

## METODI DI STIMA DI COSTI SOCIALI-AMBIENTALI DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA

*Social cost estimation is only a component of the information necessary to environmental policy decision-making. Progress has been made in estimating non-internalized costs of electricity production. Further investigation is needed to assess the costs of all other important phases of the fuel cycle.*

*Le stime dei costi sociali rappresentano solo una componente delle informazioni necessarie per le decisioni di politica ambientale. Progressi si sono avuti nello sviluppo di stime dei costi non-internalizzati della produzione di elettricità, ma ulteriori ricerche sono necessarie per stimare i costi delle altre importanti fasi del ciclo del combustibile.*

di Flavio Conti\*, George Helckè\* e Joe H. Eto\*\*

**I**l degrado ambientale sempre più ampio rende sempre più evidente ciò che sino alla fine degli anni '60 veniva descritto come una curiosità od un caso particolare della teoria economica (e della politica economica): i costi sociali delle scelte di produzione e di consumo.

In questo articolo ci si limiterà a considerare solo le tecnologie di produzione di energia elettrica, ma evidentemente il problema si pone in termini del tutto generali anche per altre produzioni inquinanti.

Nel prendere le loro deci-

sioni riguardo le scelte ed i livelli di produzione, di consumo e di investimento, sia in campo energetico che in altri, i vari soggetti, sia pubblici che privati, basano le loro decisioni considerando i vari costi, i benefici e le difficoltà che essi dovranno sostenere. I costi sociali ambientali associati alle loro scelte non rientrano adeguatamente nei bilanci propri dell'inquinatore, sia esso pubblico che privato, sia esso un'impresa o un gruppo di individui. I danni prodotti a terzi dalle varie attività diventano perciò delle *diseconomie ambientali esterne*, che costituiscono il problema sociale che le politiche ambientali devono affrontare.

Anche la produzione di elettricità avviene oggi con dei costi ambientali per la società che non sono di solito riflessi nei prezzi pagati dal consumatore che usufruisce dell'utilizzo dell'energia elettrica. In assenza di soddisfacenti metodi che riflettano questi costi nel prezzo del kilowattora, gli economisti ritengono che le decisioni di produrre e consumare l'elettricità secondo i costi e i prezzi correnti sarà sempre più fonte di inefficienza dal punto di vista dell'intera comunità.

Infatti, la società non può più esimersi dall'intervenire e cercare di eliminare le mag-

\* Centro Comune di Ricerca, Ispra

\*\* Lawrence Berkeley Laboratory, California

giori e più evidenti offese all'ambiente. Ora, poichè i costi di questi interventi non sono trasferiti sui costi delle produzioni inquinanti, ne consegue che il sistema dei prezzi ne risulta sempre più distorto e ciò comporta inefficienze del sistema economico nel suo complesso. Una più corretta attribuzione dei costi ambientali nei costi delle produzioni inquinanti obbligherebbe i produttori ad adottare tutte le misure anti-inquinamento necessarie perchè ciò abbasserebbe i costi complessivi. La mancanza di un mercato che possa definire secondo le sue regole i costi dell'elettricità è stato addotto come giustificazione per i governi per interventi di vario genere.

Un tipico approccio spesso adottato dai governi è di cercare di riportare le diseconomie all'interno del bilancio economico dell'inquinatore, mediante:

1. fissazioni di standard e di limitazioni in modo da incidere direttamente sulle specifiche progettuali e sulle opzioni possibili (approccio normativo o prescrittivo);
2. imposizioni fiscali e tasse selettive;
3. riforme istituzionali, migliori definizioni dei diritti di proprietà, estensione delle responsabilità per gli eventuali danni arrecati;
4. creazione di mercati dei permessi di inquinamento.

Alcuni di questi costi ambientali sono stati così internalizzati nei costi di produzione a seguito di nuove regolamentazioni e nuovi standard sui livelli di emissione dei poluenti.

Da alcuni anni si assiste a un dibattito fra coloro che si basano su questo approccio tradizionale ed altri che sostengono che metodi di valutazione basati su meccanismi di mercato sarebbero più efficaci.

Sia che si scelga la via dell'intervento tradizionale, che quella di valutazioni legate al mercato, la grandezza dei costi ambientali diviene un fattore importante nel definire la risposta politica. Questa deve tener conto degli interessi della società e quindi pagare il «prezzo giusto» per la protezione dell'ambiente. Il problema è, a questo punto, di sapere se tale prezzo sia determinabile, con quale precisione e con quali modalità. In effetti, una incertezza considerevole circonda la determinazione di questi costi ambientali ed è assai probabile che molte delle diseconomie esterne ambientali non saranno mai adeguatamente quantificate all'interno di un quadro economico.

Nonostante queste incertezze v'è una crescente consapevolezza che questi costi sono assai importanti. La loro importanza suggerisce che anche una limitata misura del valore economico per fornire indicazioni alle scelte politiche possa rappresentare un progresso rispetto al metodo tradizionale di basarsi su misure di valore implicite e troppo spesso non giustificate.

#### 1. DEFINIZIONI METODOLOGICHE E CONSIDERAZIONI PRELIMINARI

Rispetto alle condizioni teoriche ottimali di mercati ideali perfettamente competitivi, le condizioni dei mercati reali sono assai diverse a causa di molte «distorsioni»; anche le produzioni energetiche, e in particolare l'energia elettrica, sono soggette a condizioni di alterazione del mercato che, producendo distorsioni nei prezzi, causano le cosiddette diseconomie esterne.

Una prima ragione di di-

storsione è dovuta alle *situazioni di monopolio* e di regolamentazioni del governo che creano discrepanze tra l'utilità marginale dei combustibili e dell'elettricità ed i prezzi praticati. Un secondo motivo potrebbe essere costituito in relazione al *valore strategico* attribuito all'energia, per cui una interruzione della produzione potrebbe arrecare danni gravissimi all'economia. Quindi, secondo questa ottica, il valore attribuito all'energia è assai più elevato di quello riflesso dai prezzi.

La terza forma di diseconomia relativa alle produzioni energetiche, e che diviene sempre più importante, è quella legata all'uso di risorse sinora escluse dalle valutazioni di mercato, e cioè le *risorse ambientali*, quali l'aria e l'acqua pulita, i beni panoramici, la natura più o meno incontaminata e comunque godibile dall'uomo.

Il presente articolo cercherà di evidenziare i metodi economici di determinazione delle stime di queste ultime diseconomie, limitandosi alla produzione di energia elettrica.

Nei tardi anni '70 sono stati effettuati più intensi studi sulla valutazione dei costi *totali* associati alle varie produzioni energetiche nell'ambito di quel tipo di valutazioni di confronto sulle varie tecnologie possibili che è meglio noto con il termine inglese di *technology assessment*. Lo scopo di queste valutazioni era quello di fornire un quadro completo di tutti gli effetti di tipo ambientale, macro-economico e sociale e della loro possibile ampiezza. Il fatto che alcuni di questi effetti potessero essere inclusi (o «internalizzati») nei costi di produzione aziendali (ad esempio, mediante fissazione di norme e standard) era di secondaria importanza, in quanto l'ottica era

quella degli oneri per il Paese e quindi un semplice trasferimento monetario da un'impresa allo Stato non era importante se non in quanto implicava una diversa scelta di tecnologia.

Tuttavia, la necessità e l'importanza di internalizzare le diseconomie esterne fu messa in evidenza da alcuni rimarchevoli studi nei quali il concetto di costo totale (opposto ai concetti di costo capitale e di costi correnti) e la scelta delle tecnologie energetiche divennero i punti nodali. Lo scopo di questi studi, chiamati *technology assessment integrata*, era di catalogare tutte le varie specie di diseconomie, sia ambientali che di tipo socio e macro-economico, relative a tutte le produzioni energetiche.

Nel corso di questi lavori si constatò con chiara evidenza che molti importanti effetti ambientali erano di quasi impossibile quantificazione. Pertanto, fu riconosciuto che la *quantificazione monetaria delle diseconomie*, assai utile quando è possibile stimarla, a causa delle carenze di misura in molte situazioni, *non può costituire l'unico metro di giudizio nel technology assessment*.

Molte stime degli effetti ambientali possono essere ricondotte a questa gran mole di studi, mentre solo successivamente si è proceduto a una quantificazione degli effetti per la determinazione del valore monetario.

Holdren [1] sviluppò successivamente un quadro metodologico analitico completo per strutturare le connessioni causali che legano fra loro i vari effetti ambientali di ogni tipo di tecnologia. Questo quadro metodologico identifica 5 livelli di inquadramento degli effetti ambientali di una tecnologia.

1. Le *origini* o *fonti* degli effetti ambientali, intendendo con questo le attività specifiche intraprese nelle fasi di ricerca, costruzione, funzionamento o smantellamento per ricercare, estrarre, produrre, trasportare, vendere ed usare l'energia.

2. Le *offese* all'ambiente circostante prodotte da queste attività, con riferimento a ciò che è preso o riversato o alterato negli immediati paraggi ove le attività hanno luogo (comprendendo, per esempio, l'uso delle risorse, le emissioni, gli scarichi, le dirette trasformazioni del suolo, le costruzioni varie necessarie).

3. I *percorsi* con cui le offese generano i carichi ambientali anche in zone lontane su certe componenti ambientali mediante, ad esempio, trasformazioni fisiche o chimiche.

4. I *carichi* o *stress* ambientali, intesi come condizioni alterate della situazione ambientale (per esempio, concentrazioni chimiche, anomali effetti di temperatura, umidità o di struttura) nei luoghi di potenziale vulnerabilità.

5. I *danni* conseguenti alle risposte degli ecosistemi agli stress a cui sono sottoposti (comprendendo non solo la diretta incidenza sulla salute di tutti gli organismi viventi, ma più in generale anche i danni economici o ambientali a merci e servizi ed i danni estetici).

Holdren mise altresì in evidenza che, oltre indici quantitativi di danno, l'ultima categoria dovrebbe anche includere:

– il modo in cui il danno è ripartito nello spazio, nel tempo e fra le diverse categorie di vittime;

– la relativa facilità o difficoltà di istituire controlli istituzionali e/o tecnici per prevenire il danno o parte di esso;

– il grado di irreversibilità associato al danno, allorché esso si è verificato;

– come il danno è correlato con il grado di stress;

– il grado di incertezza relativo a queste definizioni.

In teoria, ogni attività relativa ad ogni stadio della produzione di energia elettrica dovrebbe essere soggetta a questo trattamento di analisi. In realtà, vi sono almeno due ragioni per cui tale programma di studio non è stato mai, e forse non sarà mai, realizzato.

La prima ragione sta nel fatto che forti *limitazioni nell'acquisizione dei dati più importanti* e significativi possono impedire l'analisi di molti effetti ambientali. Di conseguenza, molte delle catene causali sopra descritte non potranno essere stabilite in modo sicuro e non ambiguo (il che pone in maggior luce l'importanza di quantificare il grado di incertezza delle grandezze note o determinate). In certi casi non si ha modo di districarsi dalle difficoltà epistemiche.

Come mostrato più avanti, le limitazioni di disponibilità dei dati complicano anche l'applicazione dei metodi usati per attribuire un valore monetario alle diseconomie esterne. Queste limitazioni sono quindi assai importanti perché hanno conseguenze dirette sulle possibilità di adottare delle politiche di internalizzazione dei costi ambientali.

Il secondo motivo risiede nel fatto che vi sono problemi metodologici non certo banali nello stabilire i *confini del sistema* sotto considerazione, appropriati per questo tipo di analisi. Si tratta di problemi analoghi a quelli posti dall'*energy accounting*. Si consideri, come esempio, la costruzione delle centrali elettriche. Esse richiedono diverse risorse, come cemento, acciaio, rame, etc. che, a loro volta, sono il risultato di altri processi produttivi con loro proprie conse-

guenze ambientali. È chiaro che va fissato un certo confine del sistema considerato e ciò comporta, evidentemente, un notevole grado di arbitrarietà. Dal punto di vista del calcolo dei costi ambientali non internalizzati, una approssimazione potrebbe consistere nel ritenere che tutte le attività collegate presentino costi comprensivi delle diseconomie esterne. In altre parole, tutte le diseconomie ambientali e di altro genere associate ad un certo materiale usato nella costruzione di centrali sono già state internalizzate nel prezzo pagato per l'acquisto di quel materiale. L'approssimazione di eguagliare il costo reale con il costo totale comprensivo delle diseconomie è tanto più accettabile quanto minore è il peso che la risorsa considerata ha nel prodotto finale, cioè nel kilowattora prodotto o consumato.

Di fronte a queste difficoltà ed allo spettro enorme di attività relative alla produzione di energia elettrica, gli sforzi di analisi hanno assunto un carattere di frammentarietà nel senso che si compiono questi studi solo per i casi che si presentano di interesse di volta in volta. I singoli effetti vengono isolati ed esaminati sulla base della loro importanza.

## 2. LE METODOLOGIE DI CALCOLO DEI COSTI AMBIENTALI

L'assenza di metodi univoci, non ambigui, affidabili che possano quantificare i valori monetari di molti effetti ambientali fa sorgere due importanti domande, a cui è opportuno rispondere prima di passare alla descrizione dei metodi di stima delle diseconomie.

La prima questione, più vicina ai problemi tecnici, è se

*le stime ottenute siano affidabili. La seconda è se sia corretto sviluppare politiche ambientali sulla base di sole misure di costi molto approssimati.* Mentre la prima questione verrà affrontata successivamente, alla seconda è possibile dare qui solo una risposta parziale.

Innanzitutto va osservato che adottare un quadro di riferimento economico per la valutazione delle politiche ambientali significa che l'attribuzione di un certo costo rappresenta un miglioramento rispetto a non assegnare nessun costo (o costo zero), cosa che sappiamo essere scorretta. Comunque è perfettamente corretto porre in discussione l'uso di qualsiasi riferimento economico per prendere decisioni in materia ambientale quando è noto che molti costi sono affetti da grandissima incertezza e, anzi, quando molti costi non sono stati, nè mai lo saranno, misurati con il loro proprio valore.

A questo riguardo, mentre l'utilizzo di considerazioni economiche è una importante *componente* della politica ambientale, *non ci si deve illudere affermando che i soli argomenti economici esauriscono l'elenco delle giustificazioni per certe scelte o decisioni.* Ciononostante, nella misura in cui le attività che le politiche ambientali tendono a modificare sono guidate da considerazioni economiche, è essenziale che il danno creato da queste attività sia misurato in termini economici, sempre che ciò sia possibile.

### 2.1. Quantificazione delle diseconomie esterne ambientali

Dall'analisi della bibliografia esistente si può ricavare che i metodi di quantificazione delle diseconomie ambientali possono essere raggruppa-

ti in 3 principali categorie: *metodi diretti, indiretti e per procura.*

Già nelle varie referenze si può notare una certa confusione fra queste definizioni. Gli economisti ambientali talvolta chiamano diretti quei metodi che altri economisti chiamano indiretti [2] e viceversa. Questa confusione è giustificabile col fatto che varie applicazioni del metodo diretto fanno ricorso ad elementi tipici dei metodi indiretti.

La scelta qui fatta di suddivisione in tre categorie è giustificata dal fatto che in esse si possono raggruppare metodi con ipotesi di calcolo assai simili, mentre i risultati delle stime ottenute con i vari metodi saranno discussi nel par. 3.2.

#### 2.1.1. Metodi indiretti

I metodi indiretti sono basati sulla premessa che una analisi precisa e dettagliata dei comportamenti individuali può consentire di determinare il valore che un certo bene ambientale (come ad esempio, l'aria o l'acqua pulita, una bellezza panoramica) ha per la società, in assenza di mercati formali ove tali beni possono essere esplicitamente valutati.

I metodi indiretti determinano questo valore sia esaminando dei mercati «surrogati» sia usando tecniche sperimentali per simulare un tale mercato.

La *tecnica del mercato surrogato* si basa sull'esistenza di mercati nei quali un bene di caratteristiche non ambientali, ma con dirette relazioni od implicazioni con qualche bene ambientale è oggetto di azioni di compra-vendita. L'oggetto dell'analisi consiste nel cercare di separare gli aspetti del bene che sono in

relazione con gli impatti ambientali.

Esistono delle tecniche di valutazione dei prezzi delle proprietà immobiliari chiamate di tipo «edonistico» basate cioè sui benefici associati al godimento di una certa proprietà. Una proprietà, sia agraria che immobiliare, possiede caratteristiche che producono benefici relativi per il proprietario. Queste caratteristiche possono riguardare le *caratteristiche fisiche* (la superficie utile, le finiture, l'età dell'edificio, etc.), le *variabili derivanti dall'ubicazione dell'immobile* (la densità urbanistica, il livello di tassazione, di criminalità del quartiere, etc.), le *variabili di accessibilità* (la distanza dai luoghi di lavoro, dai negozi, dal sistema di trasporto pubblico) e le *caratteristiche ecologiche* (il livello di inquinamento dell'aria e di rumore).

Le tecniche di valutazione «edonistica» dei prezzi di una proprietà esaminano il mercato immobiliare e cercano di determinare la differenza di prezzo tra proprietà di caratteristiche fisiche analoghe, le une situate in zone inquinate e le altre in zone non inquinate. La differenza di prezzo costituisce una misura indiretta della diseconomia prodotta dall'inquinamento.

Un altro aspetto di prezzo «edonistico» si può ritrovare nel mercato del lavoro, secondo gli studi sulle «paghe di rischio». Si tratta della ben nota monetizzazione del rischio associata a lavori pericolosi. La differenza di retribuzione rispetto a corrispondenti lavori non rischiosi rappresenta una misura del valore che le persone di una certa società (e di certe classi di reddito) attribuiscono alla loro vita ed alla loro salute in relazione al rischio attribuito e percepito.

Infine, un approccio di mer-

cato surrogato (che è peraltro poco importante per i costi ambientali di produzione dell'elettricità) è il *metodo dei costi di viaggio*, in cui il valore di una risorsa naturale paesaggistica è stimata dalle spese di viaggio dei turisti che si recano a visitare quella bellezza naturale.

In assenza di mercati reali e formali, ove i beni ambientali sono comprati e venduti, un approccio sperimentale può venir usato per stimolare un tale mercato. Studi di «valutazioni contingenti» sono il principale esempio di un tale approccio.

Questi studi cercano di misurare i benefici economici o i costi di una certa attività, chiedendo alle persone quanto sarebbero disposte a pagare per ricevere o per rinunciare a un dato beneficio o a un certo danno ambientale.

Si utilizzano a tale scopo opportuni questionari e si elaborano considerazioni teoriche differenziate tra l'importanza che i singoli individui attribuiscono alla loro *disponibilità a pagare* per ottenere un beneficio ambientale o per evitarne la perdita (WTP=Willing to Pay) ovvero la loro *disponibilità ad accettare* (WTA=Willing to Accept) di rinunciare a ottenere un beneficio o di tollerarne la perdita.

I metodi indiretti sono spesso criticati sul piano metodologico per molti aspetti, quali *l'imperfetta informazione* per i soggetti presenti nel mercato (la perfetta informazione è una delle ipotesi fondamentali della teoria economica classica), le *posizioni preconcelte o abitudini radicate* che possono complicare l'osservazione di scelte preferenziali condizionate (vedi scelte per lavori rischiosi e mal pagati) e le ingiuste valutazioni dei vantaggi legati agli attuali comportamenti.

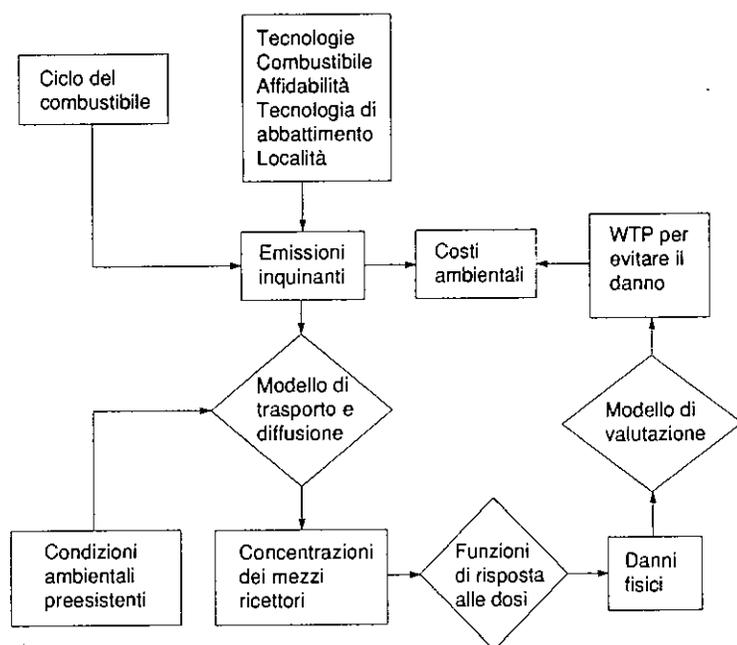
### 2.1.2. Metodi di valutazione diretta

I metodi diretti di valutazione delle diseconomie esterne, detti anche metodi *causali* o metodi della *funzione di danno*, sono preferiti dagli scienziati ambientali perchè essi misurano ogni legame causale nei vari passi che collegano la fonte dell'inquinamento con il danno finale (par. 2).

In una tipica analisi, una data offesa ambientale viene dapprima identificata e poi se ne determinano i percorsi di azione e se ne misurano le pressioni o stress sui vari componenti. Quindi, mediante l'utilizzo delle relazioni che correlano le dosi di inquinamento con gli effetti, si stimano i danni.

La Fig. 1 mostra l'approccio causale per uno stadio del ciclo tecnologico di produzione dell'energia elettrica. Le tecnologie scelte per la produzione, trasmissione dell'energia e per l'abbattimento della polluzione, insieme con i siti scelti per l'impianto (incluse le linee di trasporto) determinano il tipo di emissioni inquinanti e, tenuto conto delle condizioni climatiche e dei livelli preesistenti di inquinamento, le concentrazioni degli agenti inquinanti nei vari mezzi ricettori (aria, acqua, territorio). In base alle condizioni ecologiche e alla possibilità che ne derivi un danno reale alle persone, agli animali o alle cose (espressa dalla *funzione di risposta alle dosi di inquinanti*), ogni ulteriore aggravamento di offese ambientali si traduce in un danno, percepito come tale dalla sensibilità sociale degli abitanti. L'insieme delle somme che i vari individui coinvolti sarebbero disposti a pagare (Willing to Pay) per evitare queste offese ambientali costituisce una adeguata

Fig. 1 - SCHEMA A BLOCCHI DELLA VALUTAZIONE DEI COSTI AMBIENTALI



stima del danno arrecato.

Nella maggior parte dei casi, i danni possono essere stimati direttamente (come il valore economico di beni danneggiati). In altri casi in cui non si riesce ad ottenere una stima economica diretta dei beni danneggiati, si può ricorrere ai metodi indiretti sviluppati ad esempio nei casi in cui si deve attribuire un valore alla salute o alla vita umana.

Di solito vi sono 3 principali classi di danni da considerare:

1. danni alla salute umana, comprendenti la morte e le malattie;

2. danni alle risorse ecologiche, comprendenti la perdita di risorse agricole, di acqua, raccolti, foreste, animali da allevamento o selvatici, beni paesaggistici e gradevolezza ambientale in generale;

3. degrado dei materiali, che include il degrado del suolo e gli effetti della corrosione.

I metodi diretti sono particolarmente utili in tutti quei casi in cui i percorsi che collegano le fonti dell'inquinamento ai danni prodotti non sono

conosciuti e percepiti dai soggetti inquinati. Costoro, a seguito dell'analisi, possono venire informati dei meccanismi in base ai quali l'inquinamento agisce e li danneggia. Inoltre, i metodi diretti offrono la possibilità teorica di separare gli effetti delle diverse offese ambientali.

Per questi motivi i metodi diretti sono oggetto della maggior attenzione da parte dei ricercatori e degli economisti ambientali. La maggiore difficoltà di questi metodi risiede nella necessità di dettagliare i legami causali specifici di ogni passo dell'analisi. In assenza di dati sufficienti per stabilire e definire queste connessioni o legami ne deriva una sostanziale incertezza per le correlazioni tra le dosi e le risposte e, di conseguenza, per le stime dei danni.

Un altro punto di notevole difficoltà teorica dei metodi diretti è costituito dalla valutazione dei danni a beni che non sono oggetto di valutazioni di mercato. Per esempio, l'unico modo sinora adottato di attribuire un valore alla sa-

lute umana è quello di considerare la perdita di salario conseguente alla inabilità o alla perdita della vita. Questo approccio non attribuisce alcun valore alle malattie o alla scomparsa prematura di coloro che non hanno un lavoro. Anzi, si può arrivare all'assurdo che la scomparsa di pensionati e disoccupati costituisca un beneficio economico netto per la società.

Per questo ed altri motivi, la componente di valutazione dei metodi causali fa spesso ricorso ai metodi indiretti sopra descritti. In questi casi i problemi inerenti ai metodi indiretti si sommano e complicano ulteriormente quelli, già complessi, dei metodi diretti di cui fanno parte.

### 2.1.3. Metodi di procura

Le limitazioni metodologiche dei metodi indiretti e la mancanza di dati e di informazioni per i metodi diretti hanno portato allo sviluppo dei cosiddetti *metodi di procura* ovvero dei *prezzi-ombra*. Questi metodi non stimano i costi dei danni ambientali, bensì quelli dei costi necessari per l'eliminazione dell'inquinamento e/o dei danni prodotti.

Ad esempio, è noto che la crescita a livello planetario della CO<sub>2</sub> avrà un effetto di alterazione sui meccanismi di equilibrio termico della terra, con conseguenze di un riscaldamento globale.

I danni conseguenti questo riscaldamento globale sono di problematica valutazione, giacché non sono tuttora chiari i meccanismi con cui tale fenomeno si produrrà. In questi casi si usa il metodo per procura, teso a valutare o il costo della rimozione della CO<sub>2</sub> dai prodotti della combustione per la produzione di elettricità oppure il costo della riduzione dall'atmosfera del-

la stessa quantità di CO<sub>2</sub> realizzata mediante la piantumazione di alberi.

Il vantaggio del metodo per procura è che, in molti casi, i costi della eliminazione dei danni sono di più facile stima dei costi dei danni ambientali da eliminare. Lo svantaggio è che ciò che viene stimato è precisamente il costo rispetto al quale andrebbe eseguito il confronto in una analisi economica di costi-benefici a giustificazione di specifiche politiche di intervento.

In generale, i metodi per procura sono utilizzati solo quando i metodi diretti ed indiretti non sono in grado di fornire delle stime significative e quando v'è una certa evidenza e sicurezza che i costi dell'eliminazione dei danni sarebbero molto minori dei costi dei danni prodotti.

## 2.2. Varie stime delle diseconomie esterne ambientali

Le diseconomie esterne ambientali della produzione di elettricità sono state esaminate da molti studiosi ma quantificate solo da pochi autori. Con poche eccezioni, gli studi che si sono potuti qui prendere in considerazione analizzano solo quelle offese ambientali derivanti dalla generazione dell'elettricità nelle centrali elettriche. Per questa particolare sorgente all'interno dell'intero ciclo del combustibile i vari studi considerano solo quelle offese ambientali ritenute le più importanti, come l'inquinamento dell'aria con le emissioni al camino delle centrali alimentate con combustibili fossili o i rilasci accidentali di materiale radioattivo delle centrali nucleari.

La principale rassegna di diseconomie ambientali è quella fornita da Ottinger et al. [3]. Oltre a rivedere le sti-

me numeriche delle diseconomie esistenti, lo studio di Ottinger fornisce una eccellente guida delle numerose offese ambientali che sono state studiate ma non quantizzate.

### 2.2.1. Elettricità da combustibili fossili

La Tab. 1 presenta stime dei costi ambientali relativi alle emissioni di SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, e particolati. Questi dati sono il risultato di studi americani fatti dalla *ECO NorthWest* per conto della *Bonneville Power Administration* (BPA). Essi hanno preso come riferimento alcune centrali a carbone [4] ed a olio combustibile [5] situate nello Stato di Washington. Lo studio di Krawiec [6] è basato su precedenti studi epidemiologici e quello di Mendelsohn [7] esamina le emissioni incontrollate di una centrale a carbone del Connecticut. Con l'eccezione del lavoro di Chernick e Caverhill [8], questi studi si basano su metodi diretti per sviluppare delle stime dei danni alla salute ed ai materiali e su metodi indiretti per determinare i danni alla visibilità dei siti (tipici aspetti «edonistici» dei prezzi delle proprietà). Cher-

nick e Caverhill usano un metodo per procura in cui vengono stimati i costi di abbattimento dell'inquinamento. Ottinger et al. si basano su tutti gli studi (tranne quello di Chernick e Caverhill) per ricavare le stime «migliori» e quelle «massime». Queste stime differiscono da quelle originali degli autori perchè si sono compiuti degli sforzi di omogeneizzazione e di adattamento alla situazione del Nord Ovest degli Stati Uniti, tenendo conto della diversa densità di popolazione. Per facilitare il confronto fra le stime dei diversi studi Ottinger et al. hanno usato comuni ipotesi per il valore della vita umana (4 mil. doll.) e delle più importanti infermità (fissate a 400.000 doll.) per il ricalcolo dei costi ambientali.

La Tab. 2 presenta varie stime dei costi ambientali della CO<sub>2</sub>. Viene generalmente accettato che l'applicazione dei metodi diretti non sia valida per la stima di questi costi a causa della difficoltà nel determinare gli effetti dell'aumento della CO<sub>2</sub> con sufficiente precisione. Solo nel lavoro di Hohmayer [9] l'autore indica come effetto dell'aumento della CO<sub>2</sub> l'innalzamento di 1

Tab. 1 - STIME DI MINIMA E DI MASSIMA DELLE DISECONOMIE ESTERNE AMBIENTALI PER SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> E PARTICOLATI DA PRODUZIONE DI ELETTRICITÀ<sup>(1)</sup> (Ecu-1989/kg)

| Fonte bibliogr.        | Metodo  | SO <sub>2</sub> |           | NO <sub>x</sub> |           | Particolati |           |
|------------------------|---------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-------------|-----------|
|                        |         | Danni           | Stime     | Danni           | Stime     | Danni       | Stime     |
| ECO 1987 [10]          | causale | H,M             | 3,58      | H,M,A,V         | 0,04-0,86 | H           | 0,40-0,72 |
| ECO 1984 [5]           | causale | V               | 0,28      | H,V             | 0,360     |             |           |
| ECO 1983 [4]           | causale |                 |           | A,V             | 0,00      | H,V         | 1,720     |
| Mendelsohn [7]         | causale | H,M,V           | 9,06      |                 |           |             |           |
| Krawiec [6]            | causale | M               | 0,68      |                 |           |             |           |
| Chernick-Caverhill [8] | procura |                 | 7,00      |                 | 3,000     |             |           |
| Ottinger et al. [3]    | causale | H,A,M,V         | >4,06     | H,A,M,V         | >1,640    | H,V         | >2,380    |
| Hohmayer [9]           | causale | H,A,M           | 0,44-2,33 | H,A,M           | 0,55-2,95 | H,A,M       | 0,45-2,38 |

(<sup>1</sup>) Danni: H=Salute; A=Agricoltura; M=Materiali; V=Visibilità; O=Altro. Tutti i danni alla salute sono stati ricalcolati dagli studi originali usando valori di 3,6 mil. Ecu/vita umana e 0,36 mil. Ecu/malattia grave (da Ottinger et al., 1990). I valori riportati forniscono il primo la «miglior stima iniziale» (per cui le altre stime sono superiori (segno >)) ed il secondo la «massima stima».

Tab. 2 - DISECONOMIE ESTERNE AMBIENTALI PER LA CO<sub>2</sub> (Ecu-1989 /tonn.)

| Fonte bibliogr.         | Metodo  | Stime    |         | Commenti  |
|-------------------------|---------|----------|---------|---|
|                         |         | Migliore | Massima |   |
| Buchanan [11]           | procura | 17,4     | 42,4    | alberi douglas commerciali da ardere  |
| Reichmuth-Robinson [12] | procura | 17,0     | 22,3    | foreste in zone temperate   |
| Dudek [13]              | procura | 19,2     | 21,4    | programma di conservazione delle risorse mediante piantumazione di pini silvestri |
| Akbari et al. [14]      | procura | 0,0      | 23,2    | piantumazione in contesto urbano possibili costi negativi                         |
| Chernick-Caverhill [8]  | procura | 71,5     | 107,2   | dati derivati da stime disponibili  |
| Schildberg et al. [15]  | procura | 48,2     |         |   |
| Hohmayer [9]            | casuale | 0,04     | 0,08    | costo di costruzione di dighe   |

metro del livello del mare e quindi calcola il costo di costruzione di barriere di quest'altezza per le coste tedesche. Come si può facilmente intuire questo costo, vista l'incertezza del fenomeno, è assai poco affidabile. Di conseguenza, il costo più credibile attualmente usato come misura per procura è quello della piantumazione di alberi.

Ottinger et al. hanno passato in rassegna un grande numero di studi e valutazioni sulla piantumazione degli alberi. In tale rassegna molte delle stime più basse sono state scartate perchè tipiche di situazioni specifiche non estrapolabili ad altri contesti.

La Tab. 3 presenta i fattori di conversione per combinare i costi delle singole emissioni nell'atmosfera forniti dalle Tabb. 1-2 in un unico valore per unità di energia (kWh prodotto) per i vari combustibili e le varie tecnologie. Questi dati sono ottenuti principalmente dal Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti che ha fornito le specifiche caratterizzanti le varie tecnologie.

In Tab. 4 sono indicate le stime di costo ambientale dei principali combustibili fossili e tecnologie di generazione dell'elettricità. Queste stime sono calcolate usando i «migliori» ed i «massimi» costi stimati da Ottinger et al. per le singole emissioni nell'atmosfera (dalle Tabb. 1-3) ed i fat-

tori di conversione di Tab. 3. Nel caso della CO<sub>2</sub> è stato usato un campo di variazione tra 20 e 80 doll./tonn. (da 17 a 69 Ecu/tonn.). Tutti i costi sono espressi in mills/kWh (1 mills = 1/1.000 di dollaro) nei rapporti originali e sono stati convertiti e qui presentati in Ecu ed unità metriche.

La Tab. 4 include anche i costi ambientali stimati da Hohmayer limitatamente al territorio della Germania Federale, il quale però fornisce solo una stima complessiva globale e non le stime per le

diverse emissioni, combustibili o tecnologie di generazione elettrica. Nella revisione dei costi ambientali per l'energia prodotta da *recuperi termici*, è importante osservare che sono considerati solo i costi delle emissioni nell'atmosfera riportati nelle Tabb. 1 e 2. Una stima più completa dovrebbe pure includere le emissioni addizionali di metalli pesanti, che non sono associate con la generazione di elettricità con combustibili fossili.

La Tab. 4 riporta anche il prezzo di vendita al consumo

Tab. 3 - FATTORI DI CONVERSIONE DELLE DISECONOMIE AMBIENTALI DA COMBUSTIBILI FOSSILI

| Tecnologia                         | Calore di convers. | Zolfo nel comb. | Inquinanti atmosferici |                 |       |                 |
|------------------------------------|--------------------|-----------------|------------------------|-----------------|-------|-----------------|
|                                    |                    |                 | SO <sub>2</sub>        | NO <sub>x</sub> | Part. | CO <sub>2</sub> |
|                                    |                    |                 | kg/MWh                 |                 |       |                 |
| <i>Carbone</i>                     |                    |                 |                        |                 |       |                 |
| T. a vap. senza controllo          | 2.369              | 2,5             | 21,1                   | 4,26            | 0,426 | 890             |
| T. a vap. con controllo            | 2.520              | 1,2             | 4,1                    | 2,70            | 2,90  | 948             |
| Fumi desolfurizzati                | 2.369              | 2,5             | 2,1                    | 4,26            | 0,426 | 890             |
| Combustione letto fluido           | 2.369              |                 |                        | 1,71            | 0,128 | 890             |
| Ciclo comb. con gasific.           | 2.268              |                 | 0,6                    | 0,20            | 0,041 | 850             |
| Ciclo comb. con gasific.           | 2.520              | 1,2             | 0,8                    | 0,27            | 0,140 | 948             |
| <i>Gas naturale</i>                |                    |                 |                        |                 |       |                 |
| Ciclo a vapore                     | 2.324              |                 | 0,00                   | 2,83            | 0,133 | 450             |
| Ciclo a vapore                     | 2.620              |                 | 0,00                   | 1,18            | 0,014 | 519             |
| Ciclo combinato                    | 2.268              |                 | 0,00                   | 1,71            |       | 450             |
| Ciclo combinato (migliore tecnol.) | 2.268              |                 |                        | 0,11            |       | 450             |
| <i>Olio combustibile</i>           |                    |                 |                        |                 |       |                 |
| Turb. a vapore                     | 2.480              | 2,0             | 11,5                   | 1,34            | 1,270 | 750             |
| Turb. a vapore                     | 2.620              | 1,0             | 2,5                    | 1,36            | 0,454 | 750             |
| Turb. a combust.                   | 3.427              | 0,3             | 2,0                    | 3,07            |       | 990             |
| Turb. a combust.                   | 3.427              | 0,3             | 1,0                    | 3,08            | 0,227 | 993             |
| Recuperi energetici                |                    |                 | 9,1                    | 0,91            | 0,340 |                 |

Tab. 4 - COSTI DELLE DISECONOMIE AMBIENTALI PER LA PRODUZIONE DI ELETTRICITÀ DA COMBUSTIBILI FOSSILI<sup>(1)</sup> (Ecu-1989/MWh)

| Tecnologia                               | Stima iniziale | Percentuale della stima rappresentata da |                 | Fonte bibliogr.          |
|--|----------------|--|-----------------|--------------------------|
|  |                | SO <sub>2</sub>                          | CO <sub>2</sub> |                          |
| <i>Carbone</i>                           |                |  |                 |                          |
| T. a vap. senza controlli                | 106            | 81                                       | 11              | DOE [16]                 |
| T. a vap. senza controlli                | 41             | 41                                       | 32              | Ottinger et al. [3]      |
| Desulfurazione dei fumi                  | 29             | 30                                       | 42              | DOE [16]                 |
| Combustione letto fluido                 | 24             | 36                                       | 50              | DOE [16]                 |
| Ciclo comb. int. con gasific.            | 14             | 17                                       | 80              | DOE [16]                 |
| Ciclo comb. int. con gasific.            | 17             | 20                                       | 75              | Ottinger et al. [3]      |
| <i>Gas naturale</i>                      |                |  |                 |                          |
| T. a vapore                              | 11             | 0  | 55              | DOE [17]                 |
| T. a vapore                              | 9              | 0  | 78              | Ottinger et al. [3]      |
| Ciclo combinato                          | 9              | 0  | 68              | Chernick e Caverhill [8] |
| Ciclo combin. (migliore tecnol.)         | 6              | 0  | 97              | Chernick e Caverhill [8] |
| <i>Olio combustibile</i>                 |                |  |                 |                          |
| T. a vapore                              | 62             | 75                                       | 16              | DOE [17]                 |
| T. a vapore                              | 24             | 42                                       | 44              | DOE [16]                 |
| Combust. turbo-Diesel                    | 27             | 30                                       | 51              | Chernick e Caverhill [8] |
| Combust. turbo-Diesel                    | 23             | 18                                       | 58              | Ottinger et al. [3]      |
| Energia da rifiuti                       | 39             | 94                                       | ..              | Ottinger et al. [3]      |
| Combustibili fossili                     | 6              | 36                                       |                 | Hohmayer [9]             |
| Prezzo medio al consumo USA (Ecu/MWh)    | 58             |  |                 |                          |
| Prezzo medio al consumo Italia (Ecu/MWh) | 40             |  |                 | industrie-132 famiglie   |

<sup>(1)</sup> Basata su stime iniziali di costi di Ottinger da Tab. 1 e 2 e fattori di conversione da Tab. 3. Per la CO<sub>2</sub> si è adottato un valore equivalente di costo di 15,2 Ecu/tonn. Hohmayer considera i danni alla salute, all'agricoltura ed ai materiali, ma non assegna valori unici ai vari combustibili od alle tecnologie.

dell'elettricità negli USA ed in Italia, come riferimento di confronto con le stime di costo delle diseconomie. Si può constatare che per il petrolio ed il carbone le stime «iniziali» (ossia minime) delle diseconomie variano tra circa il 20% ed il 200% del prezzo pagato per l'elettricità. Ciò dimostra come il costo sociale della produzione dell'elettricità è considerevolmente maggiore di quello realmente sostenuto dai produttori e dai consumatori.

Si nota inoltre che se si tenesse in conto la grandezza e la variazione dei costi delle diseconomie fra le varie tecnologie di generazione, le considerazioni economiche circa i costi fissi e quelli proporzionali ne risulterebbero notevolmente alterate.

Ad esempio, considerando i prezzi pagati negli USA per il carbone (1,26 Ecu/GJ) e per

l'olio combustibile (2,10 Ecu/GJ) e considerando un'efficienza di conversione pari a 10,55 GJ/MWh (=2.520 kcal/

kWh pari ad un rendimento di trasformazione del 34%) si ottiene una differenza di costi di produzione di 8,9 Ecu/MWh. L'ammontare di tale differenza, che certamente sta alla base di numerose scelte di filiere, non solo negli Stati Uniti, ma in tutti i Paesi del mondo, è certamente inferiore a tutti i valori delle stime di costo ambientale fatte per tutte le tecnologie prese in considerazione.

La rilevanza di queste constatazioni evidenzia la necessità che i costi delle diseconomie ambientali debbano ricevere una ben maggiore attenzione nelle scelte delle tecnologie produttive da parte degli enti elettrici ed in generale da tutti coloro che contribuiscono alle decisioni finali sulle scelte delle filiere.

### 2.2.2. Elettricità da nucleare

La Tab. 5 mostra le stime dei costi totali per l'elettricità di origine nucleare. La prima serie di stime è presa dal lavoro di Ottinger et al. che ha fatto riferimento ad una estesa bibliografia scientifica. Non si ritiene opportuno presentare qui le

Tab. 5 - COSTI DELLE DISECONOMIE AMBIENTALI PER LA PRODUZIONE DI ELETTRICITÀ DA FONTE NUCLEARE E FONTI RINNOVABILI (millesimi di Ecu-1989/kWh)

|                                      | Tipo di danno | Stima bassa | Stima alta |
|--------------------------------------|---------------|-------------|------------|
| <i>Fonte nucleare</i>                |               |             |            |
| (dati di Ottinger et al.)            |               |             |            |
| Funzionamento normale                |               |             |            |
| Situazione d'incidente               | H,A           | 1           |            |
| Decommissioning (metodo per procura) | H,M           | 19          |            |
| Totale                               |               | 2           | 3          |
|                                      |               | 22          | 24         |
| (dati di Hohmayer)                   |               |             |            |
| Situazione d'incidente               | H,A           | 7           | 70         |
| <i>Fonti rinnovabili</i>             |               |             |            |
| (dati di Ottinger et al.)            |               |             |            |
| Grandi impianti idroelettrici        |               |             |            |
| Impianti solari                      | A             | 10          | 11         |
| Impianti eolici                      | H             | 0           | 3,5        |
| Impianti eolici                      | O             | 0           | 1          |
| Biomassa                             |               | 0           | 6          |
| (dati di Hohmayer)                   |               |             |            |
| Solare fotovoltaico                  |               |             |            |
| Impianti eolici                      | H             | 0+          | 3          |
|                                      | O             | 0           | 0+         |

H=salute; A=agricoltura; M=Materiali; V=Visibilità; O=Altro.

ipotesi sottostanti su cui questo lavoro si è basato a causa delle grandi differenze fra tutti gli studi da cui Ottinger ha attinto. Molti di questi studi esaminano i danni da radiazioni da ogni fonte e questi devono poi essere combinati con ipotesi aggiuntive per arrivare ad ottenere una stima unica per l'elettricità nucleare. Una eccezione è costituita dal lavoro di Hohmayer, che esamina i danni derivanti da un rilascio accidentale come quello di Chernobyl.

La stima di Ottinger è insolita rispetto alle stime precedenti in quanto prende in conto anche i costi ambientali dello smantellamento (*decommissioning*) delle centrali nucleari benchè, come negli altri studi, egli non consideri i costi della parte restante del ciclo del combustibile. Una volta determinati e fissati i costi-limite dello smantellamento delle centrali, e quindi inclusi nel costo complessivo delle centrali, Ottinger considera solo quei costi addizionali che sono stati stimati superiori ai costi-limite. Stime separate sono fornite per ogni tipo di filiera (reattori ad acqua bollente e pressurizzati).

### 2.2.3. Elettricità da fonti rinnovabili

Gli studi di Ottinger e di Hohmayer presentano inoltre le stime dei costi ambientali dell'energia elettrica originata da fonti rinnovabili, mostrate sempre in Tab. 5. Le fonti rinnovabili differiscono sostanzialmente dalle tecnologie basate sulla combustione o sul nucleare, in quanto i «combustibili» usati sono in principio non dannosi e corrispondenti ad usuali fenomeni naturali ed i tipi di diseconomie sono specifici per ogni tecnologia.

Gli studi degli impatti ambientali di queste tecnologie

devono però orientarsi verso effetti tipici e specifici. Questi generalmente comprendono:

- territorio e uso di materiali associato alla costruzione di impianti fotovoltaici,

- alterazione degli ecosistemi, modifica del tipo di fruizione del territorio e delle acque nel caso di creazione di bacini per energia idroelettrica,

- inquinamento acustico e mutata visibilità per la generazione eolica.

Un punto delicato nell'esaminare le stime dei costi dovuti all'uso del territorio per le tecnologie di elettricità da impianti fotovoltaici risiede nella difficoltà di determinare quale frazione dei costi ambientali è stata, di fatto, già internalizzata nel prezzo del terreno ove sorge la centrale. Di solito questa diseconomia non è considerata nel caso di centrali convenzionali a combustibili fossili perchè la richiesta di utilizzo di territorio è comparativamente molto più modesta e quindi si suppone che ciò non costituisca diseconomie. Evidentemente questo tipo di valutazione dipende molto dal valore di utilità marginale del territorio in relazione alle disponibilità. Tale valore può variare grandemente da un Paese sovrappopolato come l'Italia a Paesi con grandi disponibilità territoriali, come l'Algeria, gli USA, l'URSS, l'Australia ed altri ancora.

Altre possibili diseconomie associate al fotovoltaico possono essere dovute agli incidenti che potrebbero avvenire nel corso della manutenzione di questi impianti (Hohmayer) e quelle associate alla fabbricazione delle fotocelle (Ottinger et al.).

Gli studi di Ottinger et al. sui costi delle centrali idroelettriche, derivati da studi precedenti per il Nord Ovest americano [18], sono basati sostanzialmente sulla perdita di lo-

calità amene per la ricreazione (comprendendo la pesca e la caccia), anche se in altri contesti la creazione di un bacino artificiale può portare benefici anzichè costi.

La stima di Hohmayer per i generatori eolici ipotizza riduzioni dei prezzi immobiliari (cioè ipotizza effetti edonistici sulla proprietà) per misurare i costi ambientali del rumore e della mutata visibilità. Ottinger et al. basano le loro stime per la generazione eolica su quelle di Hohmayer e su studi addizionali sulla cogenerazione con biomasse [18].

Il confronto tra i dati della Tab. 5 ed i prezzi medi al consumo di Tab. 4 mostra che le differenze tra i costi sociali ed i prezzi praticati ai produttori privati sono minori rispetto a quelli trovati per i combustibili fossili. Per l'elettricità da centrali nucleari questi costi rappresentano però ancora una frazione consistente del prezzo medio dell'elettricità. L'osservazione precedentemente fatta circa le differenze di costo fra le diverse tecnologie ed i costi ambientali corrispondenti risulta riconfermata anche da questa tabella, che mostra i bassi costi delle diseconomie dell'elettricità da fonti rinnovabili.

### 2.3. Discussione dei metodi e delle stime delle diseconomie

Gli sforzi di quantificazione delle diseconomie ambientali delle tecnologie di produzione dell'elettricità sono agli albori. Sono stati fatti importanti progressi, ma molto lavoro resta da svolgersi. Soprattutto si possono riscontrare nei principali lavori sin qui condotti diverse carenze metodologiche che sono illustrate e discusse nel presente paragrafo. Come riferimento per la nostra critica è stato scelto il lavoro di

Hohmayer [9], svolto per conto della Comunità Europea, che costituisce la valutazione più completa ed indipendente sinora svolta circa questi costi ambientali.

### 2.3.1. Critiche metodologiche

Considerando solo le stime dei costi ambientali, il riferimento al lavoro di Holdren del 1980 [19] consente di evidenziare molte carenze relative all'approccio integrato del problema dei costi. Le carenze individuate sono le seguenti:

- a) confini inconsistenti del sistema;
- b) confusione degli effetti medi con quelli marginali;
- c) illusorietà dei livelli di precisione dichiarati;
- d) introduzione di valori nascosti;
- e) attribuzione di eccessiva importanza solo a ciò che è misurabile.

#### a) Confini inconsistenti del sistema

Una valutazione completa degli impatti ambientali delle tecnologie energetiche dovrebbe considerare gli impatti di tutte le varie fasi del ciclo produttivo, dall'approvvigionamento alle miniere sino alle conseguenze degli usi finali e al deposito delle scorie.

Negli studi analizzati le valutazioni della produzione di elettricità da combustibili fossili e da nucleare considerano solo la fase di generazione dell'elettricità alle centrali, di cui sono stimate solo le diseconomie relative agli inquinanti atmosferici (per il funzionamento corrente per le centrali a combustibile fossile e in caso di incidente per il nucleare), trascurando anche altri importanti aspetti, quali l'inquinamento termico delle acque. Da questo punto di vista, sia il lavoro di Hohmayer che

di altri autori non forniscono un quadro completo di tutti i passi del ciclo. La limitazione ad alcuni importanti aspetti del ciclo, seppur comprensibile data la limitatezza dei dati disponibili, porta tuttavia a trascurare diseconomie del resto del ciclo del combustibile che possono essere altrettanto importanti.

La definizione dei «confini del sistema», ossia ciò che si prende in conto, risulta molto carente e difficilmente si ritrovano nelle bibliografie indicazioni metodologiche di ciò che si deve considerare e di ciò che si può trascurare.

Per ciò che concerne i combustibili fossili non è certamente possibile escludere gli effetti ambientali del trasporto del combustibile. Secondo i dati raccolti dall'Unep, l'Agencia delle Nazioni Unite, ogni anno vengono «perdute» in mare più di 3 milioni di tonnellate di petrolio, pari allo 0,1% della produzione mondiale. I nomi della Torrey-Cañon, della Amoco-Cadiz, Khark-5 ed infine della Exxon-Valdez sono ormai entrati nella storia a ricordare immani catastrofi ecologiche. Ma del petrolio «perduto» durante il trasporto, solo 400.000 tonnellate è dovuto ad incidenti: oltre 1 milione di tonnellate sono riversate in mare deliberatamente, stante la prassi di pulire le sentine e le stive delle navi durante i viaggi di ritorno. Secondo l'Unep, nel Mediterraneo solo 10 terminali petroliferi su 19 sono attrezzati a raccogliere e trattare le acque di zavorra. I danni ambientali di questi disastri ecologici sono elevatissimi, ma le compagnie petrolifere non hanno mai ripagato a sufficienza né i danni alla pesca, al turismo, all'ambiente irreparabilmente distrutto, né i costi completi del disinquinamento. Poiché questi rilasci, sia per incidenti

che di routine, sono inerenti all'attuale modo di trasporto del greggio, sembra assurdo non tenerne i danni nel dovuto computo, specie quando i danni ambientali sono tanto importanti almeno quanto quelli misurati a livello di centrale.

L'uso del carbone tende ad avere crescente attenzione nei Piani Energetici di molti Paesi ed il problema della valutazione dei costi ambientali andrebbe estesa non solo ai rischi nelle miniere, ma anche alle alterazioni territoriali e marine, ai sistemi di trasporto terrestri, ai carbonili ed ai siti di deposito delle scorie che derivano dalla scelta di ricorrere all'utilizzo del carbone per provvedere a quote addizionali di richiesta elettrica.

Anche la restante parte del ciclo nucleare non può essere omessa da uno studio completo. Gli inquinamenti prodotti dalle centrali di riprocessamento in condizioni di funzionamento normale sono ben maggiori di quelli delle centrali. L'inquinamento radioattivo prodotto dall'impianto inglese di Sellafield (Windscale) nel mare d'Irlanda potrebbe costituire, qualora si conoscessero dati di rilevamento più dettagliati, un buon campo di prova per il calcolo delle relative diseconomie.

Inoltre, diversi sono gli impatti ambientali degli impianti nelle condizioni di funzionamento normale ed in quelle di situazione di incidente. Mentre nel primo caso i danni sono di solito di relativamente bassa entità ma di effetto continuo durante la vita dell'impianto e sicuramente si producono, gli incidenti accadono invece raramente ma spesso hanno conseguenze assai gravi ed il raggio d'azione può essere molto più ampio ed imprevedibile rispetto alle condizioni di funzionamento normale.

L'incidente di Chernobyl è illuminante anche a tale riguardo. Il confronto fra le varie tecnologie deve comunque *sempre comprendere entrambe le situazioni*, con stime degli impatti ambientali risultanti dalla somma degli effetti cumulativi del funzionamento normale e delle condizioni di possibili incidenti.

b) *Confusione fra valori medi e marginali*

A seconda dell'obiettivo, sia l'effetto medio che quello marginale può essere considerato corretto per l'analisi. Gli effetti medi si riferiscono a ciò che correntemente corrisponde ad una descrizione della situazione esistente. Gli effetti marginali si riferiscono invece alle ultime installazioni, ovvero a ciò che deve essere realizzato per ulteriori aumenti di produzione.

L'obiettivo considerato da Hohmayer nel suo studio concerne l'analisi degli ulteriori sviluppi impiantistici per la produzione di elettricità addizionale. Di conseguenza, l'ottica che deve essere assunta è quella di considerare gli effetti marginali. È quindi scorretto stimare le diseconomie esterne relative alle emissioni nell'atmosfera rilasciate dall'attuale parco di centrali elettriche (si tratti di centrali fossili o nucleari), confrontandone le prestazioni con quelle degli impianti a fonti rinnovabili.

Il confronto corretto dovrebbe avvenire con centrali fossili o nucleari di ultima concezione, che presentano minori impatti ambientali rispetto a quelle progettate molti anni prima.

c) *Illusorietà dei livelli di precisione dichiarati*

Da quanto precedentemente esposto, data la complessità

della materia, la determinazione dei costi esterni delle tecnologie di produzione dell'elettricità è soggetta non solo alle incertezze dovute alle numerose ipotesi necessarie per la modellizzazione e semplificazione dei vari casi trattati, ma anche i dati disponibili (e non sempre lo sono) ed i metodi di calcolo adottati possono portare a stime affette sia da errori che da amplissimi margini di variabilità.

V'è tuttavia una tendenza scorretta a presentare i risultati come più precisi ed affidabili di quanto in realtà siano. In effetti, il fatto stesso che le incertezze siano grandi è un «costo» importante in relazione alla scelta di una filiera tecnologica. Hohmayer stesso evita saggiamente di fornire valori medi fuorvianti e preferisce fornire campi di possibili variazioni di molte delle stime effettuate. Comunque, nel caso dei rischi relativi alla fusione di nocciolo delle centrali nucleari, il range di solito presentato è irrealisticamente ristretto, spesso limitato ad un solo ordine di grandezza, quando è invece generalmente riconosciuto che un campo di variabilità più realistico è almeno di 6 ordini di grandezza.

Pertanto, ogni tendenza a ridurre i limiti di incertezza non mediante più accurate misure e considerazioni, ma semplicemente mediante ipotesi riduttive e semplificative costituisce certamente un peggioramento del supporto conoscitivo che queste stime di costo devono fornire per la formazione delle decisioni.

d) *Introduzione nel calcolo di valori nascosti*

La difficoltà e le limitazioni nella raccolta di dati significativi ed importanti per l'analisi ambientale obbligano spesso a

fare ipotesi assai opinabili e soggettive. Molte importanti offese ambientali non possono venir adeguatamente valutate e allora si fa ricorso a ipotesi di grande approssimazione. Non sempre queste ipotesi sono evidenziate chiaramente.

Ad esempio, nella valutazione dei danni arrecati alla flora, alla fauna, alla popolazione ed al clima tedesco Hohmayer ipotizza nel suo studio che la quantità di inquinanti atmosferici emessi dagli impianti situati in Germania e che fluiscono nei Paesi confinanti sia eguale alla quantità che la Germania riceve da altri Paesi confinanti. Questa equivalenza gli consente di restringere i limiti del sistema considerato alla sola Germania per la quale possiede dati omogenei e non deve quindi fare ricorso ad altri dati di produzione ed inquinamento dei Paesi limitrofi. Anche se questa equivalenza fosse corretta, la mancanza di una seppur minima documentazione a supporto di questa ipotesi suscita il sospetto che sia una assunzione di pura convenienza di semplificazione del calcolo, che può quindi alterare i risultati finali.

In particolare, il sospetto cresce quando si deve calcolare il contributo delle centrali elettriche all'effetto serra, poiché la CO<sub>2</sub> non è neppure presa in conto nella lista degli agenti inquinanti per il calcolo dei fattori di tossicità. I fattori di tossicità sono usati per combinare il danno relativo dei vari inquinanti in un'unica misura integrata del danno. Le emissioni dei singoli inquinanti vengono combinate in modo pesato rispetto alle emissioni totali per ottenere il danno della produzione di elettricità. I pesi utilizzati per combinare le varie emissioni corrispondono a quelli fissati per le massime emissioni am-

missibili per i luoghi di lavoro tedeschi. Benchè questi valori siano in diretta relazione con i calcoli di perdita di reddito dei lavoratori a causa della diminuita produttività, tuttavia non è affatto ovvio che gli stessi pesi usati per gli ambienti di lavoro siano validi anche per i danni in ambienti aperti per la flora e la fauna ed il clima. Ancora una volta, l'assenza di documentazioni adeguate lascia il sospetto di semplificazioni ingiustificate e fonti di errori.

Questi pochi esempi mostrano come certe ipotesi, più o meno nascoste, possano fortemente influenzare i risultati.

*e) Attribuzione di importanza a ciò che non è misurabile*

Il maggior pericolo nel lavoro di valutazione dei costi ambientali non sta solo nelle analisi fatte e negli errori ed incertezze di stima ma soprattutto nell'uso acritico delle stime presentate a supporto di varie tesi in fase di formazione delle decisioni.

Nel campo politico in cui avvengono le scelte energetiche, una stima quantitativa degli effetti è assunta come dato migliore rispetto all'assenza di stima.

Pertanto v'è la tendenza ad utilizzare le stime dei costi ambientali a supporto di argomentazioni pro o contro certe tecnologie, *indipendentemente dal contesto a cui il calcolo si riferisce.*

L'errore che si commette risiede quindi:

- nel presumere i dati completi, corretti e affidabili,
- nel ritenere le stime quantitative, così presentate e dipinte, come appropriate quantità di riferimento.

Molto spesso le stime sono effettuate sulla base di meccanismi e dati noti, mentre vi possono essere altri percorsi

causali, oggi non perfettamente conosciuti e quindi non modellizzabili, ma che potrebbero avere conseguenze assai più importanti di quelle considerate nelle stime. Un tipico esempio è il riscaldamento globale dovuto all'effetto serra relativo alla produzione di energia elettrica da combustibili fossili, ma anche ogni altra offesa ambientale potrebbe essere soggetta ad analoghi ragionamenti.

Una delle principali precauzioni nella valutazione del lavoro di Hohmayer è la sua limitazione delle diseconomie esterne al solo territorio della Repubblica Federale di Germania. Questa precauzione, se considerata alla lettera, implicherebbe che le stime, applicate a contesti diversi da quello tedesco, sono da considerarsi o erranee o soggette ad importanti ulteriori restrizioni. In particolare, il danno dovuto al mutamento del clima (effetto serra) è stimato, come già si è detto, considerando il costo delle protezioni costiere tedesche, a fronte di un aumento del livello del mare di 1 metro. Certamente con questo modo di ragionare limitato ad un solo Paese, questa diseconomia dovrebbe essere trascurata da un Paese senza coste marittime ed essere profondamente rivista per un Paese come l'Italia con più di 3.000 km di coste.

Sempre su questo punto, il fatto di prendere in conto alcune conseguenze dell'effetto serra legate alla produzione di elettricità, ed ai fenomeni di combustione più in generale, non significa affatto aver considerato le diseconomie più importanti. Infatti, oltre alle conseguenze dovute al fenomeno dell'innalzamento del livello degli oceani, certamente si accompagneranno altri effetti, quali, ad esempio, drammatici cambiamenti delle cul-

ture agricole e fenomeni meteorologici eccezionali. Questi cambiamenti non possono attualmente essere oggetto di un trattamento modellistico a causa delle grandissime incertezze sulla dinamica di questi fenomeni. Eppure questi cambiamenti, se avvenissero, avrebbero ben maggiori conseguenze economiche e sociali di un innalzamento di 1 metro delle protezioni costiere.

Il fenomeno della modifica del clima e delle conseguenze sull'agricoltura, anche se molto probabile, non è noto nella sua dinamica, perchè questa a sua volta dipende dal tasso di crescita dei consumi energetici. Esso potrebbe avere conseguenze negative per tutti i Paesi, oppure potrebbe avere conseguenze negative per alcuni e positivi per altri.

Come si vede, quindi, il problema di fornire adeguate risposte a questi aspetti dell'effetto serra pone, oltre alle esigenze di quantificazione, anche considerazioni di redistribuzione di danni e benefici, e di equità internazionale.

### 3. CONCLUSIONI

Sostanziali progressi sono stati compiuti durante gli anni '80 nello sviluppo di stime quantitative dei costi ambientali non-internalizzati della produzione di elettricità. Per beni che sono formalmente commerciabili nei mercati il valore dei danni da offese ambientali può venir misurato una volta che la catena causale che collega l'offesa ai danni prodotti sia stata determinata. In assenza di mercati formali, mercati surrogati o di sostituzione possono venir analizzati per la determinazione delle stime dei danni ambientali. Infine, se non si possono stabilire chiare connessioni causali fra le offese ed i danni, i meto-

di per procura consentono di quantificare il costo necessario per eliminare l'offesa ambientale piuttosto che misurare i danni veri e propri.

Le stime sino ad oggi disponibili suggeriscono che *vi sono importanti differenze tra i costi sopportati dai produttori e dai consumatori ed i costi sociali complessivi* imposti alla società da queste produzioni. Queste differenze, se incorporate nei prezzi pagati per l'elettricità, condurrebbero a scelte molto diverse circa le future produzioni energetiche. Inoltre, vi sarebbe uno spostamento verso alternative di non-produzione di elettricità, come ad esempio interventi di efficienza di utilizzo o di risparmio di elettricità.

Lo studio di Hohmayer, benchè limitato ad analisi di un numero ristretto di tecnologie e rivolto solo al territorio tedesco, rappresenta il lavoro più completo svolto in Europa nel campo della valutazione delle diseconomie esterne per la produzione di elettricità. Esso è importante altresì per alcune conclusioni metodologiche di validità generale:

a) i risultati sono incerti e presentano ampi margini di variabilità sia perchè sono la risultante di un certo numero di passi, molti dei quali di difficile e problematica valutazione, sia perchè altre incertezze sono introdotte dai mo-

delli di calcolo e dalle ipotesi semplificative relative, non sempre pienamente accettabili o generalmente applicabili;

b) nonostante la meticolosità e l'ampiezza del lavoro non tutte le filiere tecnologiche sono state considerate; ciò dimostra quanto complessa e difficile sia la valutazione dei danni ambientali e quante risorse umane in termini di ricercatori di varie discipline un lavoro di tale ampiezza richieda;

c) il più grande pericolo consiste nell'uso acritico dei risultati in contesti inappropriati, con estrapolazioni non giustificate. L'utilizzo acritico dei risultati, senza conoscenza delle ipotesi e delle limitazioni concettuali, porta poi a fornire supporti informativi basati su dati quantitativi che possono essere molto fuorvianti nel processo decisionale. D'altra parte, un uso generalizzato dei dati può dar luogo a critiche così negative da far scartare ogni considerazione circa le stime di costi ambientali calcolati, gettando alle ortiche anche quei risultati che invece conservano una loro validità e rilevanza.

L'analisi critica delle stime disponibili sino a questo momento evidenzia che esse *misurano solo una parte dei costi* delle diseconomie ambientali derivanti dalla produzione di elettricità. La rassegna presentata degli studi più noti mostra che vi è ampio spazio per

un netto miglioramento delle stime esistenti.

La limitazione o l'assenza di dati relativi a certi fenomeni o situazioni impedisce più precise misure degli effetti di varie offese ambientali.

*Molte importanti offese non sono state mai misurate*, sia per la oggettiva difficoltà, sia per la relativa novità del fenomeno, sia infine per deliberate scelte di esorcizzare il fenomeno. Fra le più importanti offese ambientali mai misurate basti citare l'effetto serra, la restante parte del ciclo nucleare, le eventuali conseguenze del terrorismo nucleare, gli incidenti e gli scarichi continui in mare delle petroliere.

Si può affermare con tutta sicurezza che *le attuali stime qui riportate si situano sul lato inferiore* dei presumibili campi di incertezza delle stime ambientali, dato che esse riflettono solo una parte dei possibili danni dell'intero ciclo del combustibile.

All'interno dei limiti epistemologici in cui si pone questo lavoro, vale la pena ancora di ricordare che le stime economiche dei «beni» ambientali rappresentano solo *una* misura del valore che la società attribuisce all'ambiente. Va sottolineato che *il paradigma economico è intrinsecamente incapace di prendere in conto importanti ed intangibili valori sociali* poichè questi non possono essere misurati in termini economici.

Ispra, Novembre 1990

## BIBLIOGRAFIA

- [1] J. HOLDREN, *Environmental Impacts of Energy Production and Use: A Framework for Information and Analysis*, in W. Hogan, ed. Energy Information, Institute for Energy Studies, Stanford University, Palo Alto, December 1978.
- [2] OECD, *Environmental Policy Benefits: Monetary Valuation*, Paris 1989.
- [3] R. OTTINGER, N. ROBINSON, S. BABB, D. WOOLEY, D. HODAS, S. BUCHANAN, P. CHERNICK, E. CAVERHILL, J. MELTZER, A. KRUPNICK, W. HARRINGTON, S. RADIN, *Environmental Externality Costs from Electric Utility Operations*, New York State Energy Research and Development Agency, Albany, and U.S. Department of Energy, Washington, DC., February 1990.
- [4] ECO Northwest et al., *Final Report: Economic Analysis of the Environmental Effects of the Coal-Fired Electric Generator at Boardman, OR*, Bonneville Power Administration, Portland, December 1983.
- [5] ECO Northwest et al., *Economic Analysis of the Environmental Effects of the Combustion-Turbine Generating Station at Fredrickson Industrial Park, Pierce County, WA: Final Report*, Bonneville Power Administration, Portland, March 1984.
- [6] F. KRAWIEC, *Economic Measurement of Environmental Damages*, Solar Energy Research Institute, Golden, May 1980.
- [7] R. MENDELSON, *An Economic Analysis of Air Pollution from Coal-Fired Power Plants*, in «Journal of Environmental Economics and Management», 7:30-43, 1980.
- [8] P. CHERNICK, E. CAVERHILL, *The Valuation of Externalities from Energy Production, Delivery, and Use, Fall, 1989 Update*, Boston Gas Company, Boston, December 1989.
- [9] O. HOHMAYER, *Social Cost of Energy Consumption*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, West Germany, 1989.
- [10] ECO Northwest et al., *Generic Coal Study: Quantification and Valuation of Environmental Impacts*, Bonneville Power Administration, Portland, January 1987.
- [11] S. BUCHANAN, *Costs of Mitigation, Greenhouse Effect for Generic Coal, Oil, and Gas-Fuel Plants*, Bonneville Power Administration, Portland, non pubblicato, 1989.
- [12] REICHMUTH, ROBINSON, *Carbon Dioxide Offsets*, Pacific Power and Lights, 1989.
- [13] D. DUDEK, *Offsetting New CO<sub>2</sub> Emissions*, Environmental Defense Fund, Washington, DC., September 1989.
- [14] H. AKBARI et al., *The Impact of Summer Heat Islands on Cooling Energy Consumption and CO<sub>2</sub> Emissions*, atti del convegno 1988 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, American Council for an Energy Efficient Economy, Washington, DC, 1988.
- [15] G. SCHILDBERG, G. NAHIGIAN, W. MARCUS, *Valuing reductions in air emission and incorporation into Electric Resource Planning*, JBS Energy for Independent Energy Producers, Sacramento, Calif. USQA, August 1989.
- [16] US Department of Energy, Fossil Energy (DOE), *Innovative Clean Coal Technology: Programmatic Environmental Impact Analysis*, elaborato da Oak Ridge National Laboratory, September 1988.
- [17] US Department of Energy, Office Environmental Protection, Safety and Emergency Preparedness (DOE), *Energy Technology Characterizations Handbook: Environmental Pollution and Control Factors*, elaborato con Aerospace Corporation and Muller Associates, Inc. DOE/EP-009, Washington, D.C., 1983.
- [18] Bonneville Power Administration (BPA/ECO), *Estimating Environmental Costs and Benefits for Five Generating Resources, Final Report*, elaborato da ECO Northwest et al., Portland, March 1986.
- [19] J. HOLDREN, *Integrated Assessment for Energy-Related Environmental Standards: A Summary of Issues and Findings*, LBL-12779, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, October 1980.

