1972. *Il cerchio da chiudere: la natura, l'uomo e la tecnologia*, Garzanti, Milano.
- Commoner B., 1990. *Fare pace col pianeta*, Garzanti, Milano. (Titolo originale dell'opera: *Making Peace with the Planet*, Panthenon Books, New York, 1990.)
- de Bruyn S.M. e Opschoor J. B., 1997. "Developments in the throughput-income relationship: Theoretical and empirical observations", *Ecological Economics*, 20 (3), 255-268.
- de Haan, M., 2001. A structural decomposition analysis of pollution in the Netherlands. *Economic Systems Research*, 13(2), pp.181-196.
- Emery F.E. (a cura di), 1981. *System Thinking*, Penguin, Harmondsworth.

- Femia A., Greca G., Vignani D., 2009. "Economy-wide Material Flow Indicators for Italy, 1980-2001", in *Contabilità ambientale e pressioni sull'ambiente naturale: dagli schemi alle realizzazioni, Annali di statistica 138, XI*, 201-215. https://ebiblio.istat.it/digibib/Annali/IST0001018_Serie11Vol02Ed2009.pdf
- Funtowicz S.O., Ravetz, J.R., 1993. "Science for the post-normal age", *Futures*, 25 (7).
- Georgescu Roegen N., 1971. *The entropy law and the economic process*, Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts)
- Georgescu Roegen, N., 1975, "Energy and economic myths", *Southern Economic Journal*, 347-381.
- Giampietro, M., 2002. Complexity and scales: the challenge for integrated assessment. *Integrated assessment*, 3 (2/3), 247-265.
- Giampietro, M. 2004. *Multi-scale integrated analysis of agroecosystems*. CRC Press, Boca Raton, Florida
- Giampietro, M., Mayumi, K. and Ramos-Martin, J., 2007. "How serious is the addiction to oil of developed society? A multi-scale integrated analysis based on the concept of societal and ecosystem metabolism", *International Journal of Transdisciplinary Research*, 2(1), pp. 42-92.
- Hall A. D. e Fagen R. E., 1968 [1956]. "Definitions of System", ristampato in Buckley W., (a cura di), *Modern System Research for the Behavioral Scientist: a Sourcebook*, Aldine Publishing Company, Chicago.
- Holling C. S., 1973. "Resilience and stability of ecological systems". *Annu Rev Ecol Syst* 4, 1-23. <https://www.nap.edu/read/4919/chapter/4>
- Holling, C. S., 1996. Engineering resilience versus ecological resilience. *Engineering within ecological constraints*, 31, 32.
- ISTAT, 2006. *Flussi di materia dell'economia italiana, Conti Anno 1997, Indicatori Anni 1980-2001*. Sono disponibili il rapporto, i dati, e le note metodologiche al seguente indirizzo <https://www4.istat.it/it/archivio/14126>
- Krausmann, F., Schandl, H., Eisenmenger, N., Giljum, S., & Jackson, T., 2017. Material flow accounting: measuring global material use for sustainable development. *Annual Review of Environment and Resources*, 42, 647-675.
- Lange O., 1965. *Wholes and Parts. A General Theory of System Behaviour*, Pergamon Press, Oxford.
- Leontief, W. W. 1936. Quantitative input and output relations in the economic systems of the United States. *The review of economic statistics*, 105-125.
- Lotka, A. J., 1945. The law of evolution as a maximal principle. *Human Biology*, 17(3), 167-194.

- Luzzati, T., Orsini, M., Gucciardi, G., 2018. A multiscale reassessment of the Environmental Kuznets Curve for energy and CO2 emissions. *Energy policy*, 122, 612-621.
- Malanima P., 2013. "I consumi di energia" in Corona, G. e Malanima, P. (a cura di) *Economia e ambiente in Italia dall'Unità a oggi*. Bruno Mondadori.
- Martinez Alier, J., 1991, *Economia ecologica*, Garzanti. (ed. Originale Alier, J.M. and Schlüpmann, K., 1987. *Ecological Economics: Energy, Environment, and Society*. Blackwell.
- Matthews, E., Amann, C., Bringezu, S., Fischer-Kowalski, M., Hüttler, W., Kleijn, R., ... & Schandl, H., 2000. *The weight of nations. Material outflows from industrial economies* World Resources Institute, Washington.
- Myrdal G., 1969. *Objectivity in Social Research*, Pantheon Books, London.
- Naredo J. M. e Valero A. (a cura di), 1999. Desarrollo económico y deterioro ecológico, Fundación Argentaria/Visor, Madrid
- Perelman, M.J., 1972. "Farming with petroleum", *Environment*, 14(8), 8-13.
- Peters, G.P. and Hertwich, E.G., 2008. CO2Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy. *Environmental Science and Technology*, 42, pp.1401-1407.
- Rappaport, R. A., 1967. Ritual regulation of environmental relations among a New Guinea people. *Ethnology*, 6(1), 17-30.
- Roca, J. and Serrano, M., 2007. Income growth and atmospheric pollution in Spain: an input-output approach. *Ecological Economics*, 63(1), pp.230-242.
- Rosen, R., 1977. "Complexity as a system property". *International Journal of General Systems*, 3 (4), 227-232.
- Ritchie H. e Roser M. 2020. "Energy", Published online at *OurWorldInData.org*. Il rapporto, inclusivo dei dati è disponibile al seguente indirizzo '<https://ourworldindata.org/energy>'
- Sánchez Chóliz J., Bielsa Callau J, Arrojo Agudo P., "Valores agua para Aragón" in La Roca, F. and Sánchez, A., 1996. *Economía Crítica. Trabajo y medio ambiente* (Vol. 39). Universitat de València.
- Schandl, H., Fischer-Kowalski, M., West, J., Giljum, S., Dittrich, M., Eisenmenger, N., Geschke, A., Lieber, M., Wieland, H., Schaffartzik, A. and Krausmann, F., 2018. Global material flows and resource productivity: forty years of evidence. *Journal of Industrial Ecology*, 22(4), pp. 827-838.
- Schütz, H., Steurer, A. 2001. Economy-wide material flow accounts and derived indicators. A methodological guide. Office for Official Publications of the European Communities, ISBN 92-894-0459-0

- Serrano, M. and Dietzenbacher, E., 2010. Responsibility and trade emission balances: An evaluation of approaches. *Ecological Economics*, 69(11), pp. 2224-2232.
- Stern, D. I., 2004. The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World development*, 32(8), 1419-1439.
- U.S. Department of State 2002. "Defense Department Briefing 26 September 2002", disponibile su <https://www.scoop.co.nz/stories/WO0209/S00276/dod-news-briefing-rumsfeld-926-and-gen-pace.htm?from-mobile=bottom-link-01> oppure su <http://transcripts.cnn.com/TRANSCRIPTS/0209/26/se.10.html>
- Waddington C. H., 1977. *Strumenti per pensare. Un approccio globale ai sistemi complessi*, Mondadori Editore, Milano.
- Weisz, H., Krausmann, F., Amann, C., Eisenmenger, N., Erb, K. H., Hubacek, K., & Fischer-Kowalski, M. 2006. "The physical economy of the European Union: Cross-country comparison and determinants of material consumption". *Ecological Economics*, 58(4), 676-698.
- Woodcock A., Davis M., 1978. *Catastrophe Theory*, Penguin Books, Harmondsworth (UK).

INDICE DELLE FIGURE E DELLE TABELLE

Figure

Figura 1.1. Consumi energetici pro-capite per l'Italia, 1861-2006.....	5
Figura 1.2. Pil e consumi energetici per l'Italia, 1861-2006	5
Figura 1.3. L'energia, la materia, l'economia e l'ambiente naturale	7
Figura 1.4. Il diagramma del flusso circolare dell'economia	8
Figura 1.5. L'economia come sistema aperto	10
Figura 2.1. Andamento dell'energia primaria e della popolazione per il mondo.....	17
Figura 2.2. Andamento dell'energia primaria pro-capite per il mondo	17
Figura 2.3. Energia primaria per regione	18
Figura 2.4. Energia pro capite nei paesi OECD europei e in aggregati del mondo.....	18
Figura 2.5. Composizione per prodotto dell'energia primaria mondiale 1971, 2017	20
Figura 2.6. Energia primaria distinta per fonte a livello mondiale, periodo 1800-2018	20
Figura 2.7. Energia primaria per ciascuna fonte, a livello mondiale periodo 1800-2018	21
Figura 2.8. Scomposizione della serie "Altre fonti" di Figura 2.7b in "Idroelettrico, Nucleare e Rinnovabili" – Mondo, 1965-2018	21
Figura 2.9. Evoluzione di Idroelettrico, Nucleare e Rinnovabili, a livello mondiale, periodo 1800-2018	22
Figura 2.10. Evoluzione per tipo di fonte energetica negli USA 1776-2019	22
Figura 2.11. Evoluzione dei consumi per settore in USA dal 1949 al 2018	24
Figura 2.12. Andamento dell'intensità energetica per il mondo.....	26
Figura 2.13. Trend dell'intensità energetica, dei consumi energetici e del PIL - mondo	26

Figura 2.14. Energia e PIL per il mondo, 1971-2017	27
Figura 2.15. Energia e GDP pro-capite per alcuni Paesi, 1971-2004	29
Figura 2.16. Energia e PIL pro-capite per alcuni paesi colpiti dalla “grande recessione” del 2008	29
Figura 2.17. Schema per l’analisi di flussi di materia per una nazione. ...	36
Figura 2.18. Fabbisogno di materia procapite di Germania, Paesi Bassi, Giappone e USA - 1975-1994.....	38
Figura 2.19. Intensità materiale di Germania, Paesi Bassi, Giappone e USA 1975-1994	38
Figura 2.20. Scomposizione del TMR per il 1991 in “flussi domestici” e “esteri” e in “diretti” e “nascosti”	40
Figura 2.21. Input Materiale Diretto (DMI) per l’Italia, periodo 1980-2001	41
Figura 2.22. Evoluzione del Fabbisogno Totale di Materia (TMR) per l’Italia, periodo 1980-2001.....	41
Figura 2.23 Tavola riassuntiva delle principali macro grandezze della MFA	43
Figura 2.24. Livelli e composizione del DMC pro-capite per tipologia di materiale nei paei EU-15.....	44
Figura 2.25. DE e DMC per unità di territorio, anno 2000.....	44
Figura 3.1. Ordine e disordine in due sfere con molecole di gas.....	58
Figura 3.2. Un semplice esempio di diversi gradi di resilienza	60
Figura 4.1. Politiche a valle e a monte.....	67

Tabelle

Tabella 2.1. Tassi di crescita di Energia Primaria, Pil pro capite e Popolazione	17
Tabella 2.2 Energia Primaria nel e suoi usi nei paesi OECD.....	24
Tabella 2.3. Esempio dell’analisi input-output: un’economia chiusa con tre settori (ad es. migliaia di euro).....	46
Tabella 2.4 Matrice dei coefficienti tecnici intersettoriali dell’economia	46

Tabella 2.5 Tre diversi ipotesi di aumento del V.A. complessivo	50
Tabella 2.6 Gli effetti sulla produzione e sulle emissioni di tre diversi ipotesi di aumento del V.A. complessivo.....	50
Tabella 2.7. Intensità contaminante dei gas ad effetto serra di alcuni settori selezionati in Spagna, 2007.....	51