

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTA' DI INGEGNERIA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

**L'EFFETTO RIMBALZO NELLE POLITICHE PER
L'EFFICIENZA ENERGETICA**

**THE REBOUND EFFECT IN ENERGY EFFICIENCY
POLICIES**

Relatore : Prof. Arturo Lorenzoni
Laureando : Marco Tarabotti

Anno accademico 2009/2010

Indice

1	Introduzione	5
1.1	L'efficienza energetica.....	7
1.2	L'intensità energetica.....	9
1.3	Aspetti generali dell'effetto rimbalzo.....	13
2	Il paradosso di Jevons	15
3	Classificazione dell'effetto rimbalzo	18
4	Analisi economica dell'effetto rimbalzo diretto	22
4.1	L'effetto rimbalzo diretto per i consumatori.....	22
4.1.1	Rappresentazione grafica dell'effetto rimbalzo diretto per i consumatori	24
4.2	L'effetto rimbalzo diretto per i produttori	28
4.2.1	Rappresentazione grafica dell'effetto rimbalzo diretto per i produttori.....	29
5	Analisi economica dell'effetto rimbalzo indiretto (per i consumatori)	33
6	Stimare l'effetto rimbalzo diretto	36
6.1	Fonti di distorsione nella stima dell'effetto rimbalzo diretto.....	38
6.2	Stime dell'effetto rimbalzo diretto.....	41
6.3	Possibili margini di miglioramento degli studi sull'effetto rimbalzo diretto.....	45
7	IEA – efficiency policies	47
7.1	Uno degli aspetti di maggiore criticità in efficienza energetica: l'effetto rimbalzo secondo l'IEA.....	55
8	Conclusioni	62
9	Bibliografia	65

Introduzione

L'evoluzione della tecnologia e i miglioramenti tecnici fanno parte della storia dell'uomo.

Il loro fine è quello di migliorare la qualità o di aumentare la quantità del servizio reso, o più precisamente, disponibile grazie ad un certo processo di conversione o di utilizzo dell'energia.

Come è possibile osservare nella quasi totalità dei casi, anche in questo campo lo stimolo principale che spinge ad un'evoluzione tecnica mirata ad un migliore utilizzo dell'energia è indubbiamente l'aspetto economico: il risparmio di energia si traduce in minori esborsi nell'arco di vita del generico sistema (una o più apparecchiature).

Solamente negli ultimi decenni ha preso piede un altro stimolo, ben più nobile ma meno redditizio e spesso scomodo, ovvero il problema delle emissioni di gas inquinanti nell'atmosfera, ed in particolare di quelli ad effetto serra.

Indubbiamente le attività umane alterano l'equilibrio naturale dell'ecosistema; questo è stato dimostrato da diversi studi effettuati da agenzie che si occupano dello studio del cambiamento climatico.

Da questi emerge un netto legame tra la temperatura terrestre e la concentrazione di gas effetto serra in termini di CO₂ equivalente (non tutti i gas hanno lo stesso impatto sotto questo punto di vista).

Attualmente la concentrazione di CO₂ in atmosfera è di 380 ppm.

In particolare, secondo questi studi, l'aumento della temperatura sarebbe diventato particolarmente rilevante, se paragonato con l'andamento dell'ultimo millennio, all'inizio nel ventesimo secolo, proprio in corrispondenza dell'inizio della diffusione in modo massiccio e globale delle attività umane di tipo industriale.

Questo sviluppo tecnologico sarebbe sufficiente ad abbassare i consumi di energia, e quindi le emissioni in atmosfera, se la domanda servizi rimanesse costante: sarebbe necessaria meno energia per coprire la stessa domanda.

Tuttavia il legame tra progresso tecnologico e risparmio di energia non è così forte ed immediato.

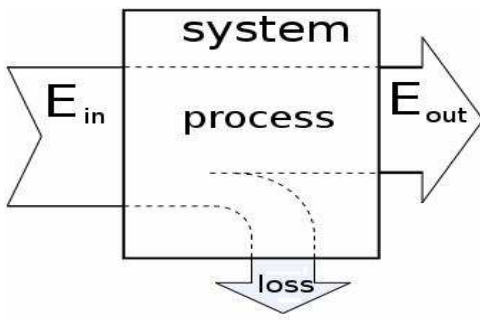
Intervengono diversi fenomeni che tendono a disaccoppiarli: un aumento della domanda di servizi può senza dubbio modificare la richiesta di energia nel modo non voluto, arrivando a superare quella richiesta prima dell'attuazione dei miglioramenti tecnici.

Anche i comportamenti e le abitudini di vita si adattano alla disponibilità economica per cui non rimangono fissate ad un valore standard ma tendono ad aumentare nel tempo.

A questo punto risulta essere molto interessante analizzare quale sia il reale potenziale del progresso tecnologico nella riduzione dei consumi, e capire come un legame che, in prima approssimazione, sembra così immediato, sia in realtà ben più complesso e ricco di sfumature dettate in particolare da un fenomeno di ritorno dei consumi di energia detto “effetto rimbalzo”.

Prima di discutere su cause, conseguenze ed entità dell’effetto rimbalzo nelle politiche per l’efficienza energetica è necessario introdurre alcuni concetti generali ma necessari nell’analisi dell’effetto rimbalzo: efficienza energetica ed intensità energetica .

1.1 L'efficienza energetica



E_{in} = energia in ingresso

E_{out} = energia in uscita

E_d = energia degradata

Per ogni processo vale:

$$E_{in} = E_{out} + E_d$$

E_d

Se si considera l'energia degradata come inutilizzabile:

$$\eta = \frac{E_{out}}{E_{in}} = \frac{E_{in} - E_d}{E_{in}} = 1 - \frac{E_d}{E_{in}}$$

Una qualunque trasformazione di energia comporta una forma finale meno pregiata della forma iniziale. Più precisamente, la forma finale è quella con cui si può utilizzare in modo più efficace l'energia in ingresso, ma una parte di questa diventa energia degradata.

L'efficienza energetica di un sistema, sia esso di taglia industriale, sia che ci si riferisca a strutture civili ed abitative, rappresenta la capacità di sfruttare l'energia ad esso fornita per soddisfarne il fabbisogno. Minori sono i consumi relativi al soddisfacimento di un determinato fabbisogno, migliore è l'efficienza energetica della struttura.

Definire quindi l'efficienza energetica di un sistema può risultare complesso, a causa della varietà di apparati che lo compongono e della loro configurazione. Cosa significa quindi migliorare l'efficienza energetica di un paese?

Tra gli obiettivi dell'Unione Europea al 2020 ci sono (*fonte www.rinnovabili.it*):

- + 20% dell'efficienza energetica: non significa che tutte le apparecchiature debbano essere il 20% più efficienti. Certamente questo è un mezzo per raggiungere il risultato, ma si fa riferimento ad un parametro detto "intensità energetica primaria" (argomento trattato nel paragrafo successivo);
- + 20% di energia rinnovabile nella composizione del mix degli usi finali;
- - 20% di emissioni di CO₂ rispetto alle emissioni di oggi.

Queste non sono 3 variabili indipendenti: se si riuscisse a soddisfare pienamente i primi 2 obiettivi, il risultato finale, in termini di emissioni di CO₂, sarebbe una riduzione ben superiore al 20% fissato dal terzo punto.

Questo a meno che i consumi al 2020 non aumentino in modo tale che nemmeno il pieno soddisfacimento dei primi 2 punti comporterebbe una riduzione del 20% delle emissioni di CO₂.

Il primo intervento per migliorare l'efficienza energetica è implementare un'apparecchiatura che svolge la trasformazione desiderata con una che utilizza il più possibile l'energia che prima era denominata "degradata" in quanto non utilizzata.

Nel settore dell'industria un esempio è la *cogenerazione*: nella combustione necessaria per produrre elettricità si utilizza il calore del vapore in uscita dalla turbina dopo l'espansione nella stessa per fornire energia termica ad uno stabile industriale, molto agevole in quanto si consuma in una zona concentrata magari vicina al punto di produzione.

Nel settore civile questa tecnica può essere adottata per realizzare impianti di teleriscaldamento distribuendo il vapore in un ampio insieme di usi residenziali.

1.2 Intensità energetica

$$I = \frac{\text{Total Primary Energy}}{\text{GDP}}$$

L'intensità energetica (energy intensity) di un Paese è il rapporto tra la totale energia primaria consumata e il prodotto interno lordo.

La prima è solitamente espressa in tep (tonnellate equivalenti petrolio). L'energia consumata è sempre maggiore degli usi finali in quanto una parte della prima viene dissipata in perdite inevitabili, anche se a volte esiste un margine di riduzione delle stesse, nei processi di trasformazione da energia primaria ad energia secondaria.

Per esempio, nel 2007 a livello mondiale il consumo è stato di 12 Gtep mentre gli usi finali ammontavano a 8.4 Gtep (fonte WEO 2009-sintesi_italian).

Per riportare ogni tipo di energia in termini confrontabili, ovvero in tep, si ricorre a delle convenzioni a seconda del tipo di energia e del processo con cui questa è stata prodotta.

(fonti convenzioni IEA per il calcolo dell'energia primaria dall'energia elettrica prodotta:

IEA Statistics – Questionnaire Centre – “What are the methods of calculation of primary energy equivalent?”;

World Energy Outlook – 1998 Edition – “Power Generation - Electricity Generation”)

In particolare, per l'energia elettrica le convenzioni sono le seguenti:

- per centrali termoelettriche convenzionali, l'energia primaria viene calcolata dividendo l'energia prodotta (kWh) per l'effettivo rendimento dell'impianto;
- per l'elettricità da fonti rinnovabili (esclusa la fonte geotermica e le biomasse), l'energia primaria è posta pari all'energia elettrica prodotta, ovvero si assume un rendimento unitario anche se nella realtà non è esattamente così; se considerassimo tutti i cicli naturali coinvolti grazie ai quali è possibile raccogliere l'energia sottoforma di acqua in un bacino naturale o che fanno in modo che la radiazione solare raggiunga la superficie terrestre, il rendimento sarebbe ben più basso in quanto i processi naturali hanno rendimento nell'ordine del ‰;
- per le centrali nucleari, si considera l'energia primaria pari a 3 volte quella generata dalla centrale: il tutto avviene come se la centrale nucleare fosse assimilabile ad una centrale termoelettrica convenzionale con rendimento del 33% (media delle centrali nucleari in Europa);

- per l'energia elettrica prodotta da fonte geotermica, l'energia primaria viene ricavata come per le centrali nucleari, assumendo però un rendimento del 10%.

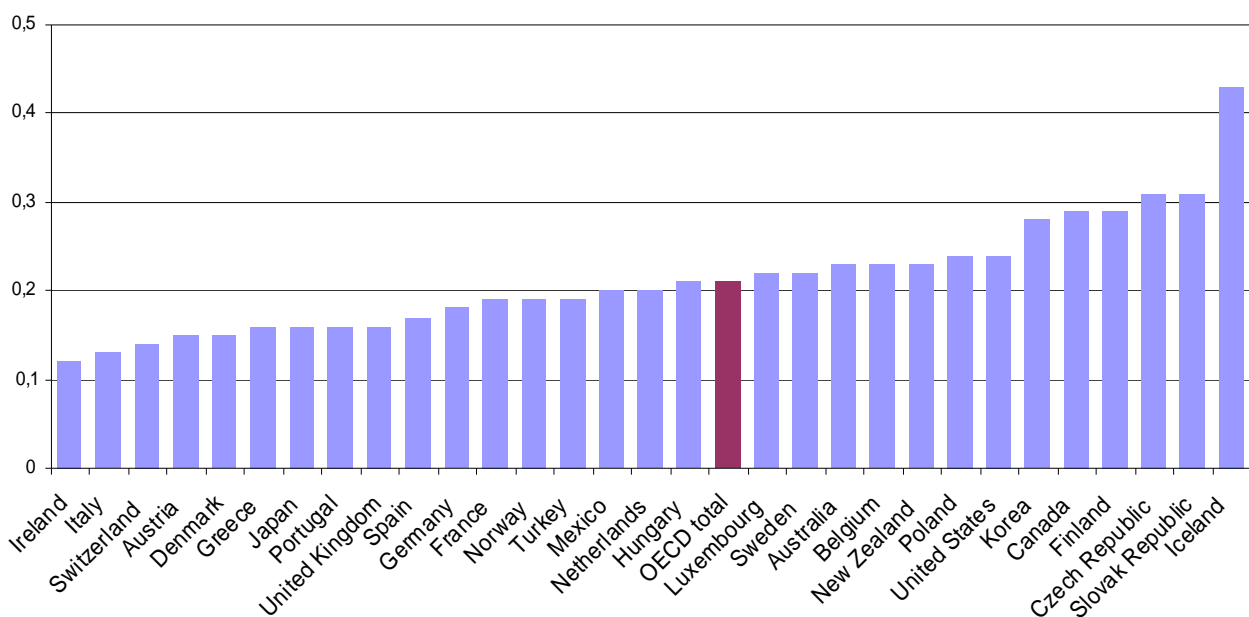
Il prodotto interno lordo (GDP, gross domestic product) è definito invece come la ricchezza prodotta per produzione e scambi in un paese. Comprende sia i beni che i servizi e, in prima approssimazione, può essere considerato un indice dello sviluppo di un paese. Tuttavia influiscono in modo molto rilevante anche altri fattori come il livello della conoscenza e l'aspettativa di vita.

Per rendere confrontabili i PIL di diverse nazioni si riferiscono tutti ad una moneta scelta convenzionalmente (in figura, dollari americani dell'anno 1995) e si riportano a parità di potere d'acquisto (PPP, purchasing power parity) per tenere conto sia della svalutazione, sia del tasso di cambio nei confronti dell'altra moneta.

L'intensità energetica può ovviamente essere riferita ad un singolo paese ma anche ad un agglomerato di paesi ottenendo così un valore medio degli stessi.

Total primary energy supply per unit of GDP

Tonnes of oil equivalent (toe) per thousand 1995 US dollar of GDP calculated using PPPs, 2003 (fonte OECD FACTBOOK 2005 – ISBN 92-64-01869-7 – © OECD 2005)



I paesi sviluppati hanno valori mediamente compresi tra 0.12 e 0.16, almeno quelli più virtuosi.

Poi ci sono paesi come la Francia (0.19) che hanno intensità energetica maggiore, cioè consumano di più.

Tuttavia, come già detto, l'energia primaria viene conteggiata secondo delle convenzioni e pertanto, in certi casi, anche queste possono influire sul risultato finale: se cambiassimo le convenzioni avremmo sicuramente dei valori di intensità energetica diversi.

Nel caso della Francia, se il nucleare fosse conteggiato come fonte rinnovabile (rendimento unitario), la sua intensità energetica sarebbe senza dubbio inferiore.

Secondo questo grafico l'Italia è ben posizionata.

Se il livello attuale è già buono apportare grandi miglioramenti in futuro risulterà essere molto difficile.

Ridurre del 20% l'intensità energetica non sarà facile: il paese deve crescere e disaccoppiare ulteriormente crescita economica e consumo di energia primaria.

E' appunto questa la vera sfida di ogni paese, cioè riuscire a recuperare gli sprechi in modo da crescere senza aumentare la domanda di energia primaria.

Numerose apparecchiature con rendimenti diversi possono avere un impatto sull'intensità energetica di un paese.

Senza dubbio un paese in cui le apparecchiature sono generalmente a bassissima efficienza energetica ha un'intensità energetica più alta rispetto ad un paese in cui le apparecchiature sono generalmente ad efficienza energetica elevata.

Non sempre il rapporto tra le intensità energetiche coincide con il rapporto delle rispettive efficienze perché intervengono fattori diversi di natura comportamentale dettati per esempio da particolari posizioni geografiche che aumentano la necessità di trasporto, o particolari condizioni climatiche che aumentano la necessità di riscaldamento o condizionamento dei locali.

L'intensità energetica può subire variazioni anche a causa di accadimenti come il trasferimento all'estero di stabilimenti industriali oppure, a parità di PIL, a causa di variazioni dei consumi stagionali rispetto alla media del periodo dovuti per esempio ad un inverno particolarmente rigido.

Possiamo dire perciò che la variazione dell'efficienza energetica è legata all'intensità energetica ma intervengono una serie di cambi strutturali e fattori comportamentali che impattano moltissimo sul valore dell'intensità energetica.

Quindi l'intensità energetica di un paese può variare (nei 2 casi suddetti, rispettivamente diminuire o aumentare) senza che vengano necessariamente effettuati interventi sulle apparecchiature che modifichino la loro efficienza energetica.

1.3 Aspetti generali dell'effetto rimbalzo

Precisati brevemente i concetti di efficienza ed intensità energetiche possiamo dare un spiegazione più precisa dell'effetto rimbalzo, ancora comunque in termini generali e in modo qualitativo.

Il miglioramento dell'efficienza energetica può in realtà aumentare il consumo energetico globale (fenomeno noto anche come 'backfire'). Anche dal punto di vista dei cambiamenti climatici, l'effetto globale è una questione di fondamentale interesse. Tuttavia, i meccanismi coinvolti sono complessi, interdipendenti e di difficile concettualizzazione; pertanto l'entità di questo effetto è estremamente difficile da stimare empiricamente.

Gli autori che nel tempo si sono affermati come i maggiori sostenitori di questa tesi sono William Stanley Jevons, Len Brookes e Harry Saunders (1992). E' stato proprio Saunders ad introdurre il termine “Khazzoom-Brookes (K-B) postulat” , ossia:

“ with fixed real energy prices, energy efficiency gains will increase energy consumption above what it would be without these gains. ” (Saunders, 1992)

Questi autori hanno usato un mix di argomentazioni teoriche e suggestive prove empiriche per sostenere la propria causa, ovvero che l'efficienza energetica possa costituire un incentivo al consumo di energia nel caso in cui il prezzo della stessa non subisca alcuna variazione o si riduca.

Tuttavia, esistono anche una serie di altre motivazioni di discussione basate in particolare sul rapporto tra energia e crescita economica. La disputa sull'entità dell'effetto rimbalzo a livello globale è quindi destinata a diventare una questione molto più ampia di quanto essa possa apparire ai nostri occhi.

Nonostante la vastità della letteratura centrata sul fenomeno trattato, sono molto pochi gli studi esaminati che forniscono stime quantitative sull'entità dell'effetto rimbalzo globale. Infatti, la grande maggioranza degli studi (alcuni saranno citati in seguito) non fa riferimenti espliciti all'effetto rimbalzo ma invece fornisce prove su diverse questioni quali l'importanza dell'energia nella crescita economica di un paese. Inoltre, gran parte di queste dimostrazioni sono spesso in contrasto con le tradizionali prese di posizione dei responsabili politici e degli analisti energetici.

Quindi, l'obiettivo di tutti gli studi che riguardano crescita economica, il suo legame con la disponibilità di energia e possibili interventi di politica energetica, dovrebbe essere quello di esaminare sia i punti di forza che quelli di debolezza delle tesi sostenute dalla letteratura e la misura in cui essa può essere utilizzata.

Emergono quindi, quasi automaticamente, la fragilità e i limiti di accuratezza della maggior parte degli studi quando questi debbano essere così estesi come quelli del settore energetico, in quanto dipendono fortemente dalle ipotesi semplificative scelte per rendere possibile lo studio tramite l'uso di uno o più modelli, ma anche dalla variabilità di queste imposizioni iniziali al variare delle aree considerate, che spesso devono essere molto estese anche geograficamente per consentire un'analisi del problema in un contesto il più globale possibile.

Interviene inoltre anche una forte componente comportamentale intrinsecamente caratteristica di una società piuttosto che un'altra e si introduce quindi un'ulteriore variabilità.

Oltre all'obiettivo vero e proprio, cioè la conoscenza il più possibile dettagliata dell'effetto rimbalzo, si possono anche successivamente considerare obiettivi socialmente utili, come può esserlo il chiarimento a titolo informativo degli aspetti teorici coinvolti nell'analisi del fenomeno, rendendo i concetti accessibili, per quanto possibile, ad un pubblico non tecnico e quindi sensibilizzando la collettività a questioni che apparentemente possono sembrare lontane dalla vita comune, ma dalle quali proprio il nostro stile di vita è fortemente influenzato .

Il paradosso di Jevons

Questo consiste nel punto di partenza di ogni discussione legata all'efficienza energetica e all'evoluzione dei consumi.

L'economista inglese William Stanley Jevons (1835-1882) fu il primo studioso ad analizzare l'evoluzione della produzione energetica inglese e dei relativi consumi cercando un possibile legame con i miglioramenti tecnologici dell'epoca.

Secondo Jevons, ogni miglioramento dell'efficienza nei processi di produzione si tramuterebbe in una produzione energetica ancor maggiore, tanto maggiore da implicare un consumo di materie prime superiore a quello precedente.

Nello specifico, Jevons rilevò che la maggior efficienza nei processi di produzione dal carbone non si tradusse in una riduzione, ma piuttosto in un aumento del consumo di carbone grezzo.

L'analisi di Jevons fu sintetizzata in quello che ancora oggi è conosciuto come “ il paradosso di Jevons”: il miglioramento dell'efficienza dei processi di trasformazione farebbe aumentare il consumo di materie prime.

Nonostante la denominazione attribuita all'enunciato, non si tratta di un paradosso ma, specificamente nel settore economico, costituisce una vera e propria teoria attualmente sostenuta.

Il paradosso è enunciato nel libro del 1865, “*The Coal Question*”, dove Jevons osservò che il consumo inglese di carbone crebbe dopo che James Watt introdusse il motore a vapore (alimentato a carbone), il quale migliorò notevolmente l'efficienza del precedente motore di Newcomen. Le innovazioni di Watt resero il carbone una fonte di energia più redditizia, cosa che condusse ad un suo maggiore utilizzo in una vasta gamma di processi produttivi soprattutto nel pompaggio di acqua nelle miniere abbassando il costo di estrazione del carbone stesso.

Il consumo totale di carbone aumentò, anche se nel frattempo la quantità di carbone richiesta per produrre il medesimo lavoro era diminuita.

In un passo spesso citato egli sostiene che:

“... it wholly a confusion of ideas to suppose that the economical use of fuel is equivalent to a diminished consumption. The very contrary is the truth.....Every...improvement of the engine when effected will only accelerate anew the consumption of coal...”

Quest'aumento della domanda di combustibile è derivato in parte dall'espansione degli usi già esistenti e in parte dallo sviluppo di nuovi utilizzi.

Jevons cita l'esempio delle industrie di ferro scozzesi:

"..... the reduction of the consumption of coal, per ton of iron, to less than one third of its former amount, has been followed....by a tenfold increase in total consumption, not to speak of the indirect effect of cheap iron in accelerating other coal consuming branches of industry..."

Un'importante applicazione era quella del pompaggio dell'aria calda negli altiforni, aumentando così la temperatura di funzionamento e riducendo quindi la quantità di carbone necessaria per la produzione del ferro. Tutto questo si traduce in un aumento dell'efficienza del processo produttivo e quindi una riduzione del costo del ferro stesso.

La riduzione del costo del ferro a sua volta ridusse il costo dei motori a vapore dando origine ad un ciclo retroazionato in continua evoluzione rappresentato schematicamente dalla figura che segue.

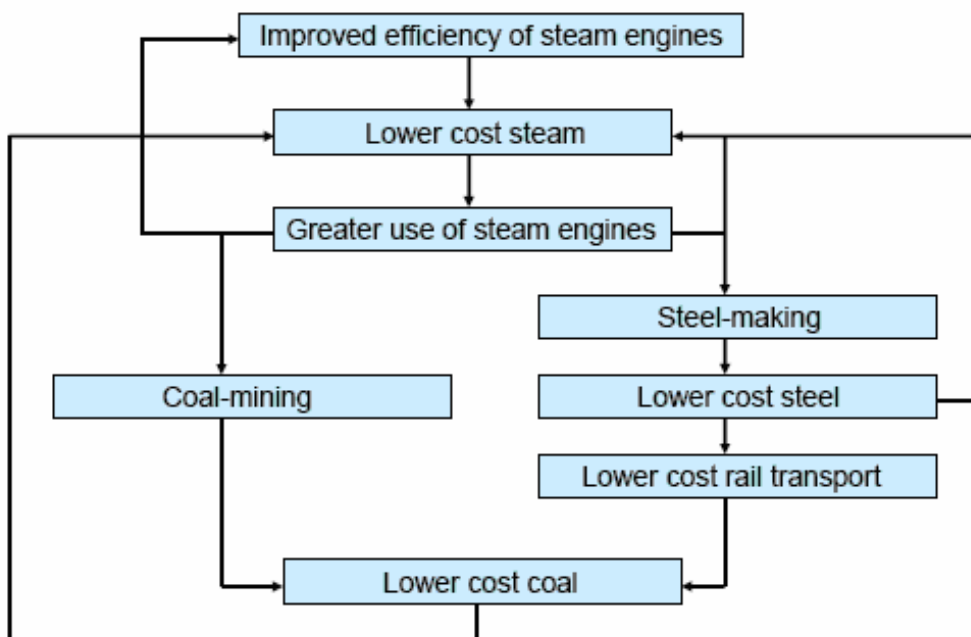


Figura 2.1 Rappresentazione ciclica dell'effetto rimbalzo nell'utilizzo del vapore prodotto da carbone

Come già detto l'aumento di efficienza si traduce in una diminuzione di costi che, in genere, porta ad un aumento dei consumi. Se tale aumento avvenga o meno dipende però dall'**elasticità della domanda** :

nell'ipotesi che la domanda sia abbastanza **rigida**, una variazione del prezzo non indurrà sensibili variazioni nel consumo dell'output (ferro), e quindi indurrà una diminuzione del consumo dell'input (carbone) rendendo effettivamente concreto ed utile l'intervento di efficienza energetica; in queste condizioni però è altrettanto vero che una piccola riduzione della quantità di carbone consumata grazie all'aumento dell'efficienza energetica causa una grande variazione del prezzo.

Viceversa, se la domanda fosse **elastica**, una riduzione anche piccola del prezzo provocherebbe un significativo aumento nel consumo dell'output (ferro). Si tratta di quello che viene chiamato “**rebound effect**” o “**effetto rimbalzo**”.

Contrariamente a quanto accade in presenza di domanda elastica, con domanda rigida questa varia molto poco e l'effetto rimbalzo non si verifica.

Tale meccanismo attraverso il quale il miglioramento dell'efficienza energetica stimola nuovi impieghi dei prodotti è stato anche citato da Rosenberg (1989) con riferimento al “Bessemer process”, il quale fu il primo processo industriale a basso costo per la produzione di massa dell'acciaio, caratterizzato anche da notevole velocità.

Prende il nome dal suo inventore, Henry Bessemer, che prese il brevetto sul processo nel 1855.

Classificazione dell'effetto rimbalzo

In letteratura esistono vari tipi di effetto rimbalzo:

- Diretto - aumento della domanda per lo stesso servizio.
- Indiretto - sostituzione o effetti sul reddito.
- Macro - economy - wide.

L'effetto rimbalzo diretto dipende dall'elasticità del prezzo ed è spesso affrontato con studi empirici.

Mentre l'effetto diretto riguarda principalmente il prezzo dei servizi energetici e la variazione della domanda di energia in seguito alla fluttuazione del prezzo, l'effetto indiretto riflette sulla domanda di energia i cambiamenti causati da una nuova disponibilità di reddito dovuta alla riduzione dei costi grazie ad un aumento dell'efficienza energetica.

Quest'ultimo tipo si riferisce pertanto all'elasticità di sostituzione dei fattori ed è difficilmente distinguibile, empiricamente, da altri fattori di reddito.

L'effetto rimbalzo diretto si riferisce principalmente a servizi energetici individuali, come il riscaldamento e l'illuminazione, e si limita spesso all'energia necessaria per fornire tali servizi.

Quello indiretto invece si riferisce all'energia necessaria per fornire altri beni e servizi, il cui consumo è influenzato dal miglioramento dell'efficienza energetica.

Infine il macro effetto dipende dall'elasticità di sostituzione di fattori a lungo termine e adeguamenti globali.

Questo rappresenta la somma degli effetti diretti e indiretti ed è normalmente espresso come percentuale dei risparmi energetici previsti dal miglioramento dell'efficienza energetica.

Di conseguenza, un effetto di rimbalzo del 100% significa che il risparmio energetico atteso è stato interamente compensato, portando a zero il risparmio netto.

L'effetto rimbalzo totale quindi può essere visto come la somma di effetti diretti ed indiretti. Per i miglioramenti dell'efficienza energetica da parte dei consumatori, è utile scomporre l'effetto rimbalzo diretto in:

- a) un effetto di **sostituzione**, per cui il consumo più economico di servizi energetici sostituisce il consumo di altri beni e servizi, pur mantenendo un livello costante di 'utilità', o di soddisfazione dei consumatori.
- b) un effetto di **reddito**, per cui l'aumento del reddito reale conseguito con il miglioramento dell'efficienza energetica consente un livello di utilità superiore aumentando il consumo di tutti i beni e servizi, compreso quello energetico.

Allo stesso modo, l'effetto rimbalzo diretto per i produttori può essere suddiviso in:

- a) un effetto di **sostituzione**, per cui un servizio energetico più economico sostituisce l'uso di capitali, manodopera e materiali pur ottenendo un livello costante di produzione.
- b) un effetto di **output**, per cui la riduzione dei costi dovuta al miglioramento dell'efficienza energetica consente un aumento del livello di produzione (output) e quindi, necessariamente, anche un aumento del consumo di tutti gli ingressi, compresi i servizi energetici.

E' anche utile scomporre l'effetto rimbalzo indiretto in:

- a) energia **incorporata**, cioè il consumo di energia indiretta necessario per realizzare il miglioramento dell'efficienza energetica, come ad esempio l'energia necessaria per produrre ed installare pannelli destinati a migliorare l'isolamento termico degli edifici: questo consumo di energia inglobato nelle apparecchiature andrà a compensare in parte il risparmio energetico conseguito.
- b) effetti **secondari**, che risultano essere delle conseguenze del miglioramento dell'efficienza energetica che includono i meccanismi elencati di seguito:
 - I consumatori possono utilizzare il risparmio del reddito ottenuto grazie al miglioramento dell'efficienza energetica per l'acquisto di altri beni e servizi i quali, per la loro fornitura, richiedono energia. Per esempio, il risparmio sui costi dell'energia può essere destinato al conseguimento di una vacanza all'estero.

- I produttori possono utilizzare le risorse economiche risparmiate grazie al miglioramento dell'efficienza energetica per aumentare la produzione, aumentando così il consumo di capitale, il lavoro e i materiali in ingresso che richiedono energia per la fornitura. Se i miglioramenti dell'efficienza energetica sono estesi ampiamente nel settore, possono portare a prezzi dei prodotti più bassi. Il conseguente aumento del consumo di prodotti sarà la causa di ulteriori aumenti dei consumi energetici.
- Gli interventi cost-effective di efficienza energetica aumenteranno la produttività complessiva dell'economia, incoraggiando così la crescita economica. L'aumento del consumo di beni e servizi a loro volta può far crescere i consumi energetici.
- Riduzioni su vasta scala della domanda di energia potrebbero tradursi in una riduzione dei prezzi dell'energia che incoraggerebbe l'aumento del consumo di energia. La riduzione dei prezzi dell'energia aumenterà anche il reddito reale, incoraggiando così gli investimenti e generando un ulteriore stimolo a produzione e consumo energetici.
- Sia il miglioramento dell'efficienza energetica che la riduzione del prezzo dell'energia associata, ridurranno il prezzo dei beni e servizi energy-intensive (ad alta intensità di energia) in misura maggiore rispetto ai beni e servizi non-energy intensive, incoraggiando in tal modo la domanda dei consumatori a spostarsi verso la prima categoria.

Viene riportata di seguito una rappresentazione schematica del suddetto sistema di classificazione.

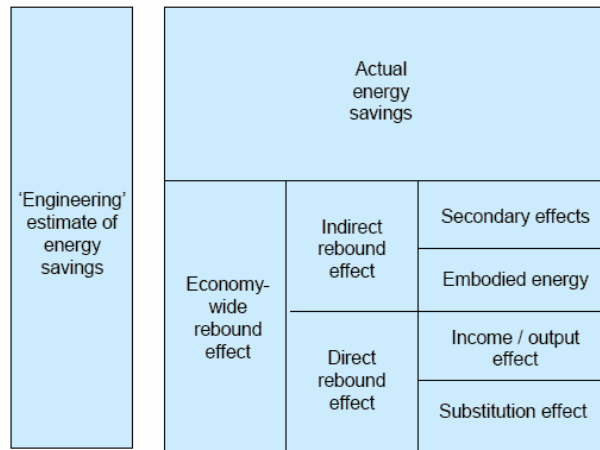
La dimensione relativa di ciascun effetto può variare notevolmente da una circostanza ad un'altra e in alcuni casi, i singoli componenti del effetto rimbalzo possono essere negativi.

Per esempio, se un servizio energetico è un " *inferior good* " *, l'effetto di reddito per i consumatori, può portare al minor consumo di tale servizio, piuttosto che aumento dei consumi.

Questo è teoricamente possibile perchè "the economy-wide rebound effect" può essere negativo, anche se nella pratica risulta essere molto improbabile.

Questa particolare circostanza è denominata "super conservation".

Figure 3.1 Classification of rebound effects



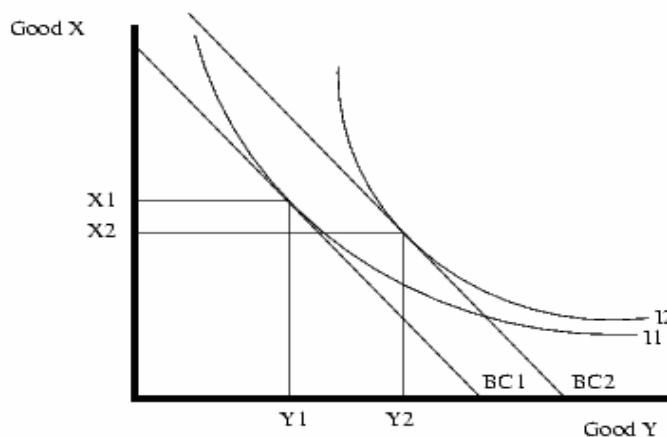
* Che cos'è un "inferior good"?

Un "inferior good" è un bene che vede ridurre la propria domanda quando il reddito dei consumatori aumenta: per un bene normale accade esattamente il contrario.

L'inter-city bus è un "inferior good": si tratta di un mezzo di trasporto molto più economico dell'aereo o della ferrovia ma richiede uno spreco di tempo maggiore.

Quando la disponibilità economica è modesta viaggiare in autobus è una soluzione accettabile, ma quando il reddito aumenta si può essere in condizioni tali da rivedere l'importanza data al tempo e può diventare preferibile un trasporto più rapido.

Figure 3.2 Indifference curves with budget constraint between good X (inferior good) and good Y (normal good)



source: article "Consumer theory"

Il bene Y è un bene normale in quanto l'importo acquistato aumenta da Y1 a Y2 se la disponibilità di reddito aumenta da BC1 a BC2. Il bene X è un "inferior good" poiché l'importo acquistato decresce da X1 a X2 con lo stesso aumento del reddito.

Analisi economica dell'effetto rimbalzo diretto

Segue ora un'analisi economica dell'effetto rimbalzo diretto, visto dai consumatori e dai produttori.

Riprendendo velocemente il concetto di effetto rimbalzo diretto, ricordiamo che questo riguarda principalmente il prezzo dei servizi energetici e la variazione della domanda di energia in seguito alla fluttuazione del prezzo.

4.1 L'effetto rimbalzo diretto per i consumatori

Si analizza di seguito l'effetto rimbalzo diretto per i consumatori.

Esso può essere illustrato in un semplice quadro, in cui si assume che i consumatori siano pienamente informati e perfettamente razionali e quindi agiscono per massimizzare la loro utilità.

Si assume inoltre che l'utilità sia derivata dal consumo di beni e servizi, compresi i servizi energetici (*ES, energy services*), quali il riscaldamento, la refrigerazione e la forza motrice.

I servizi energetici sono forniti attraverso una combinazione di materie prime energetiche (*E, energy commodities*) e sistemi energetici associati, compresi i dispositivi di conversione energetica.

Si assume che i consumatori traggano la loro utilità da servizi che consumano energia, piuttosto che da materie prime energetiche consumate direttamente.

Nella pratica, quasi tutti i servizi richiedono energia in qualche forma, anche se l'energia può costituire una percentuale molto piccola dei costi totali per alcuni servizi piuttosto che per altri, a seconda che si tratti di servizi "energy-intensive" o "non energy-intensive".

Una caratteristica essenziale di un servizio energetico è il lavoro utile (*S, useful work*) ottenuto, che può essere misurato con diversi di indicatori termodinamici o fisici.

Per esempio, il lavoro utile dei veicoli destinati al trasporto delle persone può essere misurato in veicoli/km o di passeggeri/km.

Ma i servizi energetici sono inoltre caratterizzati da altri fattori (che identifichiamo con la lettera "A") che possono essere combinati con il lavoro utile in modi molto diversi. Per esempio, per tutte le auto destinate al trasporto di passeggeri, il lavoro utile può variare notevolmente in funzione di fattori quali velocità, comfort, accelerazione e prestigio.

La combinazione di lavoro utile (S) con questi fattori associati (A) può essere considerato il servizio completo energetico: $ES = f(S,A)$.

Come già detto nel capitolo introduttivo, l'efficienza energetica (ε , *the energy efficiency*) di un sistema energetico è data dal rapporto tra il lavoro utile in uscita e la quantità di energia in ingresso, e si può perciò scrivere come:

$$\varepsilon = S/E$$

Sia P_e il prezzo per unità di energia (P_e , *the unit price of energy*);

allora il costo energetico del lavoro utile (P_s , *the energy cost of useful work*) è dato da:

$$P_s = P_e / \varepsilon$$

Questa è una componente del costo generalizzato del lavoro utile (P_g , *generalised cost of useful work*), che comprende anche altri costi, come ad esempio i costi di capitale attualizzati, costi di manutenzione e il costo del tempo.

Miglioramenti dell'efficienza energetica riducono il costo energetico del lavoro utile, ma possono anche influire su altri costi. In ciò che segue si presume che questi altri costi siano invariati, insieme con i fattori del servizio di energia suddetti (A).

Un miglioramento dell'efficienza energetica del sistema porta ad una riduzione del costo energetico di lavoro utile (P_s) e quindi del prezzo effettivo di lavoro utile.

Di conseguenza, i consumi di lavoro utile possono essere destinati a crescere.

La risposta a questa riduzione di prezzo può essere illustrata graficamente, utilizzando le “*indifference curves*”, che rappresentano diverse combinazioni di beni o servizi a cui un consumatore è ritenuto indifferente:

ovvero in ogni punto di una curva di indifferenza, il consumatore non ha alcuna preferenza per una combinazione di beni piuttosto che un'altra, in modo che ogni punto preveda lo stesso livello di utilità, o soddisfazione.

L'analisi poggia su una serie di ipotesi semplificative standard per quanto riguarda le curve di indifferenza ed il comportamento dei consumatori, tra cui completezza, transitività, non-sazietà, la continuità e convessità rigorosa (in un intervallo un segmento che unisce due punti del grafico si trova interamente sopra al grafico della funzione).

Dopo avere denominato alcune grandezze (ES, E, S, A, P_e) e di conseguenza avere definito qualche parametro (ε , P_s), possiamo procedere dando una rappresentazione grafica dell'effetto rimbalzo diretto per i consumatori.

4.1.1 Rappresentazione grafica dell'effetto rimbalzo diretto per i consumatori

Nella Figura 4.1, le curve U_1 e U_2 rappresentano curve di indifferenza tra il consumo di lavoro utile per un particolare servizio energetico (S) e il consumo di un altro bene o servizio (Z).

A titolo illustrativo, per un'automobile privata il lavoro utile può essere espresso in passeggeri/km, mentre l'altro servizio può essere un pasto al ristorante.

Inoltre il consumatore è inizialmente propenso a spendere tutto il suo reddito (Y , *income*) su S e Z e le spese non energetiche del servizio di energia sono considerate pari a zero.

Il segmento S_0 - Z_0 rappresenta il vincolo di bilancio del consumatore, ovvero il reddito (Y).

Se P_s rappresenta il costo energetico di una unità di lavoro utile e P_z rappresenta il prezzo unitario dell'altro servizio, il vincolo di bilancio può essere espresso come:

$$Y \geq P_s S_0 + P_z Z_0$$

La pendenza della curva di bilancio è quindi pari a (P_s / P_z) .

Ad un estremo, il consumatore può scegliere di consumare un lavoro utile pari a S_0 e nessuno degli altri servizi, mentre all'altro estremo può consumare Z_0 dell'altro servizio e nessuna quantità di lavoro utile.

Il mix di consumo ottimale è dato da (S_1, Z_1) , dove il vincolo di bilancio è tangente alla curva di indifferenza U_1 .

A questo punto, l'utilità è massimizzata e il tasso marginale di sostituzione* tra S e Z è uguale al rapporto tra i loro prezzi (P_s / P_z) .

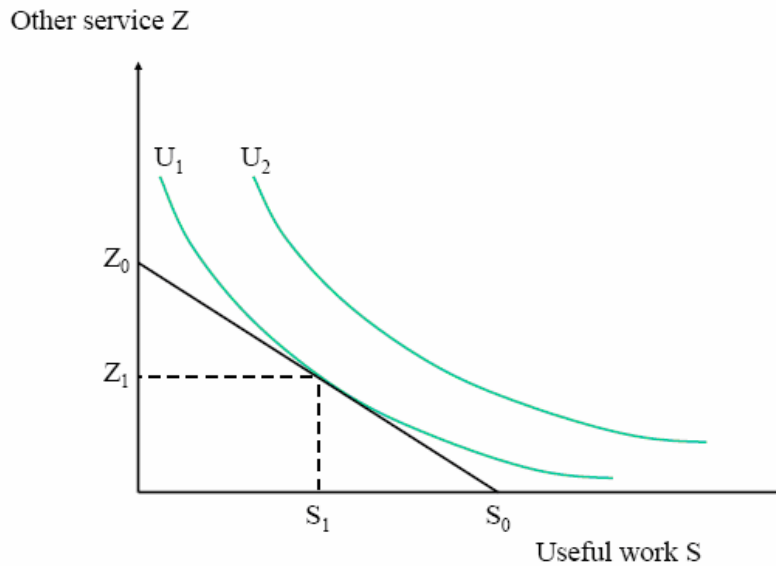
* *The marginal rate of technical substitution*

Il tasso marginale di sostituzione misura la velocità con cui un servizio può essere sostituito con un altro mantenendo costante l'utilità. Si tratta di una misura della pendenza della curva di indifferenza:

$$\left. \frac{\partial Z}{\partial S} \right|_{dU=0} = - \frac{P_z}{P_s}$$

Rappresenta quindi anche la quantità di un bene a cui si è disposti a rinunciare per ottenere un'unità aggiuntiva di un altro bene mantenendo costante l'utilità.

Figure 4.1 Trade-off between the consumption of useful work S and the consumption of another service Z



Sia $E(s)$ il consumo di energia associato a consumo di una quantità s di lavoro utile:

$$E(y) > E(x) \text{ per } y > x$$

Inoltre il livello iniziale del consumo di energia è data da $E(S_1)$.

Ora supponiamo che ci sia un miglioramento esogeno (dovuto a fattori esterni al modello considerato) dell'efficienza energetica associata all'erogazione di questo servizio.

Per esempio, supponiamo che ci sia un miglioramento del rendimento del carburante del veicolo.

Per semplicità, si ignorino i costi associati a questo miglioramento tecnico e si assumano invariati i fattori (A) associati al servizio.

Il nuovo consumo di energia associato alla quantità di lavoro utile S è data da $E^*(S)$,

dove $E^*(S) < E(S)$.

La percentuale associata a questo miglioramento dell'efficienza del carburante (ENG) dovrebbe quindi essere:

$$ENG = \frac{E(S_1) - E^*(S_1)}{E(S_1)} * 100\%$$

Tuttavia, questo sopravvaluta il risparmio energetico effettivo perché presuppone che il consumo di lavoro utile S sia invariato anche dopo il miglioramento dell'efficienza energetica.

Se i prezzi nominali delle materie prime energetiche sono invariati, il miglioramento dell'efficienza energetica ridurrà il prezzo effettivo di lavoro utile ($P_s' < P_s$) e quindi aumentano sia il consumo di lavoro utile sia l'utilità generale.

Come mostrato in Figura 4.2, se il consumatore dovesse impiegare l'intero reddito in lavoro utile, sarebbe in grado di consumare una maggiore quantità S_0' .

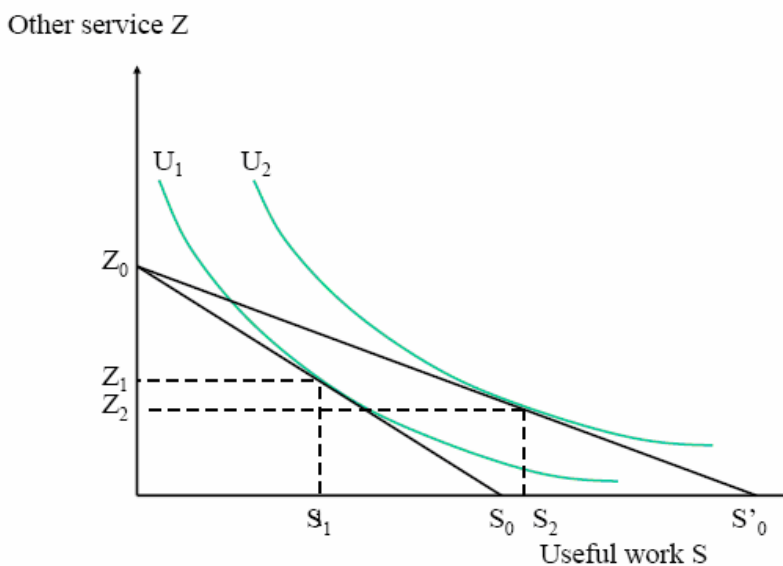
Questo può essere rappresentato da uno spostamento del segmento di retta che rappresenta il vincolo da Z_0-S_0 a Z_0-S_0' .

Nella terminologia convenzionale, il reddito reale dei consumatori è aumentato anche se il valore nominale (denaro) è rimasto invariato.

Il mix ottimale di consumo è ora dato da (S_2, Z_2) dove il nuovo vincolo è tangente alla curva di indifferenza U_2 , che rappresenta l'importo massimo di utilità che può essere ottenuta dal nuovo livello di reddito reale.

Di conseguenza, il consumo di lavoro utile è aumentato ($S_2 > S_1$), il consumo dell'altro servizio si è ridotto ($Z_2 < Z_1$) e il consumatore ottiene un maggiore livello di utilità ($U_2 > U_1$).

Figure 4.2 Change in consumption following an improvement in energy efficiency



La percentuale di risparmio effettiva del consumo di energia (ACT) è quindi data da:

$$ACT = \frac{E(S_1) - E^*(S_2)}{E(S_1)} * 100\%$$

Dato che $E^*(S_2) > E^*(S_1)$: $ACT \leq ENG$

Mentre il consumo di energia per unità di lavoro utile si è ridotto, essendo

$$\frac{E^*(S)}{E(S)} < 1$$

il consumo di lavoro utile è aumentato ($S_2 > S_1$).

Questi due effetti tendono a compensarsi tra loro, con la conseguenza che il segno di ACT è ambiguo: il miglioramento tecnologico dell'efficienza energetica può aumentare o diminuire il consumo di energia richiesto per il servizio energetico.

L'effetto rimbalzo diretto per il servizio energetico individuale (REB_d) può quindi essere definito come:

$$REB_d = \frac{ENG - ACT}{ENG} * 100\%$$

Quindi, se il risparmio effettivo è pari al risparmio stimato, allora l'effetto rimbalzo diretto è pari a zero. Mentre se il risparmio effettivo è pari a zero l'effetto rimbalzo diretto è al 100%.

Se (come è possibile) vi è un aumento del consumo di energia ($ACT < 0$), l'effetto rimbalzo diretto è $>100\%$, una situazione definita in letteratura come “backfire” (o ritorno di fiamma).

Sostituendo, si ha:

$$REB_d = \frac{(E(S_1) - E^*(S_1)) - (E(S_1) - E^*(S_2))}{E(S_1) - E^*(S_1)} * 100\%$$

Oppure:

$$REB_d = \frac{E^*(S_2) - E^*(S_1)}{E(S_1) - E^*(S_1)} * 100\%$$

4.2 L'effetto rimbalzo diretto per i produttori

L'effetto rimbalzo diretto per i produttori può essere illustrato sfruttando le molte somiglianze con l'analisi dell' effetto rimbalzo diretto per i consumatori ma, come spiegato in seguito, l'analogia non è del tutto perfetta.

Esaminiamo inizialmente la situazione di un produttore in un mercato competitivo.

Si assuma che il produttore sia pienamente informato e perfettamente razionale nella scelta delle combinazioni dei livelli di input e output in modo da massimizzare i propri profitti.

Per semplicità di esposizione si presume vi siano solo due fattori di produzione:

il *lavoro utile* (fornito attraverso una combinazione di fonti energetiche e le relative apparecchiature per la conversione di energia stessa) e *il capitale*.

Si noti che c'è un'impostazione diversa da quella convenzionale in cui l'energia è un fattore di produzione.

Le differenze tra i due approcci sono illustrate di seguito. In pratica, per una produzione multi-input sarebbe opportuno, coinvolgere i trade-off * tra capitale, energia, lavoro e ingressi materiali. Ciò complica l'analisi, e non è necessario ai fini della rappresentazione.

Come prima, la risposta a una riduzione del prezzo effettivo del lavoro utile può essere illustrato graficamente.

* In economia un trade-off è una scelta tra diverse alternative che comporta una perdita di valore in una a vantaggio di un aumento di valore in un'altra.

Il termine è espresso talvolta come costo opportunità, riferendosi alle alternative alle quali si è preferito rinunciare a vantaggio di un'altra scelta.

Un trade-off, quindi, comporta un sacrificio che deve essere fatto per ottenere un determinato prodotto, piuttosto che altri prodotti che potrebbero essere ottenuti impiegando le stesse risorse.

4.2.1 Rappresentazione grafica dell'effetto rimbalzo diretto per i produttori

Nella Figura 4.3, le curve O_1 e O_2 sono definiti "isoquanti" e rappresentano tutte le combinazioni efficienti possibili di un particolare tipo di capitale (K) (ad esempio processi chimici) e di un particolare tipo di lavoro utile (S) (ad esempio vapore ad alta pressione) in grado di produrre lo stesso livello di output (O) (produzione).

Si presume che gli input siano continuamente variabili e sostituibili in un certo range anche se nella pratica il grado di sostituibilità può essere molto limitato nel breve periodo.

Nel lungo periodo, invece, tutti i fattori di produzione sono variabili, anche se le possibilità di sostituzione possono tuttavia essere limitate.

La linea S_0 - K_0 è definita una linea di isocosto per i due ingressi K e S.

Se P_s rappresenta il costo unitario del lavoro utile e P_k rappresenta il costo unitario del capitale K, il costo totale C di utilizzo di una quantità k di capitale e s di lavoro utile è:

$$C = P_k * k + P_s * s$$

La linea di isocosto ha una pendenza pari $-(P_s / P_k)$ e può essere scritta come:

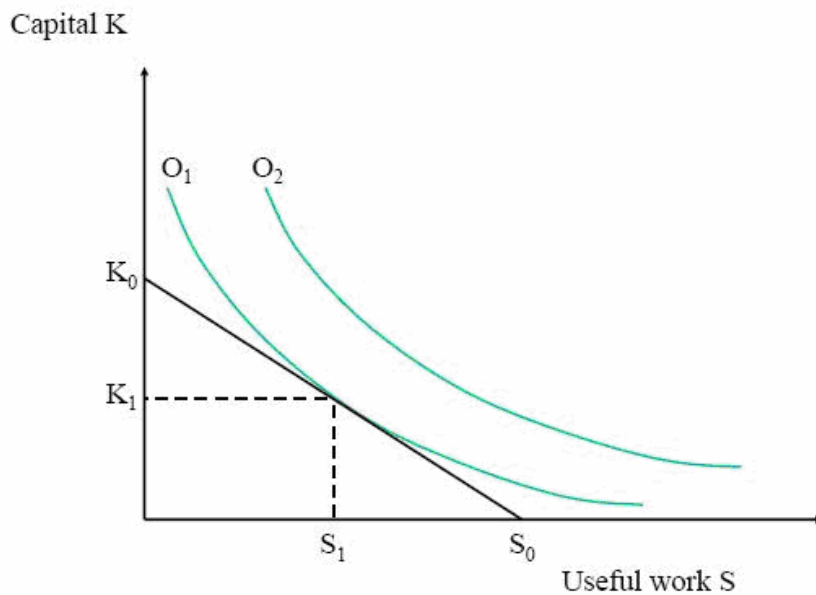
$$k = C/P_k - (P_s / P_k)s$$

Il mix ottimale di K ed S è dato da (S_1, K_1) , dove la linea di isocosto è tangente all'isoquante O_1 .

A questo punto, la produzione è massimizzata per le spese e di conseguenza il tasso marginale di sostituzione tra K e S è uguale al rapporto tra loro prezzi.

$$\left. \frac{\partial K}{\partial S} \right|_{dQ=0} = -\frac{P_k}{P_s}$$

Figure 4.3 Trade-off between capital (K) and useful work (S) in the production of a good



Come prima, sia $E(s)$ il consumo di energia associato al consumo di una quantità s di lavoro utile S . Il consumo di energia iniziale è allora $E(S_1)$.

Ora supponiamo che ci sia un miglioramento esogeno dell'efficienza energetica nella fornitura di questo servizio energetico.

Ancora una volta, si ignorino i costi associati a questo miglioramento tecnico e si assumano che i fattori del servizio rimangano invariati.

Sia $E^*(s)$ il nuovo consumo di energia associato al consumo di una quantità s di lavoro utile S .

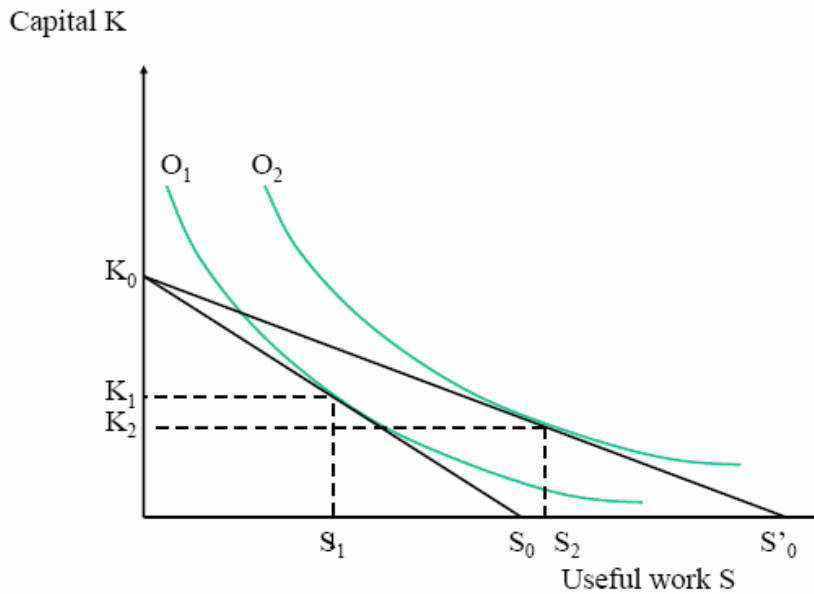
Se i prezzi nominali delle materie prime energetiche sono invariati, il miglioramento dell'efficienza energetica ridurrà il prezzo effettivo del lavoro utile ($P'_s < P_s$).

Nella Figura 4.4, questo è rappresentato da uno spostamento della linea di isocosto in $K_0-S'_0$.

Il mix ottimale di input, se la spesa totale per gli input è fissata a C , ora è data da (K_2, S_2) .

Uno spostamento in (K_2, S_2) porta ad un aumento del consumo di lavoro utile ($S_2 > S_1$), una riduzione dell'uso del capitale ($K_2 < K_1$) e la produzione di un livello superiore di output-produzione ($O_2 > O_1$).

Figure 4.4 Initial change in input mix and product output following an improvement in energy efficiency



Tuttavia, (contrariamente a quanto detto nell'analisi per il consumatore) l'adattamento da parte della particolare impresa non può fermarsi qui. Per l'impresa, l'equilibrio rappresentato da (S_2, K_2) è solo ottimale, nel senso che la combinazione di input è adeguata al livello di spesa sugli input rappresentata da:

$$C = P_k * k + P_s * s$$

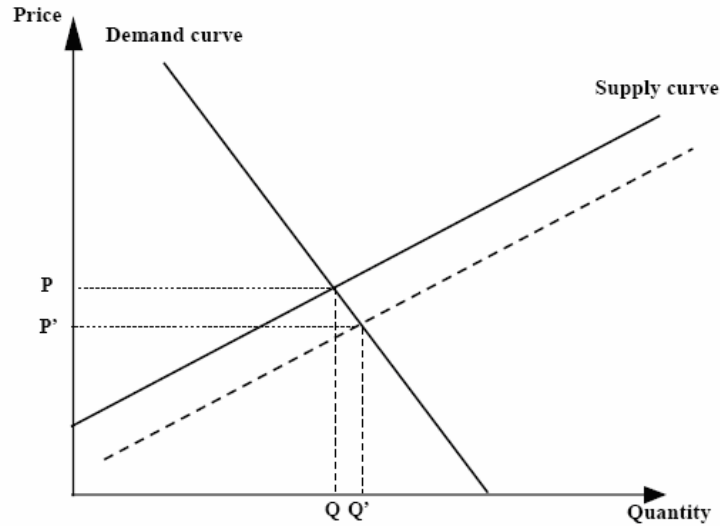
Ma l'obiettivo dell'azienda non è quello di massimizzare la produzione (Q) soggetta a un vincolo sulle spese totali in ingresso (C), ma invece di massimizzare i profitti.

Il miglioramento dell'efficienza energetica consentirà al produttore di produrre lo stesso output ad un prezzo inferiore.

In un mercato perfetto, una guerra dei prezzi si svilupperà, principalmente (a lungo termine) verso una riduzione del costo medio della produzione.

La curva di offerta del prodotto si sposterà a destra, il prezzo delle materie prime cadrà e le quantità richieste e fornite aumenteranno (Figura 4.5).

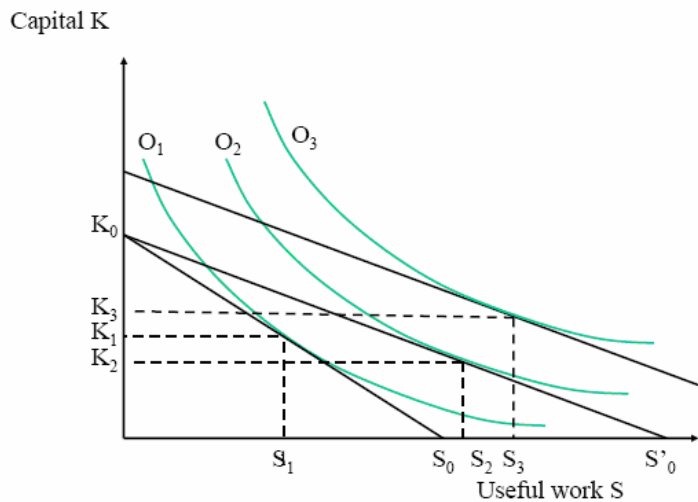
Figure 4.5 Aggregate increase in supply following energy efficiency improvements



Pertanto, per il singolo produttore, possiamo aspettarci che l'output aumenti ulteriormente, da O_2 ad O_3 in Figura 4.6.

Questa ulteriore modifica porta ad un equilibrio finale rappresentata dal punto (K_3, S_3) .

Figure 4.6 'Profit maximising' change in input mix and product output following an improvement in energy efficiency



L'aumento del consumo di lavoro utile compenserà la potenziale riduzione dei consumi energetici ottenuti col miglioramento dell'efficienza energetica.

Analogamente a quanto fatto nella parte precedente, l'effetto rimbalzo diretto per il singolo produttore si può dimostrare essere:

$$REB_d = \frac{E^*(S_3) - E^*(S_1)}{E(S_1) - E^*(S_1)} * 100\%$$

Analisi economica dell'effetto rimbalzo indiretto (per i consumatori)

Segue ora un'analisi economica dell'effetto rimbalzo indiretto visto dai consumatori.

Riprendendo velocemente il concetto di effetto rimbalzo indiretto, ricordiamo che questo riflette sulla domanda di energia i cambiamenti causati da una nuova disponibilità di reddito dovuta alla riduzione dei costi grazie ad un aumento dell'efficienza energetica.

L'effetto rimbalzo indiretto si riferisce pertanto elasticità di sostituzione dei fattori ed è difficilmente distinguibile, empiricamente, da altri fattori di reddito.

L'analisi fatta finora si è limitata ad una situazione in cui il consumatore sceglie fra due soli beni o servizi S e Z.

In pratica, un cambiamento nei costi dell'energia del lavoro utile cambierà la domanda di molti altri beni o servizi (Z_k).

Il consumo di alcuni di questi beni e servizi può diminuire in seguito al miglioramento dell'efficienza energetica, mentre il consumo di altri può aumentare.

Nel primo caso S e Z_i sono detti *sostitutivi*, mentre nel secondo caso S e Z_i sono detti *complementari*.

Poiché questi altri beni e servizi in genere richiedono energia per la loro disposizione, un miglioramento dell'efficienza energetica avrà un effetto indiretto sul consumo energetico complessivo, che va ad aggiungersi al suo effetto diretto. Ad esempio, il risparmio ottenuto da costi di riscaldamento inferiori può essere utilizzato per una vacanza all'estero.

Un fattore determinante nell'effetto rimbalzo indiretto è la variazione proporzionale del consumo di altri beni e servizi (Z) a seguito di una variazione proporzionale del costo energetico del lavoro utile (P_S), mantenendo costanti il reddito e altri prezzi.

Si tratta di “*elasticità incrociata*” definita come:

$$\eta_{P_S}(Z) = \frac{\partial Z}{\partial P_S} \frac{P_S}{Z}$$

Una più alta (più bassa) elasticità porta a un maggiore (minore) cambiamento della domanda in risposta ad una variazione del prezzo.

Convenzionalmente, i beni e i servizi si dicono sostitutivi se l'elasticità incrociata è positiva e complementari, se l'elasticità incrociata è negativa.

Per esempio, nel campo degli spostamenti il trasporto pubblico è un sostituto diretto dell'automobile, mentre i pasti al ristorante non lo sono.

Quindi, ci si può aspettare che l'elasticità incrociata nel primo caso sia superiore rispetto al secondo.

Sia $E(z)$ il consumo di energia associato all'uso della quantità z di un servizio Z_k particolare (ad esempio, un pasto al ristorante). Allora il cambio indiretto del consumo di energia associato a Z_k a seguito del miglioramento dell'efficienza energetica è dato da:

$$IND = E(Z_{k1}) - E(Z_{k2})$$

Come per la modifica diretta del consumo di energia, il cambiamento indiretto sul consumo energetico a seguito del miglioramento dell'efficienza energetica può essere positivo o negativo.

Tuttavia, a differenza del passaggio diretto, il segno del cambiamento indiretto dipende unicamente dal fatto che la domanda di Z diminuisca o aumenti.

L'intensità energetica di Z_k si presume rimanga costante.

L'effetto rimbalzo totale, tenendo conto sia della modifica diretta del consumo di energia per il servizio energetico che del cambiamento indiretto sul consumo energetico per l'altro servizio (REB_{id}) è quindi dato da:

$$REB_{id} = \frac{(E(S_1) - E^*(S_1)) - [(E(S_1) - E^*(S_2)) + (E(Z_{k2}) - E(Z_{k1}))]}{E(S_1) - E^*(S_1)} * 100\%$$

$$REB_{id} = \frac{(E^*(S_2) - E^*(S_1)) + (E(Z_{k2}) - E(Z_{k1}))}{E(S_1) - E^*(S_1)} * 100\%$$

Rispetto all'equazione dell'effetto diretto vista in precedenza, vi è un termine supplementare al numeratore.

Se $E(Z_{k2}) > E(Z_{k1})$, il risparmio energetico derivato dal miglioramento dell'efficienza energetica sarà ridotto e la somma dell'effetto diretto più quello indiretto sarà più grande l'effetto diretto.

Al contrario, se $E(Z_{k2}) < E(Z_{k1})$, il risparmio energetico derivato dal miglioramento dell'efficienza energetica sarà cresciuto e la somma dell'effetto diretto più quello indiretto sarà minore l'effetto diretto.

L'effetto rimbalzo diretto sarà rafforzato dall'effetto indiretto se la domanda di Z_k aumenta ($Z_{k2} > Z_{k1}$), mentre l'effetto rimbalzo diretto sarà compensato dall'effetto rimbalzo indiretto se diminuisce la domanda di Z_k ($Z_{k2} < Z_{k1}$).

Dato che la domanda di Z_k diminuirà sempre come risultato dell'effetto di sostituzione, l'unico caso in cui la domanda di Z_k aumenterà è dove l'effetto di reddito è sufficiente a compensare l'effetto di sostituzione per Z_k .

Grazie ad un miglioramento dell'efficienza energetica di un particolare servizio energetico ci si attende possa essere influenzata la domanda di una miriade di altri beni e servizi.

Se ci sono K servizi in totale, l'effetto rimbalzo, tenendo conto sia della modifica diretta del consumo di energia per il servizio energetico S , sia del cambio indiretto del consumo di energia per tutti gli altri servizi Z_k (REB_{id}) è quindi dato da:

$$REB_{id} = \frac{(E^*(S_2) - E^*(S_1)) + \left(\sum_{k=1, K} E(Z_{k2}) - E(Z_{k1}) \right)}{E(S_1) - E^*(S_1)} * 100\%$$

Per ogni singolo servizio Z_k , la variazione della domanda ($Z_{k2} - Z_{k1}$) sarà determinata dall'elasticità incrociata del prezzo, mentre i cambiamenti indiretti del consumo di energia saranno determinati dalla combinazione dell'elasticità incrociata del prezzo e la corrispondente intensità energetica $E(Z)$.

I dati su queste variabili possono essere difficili da ottenere, anche per categorie relativamente simili di beni e servizi (k) e può variare da una circostanza all'altra.

In conclusione, l'effetto rimbalzo aggregato è specifico della situazione considerata ed è probabile che sia molto difficile stimarlo empiricamente.

Stimare l'effetto rimbalzo diretto

La letteratura econometrica relativa all'effetto rimbalzo diretto (Pubblicazioni di Brookes, 1992; Saunders, 1992; Herring, 2004; Huber and Mills, 2005) è molto specifica e difficile da interpretare. Questo deriva in parte della varietà degli approcci metodologici utilizzati, ma anche da una scarsa chiarezza sulle definizioni di base.

Diversi studi utilizzano definizioni diverse dell' effetto rimbalzo diretto: diverse misure espresse poi in diversi modi portano spesso a non chiarire il rapporto tra di loro.

La situazione è ulteriormente aggravata dal fatto che molti degli studi in questione non menzionano direttamente l'effetto rimbalzo, in quanto il loro obiettivo primario è un altro. Questi studi, tuttavia, possono fornire stime sull'elasticità che, secondo alcune ipotesi, possono essere relazionate con effetto rimbalzo diretto.

In linea di principio, l'effetto rimbalzo diretto può essere stimato dall'elasticità della domanda sia per l'energia che per il lavoro utile, rispetto ai cambiamenti di efficienza energetica. Tuttavia, gli studi che seguono questo approccio sono relativamente pochi, a causa della limitatezza dei dati, o perché la variazione limitata della variabile indipendente (efficienza energetica) porta ad elevata variabilità nelle stime dei parametri.

Invece, altri studi stimano l'elasticità rispetto al prezzo della domanda di lavoro utile (ad esempio l'elasticità della domanda di chilometri veicolo rispetto al costo per chilometro).

Dal momento che il prezzo del lavoro utile dipende sia dai prezzi dell'energia che dall'efficienza energetica, il grado di variazione della variabile indipendente è più grande e la maggior parte della variazione in genere è derivata dalle variazioni storiche dei prezzi dell'energia.

Ma la validità di questo approccio si basa sul presupposto che i consumatori rispondano nello stesso modo alle diminuzioni del prezzo dell'energia come per i miglioramenti dell'efficienza energetica (e viceversa). In molti casi questa ipotesi rischia di essere imprecisa

E' anche quindi possibile stimare l'effetto rimbalzo diretto dall'elasticità del prezzo rispetto alla domanda di energia, evitando così la necessità di raccogliere dati sulla domanda di lavoro utile.

Ma, a meno che l'efficienza energetica sia controllata in modo esplicito, questo approccio presuppone che:

in primo luogo, i consumatori rispondano nello stesso modo alle diminuzioni del prezzo dell'energia come per i miglioramenti dell'efficienza energetica (e viceversa) e, in secondo luogo, che l'efficienza energetica non sia influenzata dalle variazioni dei prezzi dell'energia.

Entrambe queste ipotesi hanno la possibilità di essere imperfette, ma la misura con cui ciò porta a stime distorte dell'effetto rimbalzo diretto può variare ampiamente da un servizio di energia ad un altro e tra breve e lungo termine.

6.1 Fonti di distorsione nella stima dell'effetto rebound diretto

Come già detto, nelle stime dell'effetto rimbalzo diretto concorrono molti fattori che le rendono imprecise e di difficile valutazione. Indubbiamente, forte è l'influenza delle ipotesi di partenza stimate alla base di ogni studio econometrico. Queste infatti possono più o meno rispecchiare il reale comportamento dei soggetti coinvolti a scapito della complessità dello studio ma, visto il numero di soggetti coinvolti, qualunque ipotesi sarebbe approssimativa a meno che non si considerino i vari stili di pensiero e le abitudini comportamentali ed inoltre si riesca a stimare il livello con cui ognuno di essi si sia affermato nella collettività.

E' praticamente impossibile sopperire a questo tipo di approssimazioni, che risultano per la maggior parte delle volte accettabili.

Ci sono invece un certo numero di potenziali fattori di influenza nelle stime econometriche dell'effetto rimbalzo diretto legati principalmente alle caratteristiche del mercato, molti dei quali possono condurre ad una sopravvalutazione dell'effetto che stiamo considerando.

I più importanti sono i seguenti:

- **Input costs (costi di ingresso)** : le variazioni dei prezzi dell'energia non sono generalmente correlate con i cambiamenti dei costi di altri input necessari a fornire il servizio energetico in questione. Tuttavia, i cambiamenti in termini di efficienza energetica, in particolare un suo aumento, possono richiedere nuove attrezzature con costi di capitale più elevati. Di conseguenza, le stime dell'effetto rimbalzo diretto che si basano principalmente sulle variazioni storiche e trasversali dei prezzi dell'energia potrebbero sovrastimare l'effetto.
- **Asimmetria** : le elasticità dei prezzi energetici tendono ad essere più elevate nei periodi con prezzi crescenti rispetto a quelli con prezzi in calo. Una spiegazione è che un più elevato prezzo dell'energia induce miglioramenti tecnologici in materia di efficienza energetica. Inoltre, gli investimenti in efficienza, come l'isolamento termico, sono in gran parte irreversibili nel breve-medio periodo. Ma lo scopo dei miglioramenti dell'efficienza energetica è la riduzione dei prezzi dell'energia. Dal momento che molti studi includono periodi di aumento dei prezzi dell'energia, l'elasticità stimata del prezzo può sovrastimare la risposta alla diminuzione dei prezzi dell'energia. Di conseguenza, le stime dell'effetto rimbalzo diretto, che si basano principalmente sulle variazioni dei prezzi dell'energia, potrebbero essere sovrastimate a causa della mancata considerazione dell'asimmetria nella risposta della domanda.

- Endogeneità : un miglioramento dell'efficienza energetica può incoraggiare i consumatori ad aumentare il consumo di lavoro utile (per esempio guidare ulteriormente dopo l'acquisto di una vettura a basso consumo energetico). Ma al tempo stesso, i consumatori che prevedono una forte domanda di lavoro utile possono anche acquistare apparecchiature più efficienti (ad esempio l'acquisto di una vettura ad alta efficienza energetica, perché ci si aspetta di guidare ulteriormente). Ciò suggerisce una circolarità potenziale: cioè la domanda di lavoro utile dipende dal prezzo del lavoro utile, il quale dipende dall'efficienza energetica, che dipende a sua volta dalla domanda di lavoro utile. Il termine tecnico per questo è “endogeneity”, il che significa che le variabili rilevanti (efficienza energetica e lavoro utile) sono in parte determinati dalla vicenda, cioè da fattori interni. Questo può essere affrontato empiricamente attraverso l'uso di modelli di equazioni, ma molti studi non le utilizzano. Di conseguenza, le stime dell'effetto rimbalzo diretto che non utilizzano tecniche adeguate per il controllo dell'endogeneità potrebbero risultare distorte.
- Costo del tempo (time cost) : i consumatori possono prendere in considerazione il costo del tempo nella scelta del consumo di servizi energetici. Tali costi vengono convenzionalmente misurati dai tassi di retribuzione oraria, che sono aumentati, rispetto ai prezzi dell'energia per tutto il secolo passato. Infatti, l'aumento dei consumi energetici nelle società industriali può essere in parte guidato dalla sostituzione di energia per tempo. Alcuni servizi energetici coinvolgono trade-off * tra l'efficienza energetica e l'efficienza del tempo, in cui una più elevata (inferiore) efficienza energetica implica un'inferiore (superiore) efficienza temporale (ad esempio, confrontare rotaia col trasporto aereo). Se i tassi dei salari continuano ad aumentare più rapidamente dei prezzi dell'energia in termini reali, l'effetto rimbalzo dovrebbe diventare meno importante rispetto all'efficienza energetica, dal momento che il miglioramento dell'efficienza energetica ha un impatto sempre più piccolo del costo totale del lavoro utile. Quindi, per quei servizi energetici dove il trade-off tra costi di energia e tempo sono rilevanti, le stime dell'effetto rimbalzo che non hanno alcun tipo di controllo dell'aumento del reddito, potrebbe sovrastimare l'effetto rimbalzo diretto.

La considerazione dei costi del tempo introduce anche un altro problema: aumentare l'efficienza temporale può portare ad un “effetto rimbalzo relativo al tempo” parallelo a quello energetico (ad esempio, le automobili più veloci incoraggiano il percorrimto di grandi distanze).

* la scelta tra diverse alternative che comporta una perdita di valore in una a vantaggio di un aumento di valore in un'altra.

Quindi, il consumo di energia può essere aumentato, in primo luogo, mediante operazioni di trade-off tra efficienza energetica ed efficienza del tempo (ad esempio, scegliendo il trasporto aereo, piuttosto che ferroviario) e in secondo luogo, per l'effetto rimbalzo riguardante il tempo (ad esempio scegliendo di viaggiare di più).

6.2 Stime dell'effetto rimbalzo diretto

Si analizza ora uno studio svolto dall'UKERC per la stima dell'effetto rimbalzo (Ottobre 2007).

Tale studio prende il nome di:

Review of evidence for the rebound effect

La recensione è costituita da diversi capitoli che fungono anche da presentazione dell'aspetto che stiamo considerando. Ma di particolare importanza è quello riguardante le stime dell'effetto rimbalzo diretto.

Diamo alcune informazioni sull'UKERC:

UK Energy Research Centre svolge attività di ricerca a livello mondiale nei sistemi sostenibili di energia per il futuro.

Esso è il fulcro della ricerca energetica nel Regno Unito ed inoltre costituisce l'interfaccia tra il Regno Unito e la comunità internazionale della ricerca energetica.

Il lavoro svolto nell'area della ricerca informa tutte le strategie politiche e i sistemi di sviluppo del Regno Unito.

Il Centro è stato istituito nel 2004, su volontà di Sir David King, capo della consulenza scientifica del governo britannico.

UKERC è finanziato da "Research Councils UK Energy Programme", con lo scopo di raggiungere gli obiettivi fissati dal Regno Unito, ovvero abbracciare uno sviluppo sostenibile, ridurre le emissioni di carbonio, sviluppare sistemi che consentano di soddisfare l'energia del paese, oltre agli standard europei al 2020 e oltre.

Il Centro è stato finanziato per un periodo iniziale di cinque anni e a maggio 2009 si è aggiudicato una nuova tornata di finanziamenti per altri cinque anni, dando inizio alla cosiddetta "seconda fase dell'UKERC".

Come precedentemente descritto, la letteratura econometrica riguardante l'effetto rimbalzo diretto è molto diversificata.

Gli studi differiscono nella definizione delle variabili indipendenti e dipendenti, nei metodi di misura di queste variabili, nella forma strutturale impiegata, nel tipo di dati utilizzati e altri fattori rilevanti.

Tali diversità allontanano quindi le conclusioni da un'analisi formale dei risultati in modo quantitativo.

Invece, descriviamo semplicemente di seguito la metodologia e l'approccio degli studi pertinenti e, individuati i punti di forza e di debolezza, evidenziamo le questioni chiave e i risultati di sintesi.

Questo porta, nella migliore delle ipotesi, a delle previsioni per l'effetto diretto di lungo periodo per ogni servizio, in cui è dato un peso maggiore ai risultati di studi più rigorosi (Tabella 1).

Sono anche state considerate le stime dell'elasticità del prezzo del consumo di energia per i diversi servizi energetici, in quanto sotto certe ipotesi questa può prevedere limiti superiori per l'effetto rimbalzo diretto.

Consideriamo la seguente tabella.

Figura 6.1 - Table1 Estimates of the long-run direct rebound effect for consumer energy services in the OECD

End-Use	Range of Values in Evidence Base	'Best guess'	No. of Studies	Degree of Confidence
Personal automotive transport	3-87%	10-30%	17	High
Space heating	0.6-60%%	10-30%	9	Medium
Space cooling	1-26%	1-26%	2	Low
Other consumer energy services	0-39%	<20%	3	Low

Il trasporto automobilistico personale è l'unico settore in cui l'evidenza è sufficientemente forte da consentire di quantificare con una certa precisione l'entità dell'effetto rimbalzo diretto.

Studi che utilizzano aggregati di serie storiche e dati settoriali stimano l'effetto diretto a lungo periodo per il trasporto automobilistico personale essere compreso tra il 5% e il 30%.

Gli studi che utilizzano elevati dati di aggregazione dovrebbero fornire stime più attendibili a causa del maggior numero di osservazioni, e questi suggeriscono un effetto rimbalzo diretto nel range 22% – 30 %.

Gli studi che utilizzano fonti di dati disaggregati (ad esempio indagine casalinga) forniscono stime molto meno precise, che vanno dallo 0% al 87%. Tuttavia, i metodi più rigorosi stimano l'effetto di lungo periodo del 23%, il che è coerente con i risultati di studi che utilizzano dati aggregati.

Nel complesso, l'analisi suggerisce che l'effetto di lungo periodo per il trasporto automobilistico personale si trovi fra il **10% e 30%**.

Il consenso relativo alla previsione, nonostante le notevoli differenze tra i dati e metodologie suggeriscono che i risultati sono attendibili.

Inoltre, l'asimmetria delle risposte della domanda suggeriscono che un valore verso l'estremità inferiore di questo intervallo è più probabile.

Ci sono alcune prove che suggeriscono che l'effetto rimbalzo diretto per il servizio di energia diminuisca con il reddito, ma non ci sono prove sufficienti per determinare come vari tra i diversi paesi.

Al contrario, i dati disponibili non consentono la quantificazione fiduciosa dell'effetto diretto per il riscaldamento, in parte perché l'analisi del riscaldamento degli ambienti è intrinsecamente più complessa, e anche perché l'argomento ha ricevuto un'attenzione insufficiente.

Gli studi esaminati suggeriscono qui un effetto rimbalzo diretto nel range **1,4-60%**, con notevoli variazioni tra i diversi paesi, le famiglie, i carburanti e gli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica.

La forte evidenza dell'asimmetria delle risposte della domanda di energia all'elasticità dei prezzi, per il riscaldamento suggerisce che l'effetto medio può essere valutato verso il limite inferiore dell'intervallo suddetto, ma l'effetto rimbalzo sembra essere più elevato per i gruppi a basso reddito.

Ai fini di una valutazione politica, una cifra pari al **30%** sembra un'ipotesi ragionevole.

Ci sono una serie di ragioni per cui l'effetto rimbalzo diretto per la maggior parte degli altri servizi energetici domestici dovrebbe essere inferiore a quello per il riscaldamento. Tuttavia, le prove econometriche sono molto scarse, a causa delle difficoltà di misurazione.

Due studi piuttosto datati sul condizionamento dei locali suggeriscono entrambi un effetto rimbalzo diretto nel range **1% - 26%**.

(1986; Dubin, Miedema and Chandran "Price Effects of Energy-Efficient Technologies - a Study of Residential Demand for Heating and Cooling"; *Rand Journal of Economics* – 1979; Hausman "Individual Discount Rates and the Purchase and Utilization of Energy-Using Durables"; *Bell Journal of Economics*)

Tuttavia, entrambi si concentrano esclusivamente su cambiamenti nell'utilizzo delle apparecchiature e quindi trascurano la richiesta di acquisizione di nuove apparecchiature per la refrigerazione, così come ogni aumento della capacità dei sistemi di raffreddamento già esistenti.

Mentre un'altro studio suggerisce un effetto rimbalzo diretto fino al 39% per gli altri servizi energetici domestici, vale a dire riscaldamento domestico, acqua calda, illuminazione ed apparecchi vari; questa stima appare stranamente alta.

(2003; Guertin, Kumbhakar and Duraiappah “Determining Demand for Energy Services: Investigating income-driven behaviours”; *International Institute for Sustainable Development*)

Uno studio più rigoroso stima l'effetto rimbalzo diretto per le lavatrici essere inferiore al **5%**. E' quindi probabile che questa cifra sia rappresentativa di altri servizi energetici time-intensive, come quelli forniti da lavastoviglie, aspirapolvere e apparecchi elettronici.

(2007; Davis “Durable goods and residential demand for energy and water: evidence from a field trial”; *Working Paper, Department of Economics, University of Michigan*).

I dati suggeriscono pertanto che l'effetto rimbalzo diretto per il consumatore di servizi energetici sia probabilmente da basso a moderato, almeno nelle economie sviluppate, ed inoltre che questo diminuisca con il reddito.

Pertanto, l'effetto rimbalzo diretto per questo tipo di servizi energetici non dovrebbe pregiudicare gli obiettivi dei programmi di efficienza energetica volti a ridurre l'energia necessaria per offrire un particolare servizio energetico.

Tuttavia, queste conclusioni sono soggette a una serie di restrizioni, compresi i periodi di tempo relativamente limitati durante i quali gli effetti sono stati studiati e le definizioni restrittive di “lavoro utile” che sono comunemente utilizzate.

6.3 Possibili margini di miglioramento degli studi sull'effetto rimbalzo diretto

Nonostante l'argomento sia di elevata importanza e il numero degli studi ad esso dedicati sia in continuo aumento, lo stato attuale delle conoscenze sull'effetto rimbalzo diretto è insufficiente ai fini di una seria programmazione di politica energetica.

La ricerca sugli effetti di rimbalzo diretto deve quindi migliorare nel rigore ed espandersi in molti altri settori energetici. Ciò richiede sia un buon insieme di dati, sia metodologie più robuste che siano in grado di eliminare gli effetti delle potenziali fonti di distorsione sopra indicate.

Si può considerare la possibilità di realizzare studi che comprendano una più ampia gamma di servizi energetici consumati, a condizione che i singoli apparecchi possano essere monitorati. Tuttavia, il problema che deve essere affrontato dalle politiche energetiche non riguarda cambiamenti nei modelli di utilizzo dell'energia a breve termine, ma coinvolge invece, nel numero e nella capacità dei dispositivi di conversione, i cambiamenti nel lungo periodo.

Le stime dell'effetto rimbalzo diretto nel trasporto automobilistico personale trarrebbero beneficio da definizioni più appropriate di lavoro utile.

Se uno studio impiega "tonnellate / chilometro" come variabile dipendente sembra fattibile e potrebbe stimolare un rallentamento dell'effetto che porta alla crescente dimensione delle auto, dal momento che è necessaria una minor quantità di lavoro utile per muovere un'auto di modeste dimensioni rispetto ad una di grande taglia.

L'analisi è necessaria anche in altri ambiti di trasporto, compreso il trasporto merci.

Ci sarebbe anche la possibilità di svolgere un lavoro empirico più consistente per prendere in considerazione anche l'importanza del tempo; si tratterebbe appunto di considerare l'effetto rimbalzo rispetto al tempo, già preso in considerazione in precedenza.

Questo fenomeno è particolarmente rilevante nel settore dei trasporti; inoltre risulta essere molto influente la dipendenza dell'effetto rimbalzo diretto sul reddito, in quanto la disponibilità economica è vista come risorsa per massimizzare l'utilità del consumatore e nello specifico diventa uno stimolo all'utilizzo di mezzi di trasporto più veloci ma sicuramente più energivori.

Per implementare ulteriormente gli studi, si dovrebbe anche considerare il collocamento socio-geografico interessato, in quanto non in tutte le condizioni sociali ed economiche l'effetto rimbalzo diretto si manifesta con la stessa intensità.

Si hanno condizioni socio-economiche agevoli a tale effetto nei paesi in cui c'è la possibilità di investire in efficienza energetica da parte dei soggetti che compongono il mercato e la società stessa. Trattasi quindi di paesi sviluppati, ovvero paesi in cui la stabilità economica ed il livello di conoscenza che mediamente caratterizzano i soggetti coinvolti, sono sufficienti per stimolare questo tipo di investimenti.

Infatti, da sottolineare è il fatto che l'effetto rimbalzo diretto risulta essere molto debole nei paesi in via di sviluppo.

In questi paesi lo sviluppo economico ha tassi annui di crescita elevatissimi in quanto le situazioni di partenza erano molto povere, e lo sviluppo sta ancora basandosi unicamente sulla convenienza economica dei singoli soggetti, cioè utilizzando le risorse più abbondanti e meno costose anche se più inquinanti, senza minimamente considerare l'idea di operare in modo più efficiente e meno dannoso per l'ambiente.

Per questo un piano serio di politica energetica dovrebbe essere globale, coinvolgendo sia i paesi sviluppati che quelli in via di sviluppo. Se non ci si impegna a seguire una strada comune e globale, ogni sforzo da parte dei primi potrà venire vanificato dalle carenze dei secondi.

IEA – efficiency policies

Si considera ora uno studio svolto dall' IEA (International Energy Agency) che analizza la situazione globale dei paesi industrializzati. Quanto emerge da questo studio è riportato in un documento denominato “IEA information paper”.

Introduciamo brevemente alcune informazioni su tale organizzazione.

L'Agenzia internazionale dell'energia è un'organizzazione intergovernativa istituita nel 1974 nel quadro dei paesi OCSE a seguito della crisi petrolifera del 1973.

L'IEA è stata inizialmente chiamata a trovare soluzioni alle situazioni critiche nelle quali avveniva l'interruzione fisica dell'approvvigionamento di petrolio per i Paesi membri, e fornire studi statistici riguardanti il mercato internazionale di petrolio e di altri settori energetici.

L'IEA funge da consigliere per le politiche energetiche degli Stati membri, ma opera anche in collaborazione con Paesi terzi come Cina, India e Russia, per la loro importanza nel mercato globale.

Negli ultimi decenni l'IEA sta focalizzando le proprie attività nelle cosiddette “3E” delle politiche energetiche:

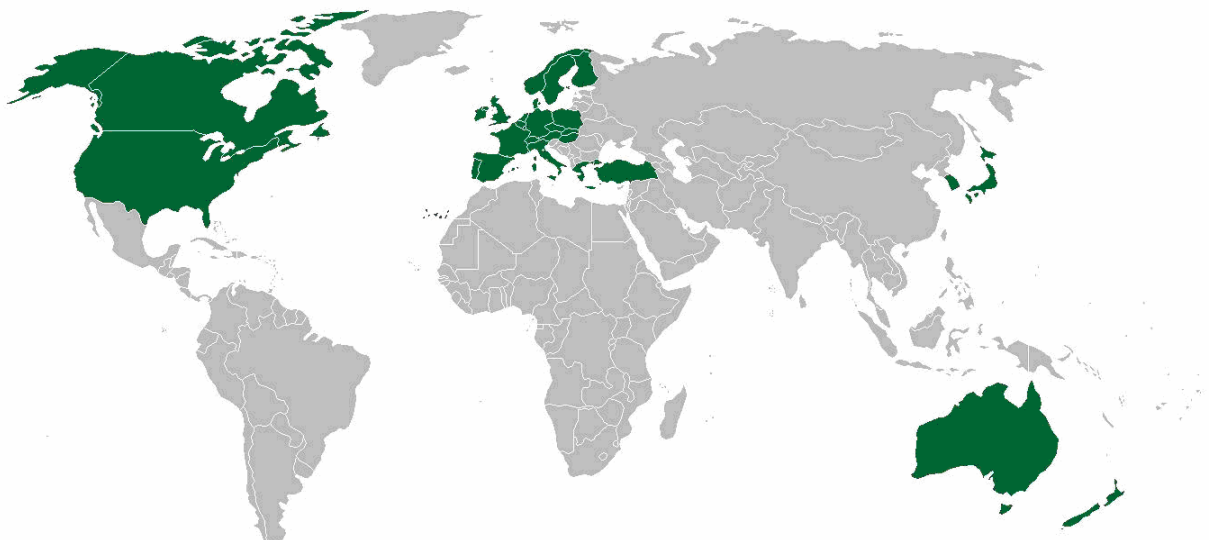
Energy security; Economic development; Environmental protection.

Ovvero rispettivamente: sicurezza energetica, sviluppo economico e tutela ambientale.

Tema importantissimo in molti studi è stato appunto il cambiamento climatico; l'IEA ha infatti assunto una posizione molto forte nella promozione dell'energia alternativa (comprese le fonti rinnovabili).

Solo i paesi OCSE possono diventare membri dell'IEA. Lo sono tutti esclusi Islanda e Messico, con un totale di 28 Stati membri.

Figura 7.1 - Nazioni membre dell'IEA al 2010



 Australia	 South Korea	 Japan	 United States
 Austria	 Luxembourg	 Italy	 United Kingdom
 Belgium	 Netherlands	 Ireland	 Turkey
 Canada	 New Zealand	 Hungary	 Switzerland
 Czech Republic	 Norway	 Greece	 Sweden
 Denmark	 Poland	 Germany	 Spain
 Finland	 Portugal	 France	 Slovakia

Si analizzano di seguito alcuni punti di questo documento di rilevante importanza nella trattazione dell'effetto rimbalzo.

Nello studio viene riportato il seguente diagramma:

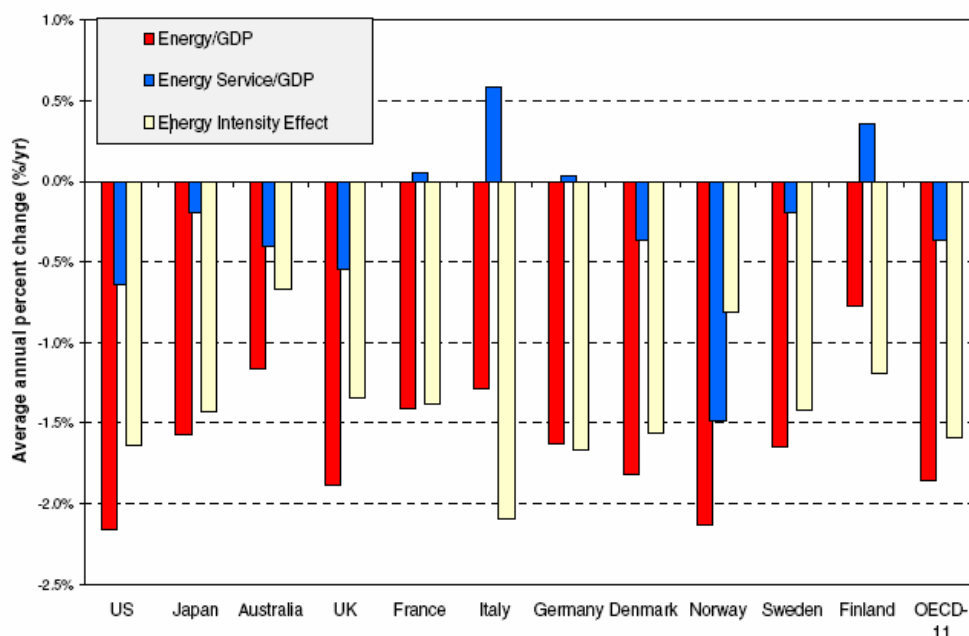


Figura 7.2 Changes in energy per GDP decomposed into changes in energy service per GDP and energy intensity effect, 1973-1998 (IEA 2004)

Dalla legenda si vede che la barra rossa rappresenta la variazione dell'intensità energetica, definita all'inizio, ed è la media nell'intervallo dal 1973 al 1998.

Tale valore viene scomposto secondo 2 contributi rappresentati da altri 2 parametri:

- la barra blu rappresenta un parametro definito analogamente all'intensità energetica: l'intensità di servizi energetici.

Questa è data dal rapporto tra la quantità di servizi energetici e il prodotto interno lordo;

- la barra gialla rappresenta l'effetto di "energy intensity", cioè l'incremento del disaccoppiamento tra quantità di servizi energetici disponibili ed energia primaria consumata, che si è riuscito ad ottenere con l'utilizzo di apparecchi più efficienti.

Il diagramma illustra quindi il tasso annuale medio di cambiamento di questi 3 parametri in quasi 30 anni.

Si può affermare che tutti i paesi coinvolti abbiano visto una riduzione dell'intensità energetica: ovvero nell'arco di tempo considerato l'intensità energetica di tutti i paesi coinvolti nello studio è migliorata.

Quindi praticamente tutti i paesi hanno visto un miglioramento dell'efficienza energetica, ma ciò che sorprende è che alcuni di questi, quali Germania, Italia, Francia e Finlandia, nello stesso tempo, abbiano visto un incremento della quantità di servizi energetici per unità di prodotto interno lordo.

Una riduzione dell'intensità energetica non implica necessariamente che si goda di una quantità minore di servizi energetici.

Apparentemente c'è una discrepanza: l'elemento che spiega tale fenomeno è il forte effetto di "energy intensity", cioè di disaccoppiamento tra i servizi energetici che abbiamo a disposizione e l'energia primaria che stiamo consumando.

L'Italia ha incrementato l'intensità di servizi energetici in questi 3 decenni, mentre si è andata riducendo l'intensità energetica.

Questa è la media nel trentennio; tuttavia nell'ultimo decennio l'Italia sta leggermente peggiorando, stiamo cioè diventando meno virtuosi. In altre parole il tasso di miglioramento annuo si sta riducendo ed in qualche caso sta diventando positivo.

Questo è un fenomeno normale: dopo un miglioramento con tasso annuo elevato e prolungato negli anni risulta essere sempre più difficoltoso, ed in certi casi economicamente costoso, mantenere lo stesso tasso annuo di miglioramento man mano che ci si avvicina al limite dettato dalla tecnologia disponibile.

In prossimità del limite tecnico l'unico modo per mantenere un tasso annuo di miglioramento dell'intensità energetica elevato sarebbe quello di cambiare gli stili di vita riducendo l'uso di servizi (climatizzatore, automobile ecc).

Dal diagramma, sempre osservando la barra blu, si nota che la Norvegia è stata la nazione più virtuosa sotto un altro punto di vista: ha ridotto molto più degli altri paesi l'intensità di servizi energetici.

Evidentemente l'Italia in questo periodo ha richiesto una maggiore quantità di servizi energetici e questi si sono comunque ottenuti senza andare ad aumentare in proporzione i consumi di energia primaria.

Quanto detto analizzando il diagramma riportato dall'IEA è semplicemente l'esposizione di una serie di dati misurati e pertanto fatti non discutibili, ovviamente una volta accordati sulle convenzioni da utilizzare nei modelli che permettono di fare questi studi.

L'eventuale analisi e i possibili punti di discussione stanno nello stabilire se tutti gli interventi per l'efficienza energetica effettuati in passato abbiano o meno portato i frutti sperati in termini di riduzione di energia consumata e di conseguenza agire sulle politiche che verranno intraprese in futuro.

Questo studio dell'IEA pubblicato nell'Agosto 2005 è intitolato:

The experience with energy efficiency policies and programmes in IEA countries

Oltre ai sostenitori, dalla discussione di dati come questi, emergono anche molti critici nei confronti delle politiche e dei programmi di efficienza energetica.

I critici sostengono che le politiche di efficienza energetica intraprese e i programmi studiati per il futuro siano ingiustificate o siano comunque un fallimento.

Gli aspetti critici della discussione sono molteplici, e alcune delle critiche più comuni presenti nella letteratura sono riportate e discusse nel rapporto IEA:

- L'effetto rimbalzo eroderà la maggior parte o tutti i risparmi di energia.
- Il macro-effetto nell'economia (economy-wide effect) eroderà i risparmi di energia.
- La maggior parte dei risparmi di energia sarebbe avvenuta comunque a causa dei continui progressi tecnologici o dell'aumento del prezzo dell'energia.
- I tassi di sconto utilizzati per ipotizzare il tempo di ritorno degli investimenti in campo di efficienza energetica sono troppo bassi.
- Gli incentivi per interventi di efficienza energetica finanziati con soldi pubblici sono contributi sleali nei confronti dei non partecipanti o delle famiglie a basso reddito.
- Le politiche di efficienza energetica sono molto meno efficaci di quanto le loro proposte affermino.

- I fallimenti del mercato sono spesso utilizzati per giustificare il fatto che le politiche di efficienza energetica sono per lo più un mito.
- Il risparmio energetico è un parametro troppo difficile e costoso da stimare con precisione.
- L'efficienza energetica è stata un fallimento perché l'uso di energia è aumentata nei paesi OCSE.

Tra i punti di criticità riportati dall'IEA il primo è proprio l'effetto rimbalzo: questo fenomeno di ritorno ha quindi assunto nel tempo una posizione di massima priorità per chi si occupa di efficienza energetica o delle sue criticità. E' quindi un fenomeno di cui non si possono trascurare gli effetti in termini di consumi di energia.

Gli altri aspetti critici non sono di minore importanza e per ognuno di essi possiamo dare una spiegazione introduttiva che deriva da un sunto di quanto è riportato nel rapporto IEA.

- Oltre all'effetto rimbalzo, la prima critica che vanifica il ruolo delle politiche di efficienza energetica coinvolge l'effetto globale e il legame tra energia e crescita economica.

Molti analisti nel campo dell'energia e critici dell'efficienza energetica hanno evidenziato che ad un incremento dell'efficienza energetica in larga scala segue come risultato un impatto macroeconomico caratterizzato da crescita economica, ma ottenuta con un aumento dell'energia consumata, cioè aumentando gli usi energetici.

Il fattore crescita economica è infatti generalmente legato ad un fabbisogno energetico crescente. Da notare è il fatto che non sempre la crescita economica è associata ad un aumento proporzionale della qualità della vita (es. uso crescente dei prodotti petroliferi per necessità di aumentare i trasporti su gomma).

- Se considerassimo un mercato in cui i prodotti sono in concorrenza, un prodotto efficiente, cioè con gestione meno costosa da parte del soggetto che ne usufruisce, per le leggi del mercato stesso, andrebbe a soppiantare un prodotto meno efficiente semplicemente perché più interessante per il consumatore. La sostituzione di due prodotti nel mercato viene ulteriormente accelerata se questa viene vista dal consumatore, oltre che come forma di risparmio, anche come risposta alla crescita dei prezzi dell'energia.

- I soggetti sostenitori delle misure di efficienza energetica usano tipicamente un tasso di sconto compreso tra il 4% e l'8% per valutare l'efficacia economica dell'intervento. Molti critici affermano che l'irreversibilità di tali investimenti, nonché l'eterogeneità del mercato, ad esempio la variazione di risparmio energetico che sperimenteranno differenti consumatori che hanno adottato un

particolare provvedimento di efficienza energetica, giustifica l'uso di tassi di sconto relativamente elevati.

Numerosi analisti hanno determinato il "tasso di sconto implicito" inerente al consumatore o alla fetta di mercato che comprende gli interventi di efficienza energetica. Il tasso di sconto implicito è il tasso di sconto che uguaglia il primo costo delle misure di efficienza energetica (o l'extra-costò pagato per avere un prodotto più efficiente) ed il valore dei risparmi di energia per tutta la vita del prodotto, su un valore attuale netto di base.

Studi sulle decisioni di acquisto dei consumatori negli anni 70 e 80 negli Stati Uniti hanno rivelato tassi di sconto impliciti mediamente compresi tra il 20% e il 35% per installazione di condizionatori ed isolamento termico degli edifici.

Quindi, nel calcolo dei tempi di recupero l'investitore usa tassi molto superiori a quello di mercato, perché comprende anche i molti rischi a cui è soggetta la propria attività: si parla di tasso di sconto implicito o avvertito.

- Molti dei cittadini che pagano le tasse e non usufruiscono degli incentivi spesso messi a disposizione dai governi per inserire nel mercato una nuova tecnologia, ritengono che non sia corretto spendere risorse pubbliche in opere private che, nella maggior parte dei casi, vengono recuperate con il semplice utilizzo del prodotto grazie al minore esborso di denaro per tutta la durata di funzionamento dell'apparecchio, grazie alla migliore efficienza energetica.

- Alcuni critici sostengono che alcune delle politiche di efficienza energetica intraprese tra gli anni 70 ed 80 non sembrano aver avuto successo. Tuttavia nel tempo tali strategie hanno subito un'evoluzione nel tempo ed ora sono molto più efficaci.

- Secondo coloro che sono favorevoli all'efficienza energetica, esiste una vasta gamma di fallimenti del mercato o barriere. Se ne possono citare alcuni:

1. forniture e disponibilità limitate relativamente alle nuove misure di efficienza energetica nel mercato;
2. i consumatori hanno informazioni carenti o incomplete sulle opzioni di efficienza energetica;
3. ad alcuni consumatori manca il capitale da investire in misure di efficienza energetica;
4. politiche fiscali o normative che scoraggiano gli investimenti in efficienza energetica;
5. incentivi fuori luogo con cui coloro che si occupano di progettazione, costruzione o acquisto di apparecchi o edifici, mirano a minimizzare il costo dell'intervento piuttosto che il costo dell'intero ciclo di vita;

6. prezzi dell'energia che non rispecchiano la totalità dei costi imposti alla società dalla produzione al consumo di energia.

I critici affermano invece che non tutti questi fallimenti o barriere di mercato siano in grado di superare la convenienza economica degli interventi. Inoltre i consumatori risentono della scarsa informazione in molti altri settori, e non solo in quelli dell'efficienza energetica.

- Molti sostengono che non sia possibile stimare il risparmio energetico ottenuto da interventi che lo consentono. Effettivamente è ancora molto difficile effettuare misure precise ma valutazioni tecniche hanno dimostrato che negli ultimi 30 anni il livello di precisione raggiunto sembra essere accettabile, in misure fatte sia prima che dopo gli interventi presi in considerazione.

- I sostenitori dell'efficienza energetica a volte tendono a sovrastimare i risparmi di energia. I critici affermano che un incremento dell'efficienza energetica a livello microeconomico porti ad un aumento dei consumi a livello macroeconomico, cioè tecnologie più efficienti, che creano nuova disponibilità di denaro, causano un aumento degli standard di vita e, a lungo termine, questa crescita può anche superare i risparmi energetici ottenuti.

E' vero che il consumo di energia ha continuato a crescere nei paesi industrializzati negli ultimi 30 anni nonostante gli sforzi per aumentare l'efficienza delle apparecchiature.

L'IEA (2004) ha stimato la riduzione effettiva del consumo di energia ottenuta dall'aumento dell'efficienza nei paesi industrializzati tra il 1973 e il 1998.

Guardando il grafico (figura 7.3), la zona inferiore mostra l'effettivo consumo energetico finale negli 11 principali paesi OCSE, mentre l'area superiore rappresenta l'uso ipotetico di energia che si avrebbe avuto se, in tutti i settori, le intensità energetiche fossero rimaste invariate e pari a quelle del 1973.

Dal 1998 i risparmi ammontano a 48 EJ (exajoules, $1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ J}$), che corrisponde al 49% del consumo di energia del 1998.

Quindi, secondo questo studio, l'uso finale di energia nei maggiori 11 paesi OCSE, sarebbe stato il 49% superiore nel 1998 se le intensità energetiche nei vari settori e impieghi finali fossero rimasti ai loro livelli 1973.

Questo a parità di servizi energetici resi, ma la loro domanda è stata influenzata da diversi fattori, tra cui l'efficienza energetica. Quindi, sarebbe comunque da considerare anche il legame che esiste tra aumento di efficienza energetica e aumento della domanda di servizi: ovvero, l'aumento della domanda di servizi avrebbe avuto lo stesso tasso di crescita se l'efficienza energetica non fosse aumentata?

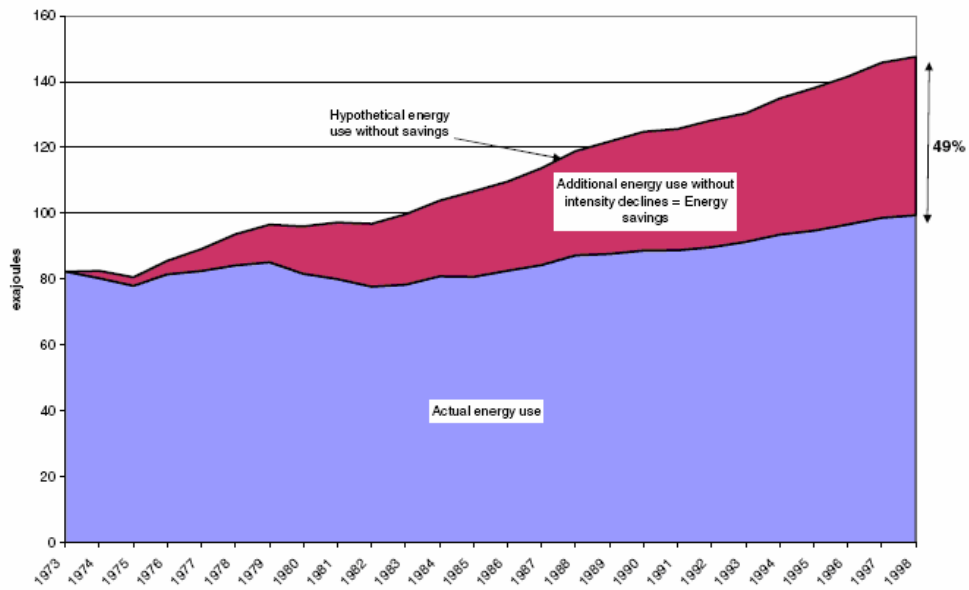


Figura 7.3 Actual energy use and hypothetical energy use without intensity reductions in 11 OECD countries (IEA 2004)

In questi ultimi 30 anni sono state introdotte da tutti i governi una serie di misure pratiche investendo in ricerca e sviluppo e per avere a disposizione prodotti sempre più efficienti.

7.1 Uno degli aspetti di maggiore criticità in efficienza energetica: l'effetto rimbalzo secondo l'IEA

Dopo avere dato alcuni accenni su ciascuno dei 9 punti di maggior criticità nei confronti dell'efficienza energetica trattati dallo studio IEA, si riprende in considerazione il primo punto, ovvero l'effetto rimbalzo.

Come già detto, una delle critiche più comuni delle politiche e dei programmi di efficienza energetica è che questi sovrastimino il reale risparmio energetico, ignorando l'effetto rimbalzo diretto. In base alla sua entità questo potrebbe teoricamente erodere interamente, o comunque una grossa porzione, del potenziale risparmio energetico ottenibile dagli interventi di aumento dell'efficienza energetica.

Questo effetto, già definito in precedenza, si riferisce all'aumento della domanda di servizi energetici (riscaldamento, condizionamento, illuminazione, ecc) quando il costo del servizio declina in seguito a miglioramenti tecnici in termini di efficienza energetica.

A causa del costo più basso, i consumatori e le imprese modificano il proprio comportamento, ad esempio aumentando il livello del termostato in inverno, raffreddando maggiormente i propri edifici in estate, acquistando più utilizzatori o usandoli più frequentemente, o ancora, guidando di più i propri veicoli.

Questo cambiamento comportamentale erode il risparmio energetico a causa dei miglioramenti tecnici dell'efficienza energetica.

Dan Khazzoom iniziò questa discussione basata sull'elasticità dei prezzi, sostenendo che, nel lungo periodo, l'effetto rimbalzo eroderà la maggior parte del risparmio energetico ottenuto dall'isolamento termico delle abitazioni o aumentando l'efficienza energetica degli apparecchi elettrici (Khazzoom 1980, 1987).

Khazzoom sostiene che questo risultato si verificherà se l'elasticità della domanda al prezzo sarà maggiore dell'unità. In particolare fa riferimento al riscaldamento residenziale, riscaldamento dell'acqua e alcuni tipi di elettrodomestici .

Lo studio IEA afferma che vi è un grande corpo di letteratura che suggerisce che l'effetto rimbalzo diretto è realmente verificato in molte situazioni.

La questione chiave è l'entità del rimbalzo.

Tale questione è stata affrontata in una revisione della letteratura in modo approfondito preparato dall'Ufficio di Politica e Relazioni Internazionali del Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti in collaborazione con il gruppo di lavoro per efficienza energetica della IEA (IEA 1998).

Una sintesi di questa recensione (autori: Greening, Greene, Difiglio; 2000) è stata pubblicata anche sulla rivista *Energy Policy*. Si analizzano di seguito i punti più importanti.

La prima parte realizza un'introduzione all'argomento trattato, spiegandone il meccanismo e gli effetti. Vengono citati inoltre alcuni cenni storici per dare nozioni a titolo informativo sugli studiosi che nel tempo si sono occupati di questo fenomeno.

Vengono poi spiegate le varie tipologie dell'effetto rimbalzo, mentre il terzo paragrafo si occupa dell'evidenza empirica dello stesso. Tutto ciò è già stato visto.

Come noto l'effetto rimbalzo diretto è stato riscontrato in vari settori di consumo energetico; gli autori hanno svolto delle misurazioni dirette dei fenomeni di rimbalzo per i diversi settori e per le principali applicazioni finali negli USA quali riscaldamento e condizionamento residenziali, altri consumi residenziali e trasporto privato.

Un'analisi della domanda ha indicato che il riscaldamento residenziale copre circa il 53% del fabbisogno energetico (elettricità e gas naturale) di una famiglia media (1995; Schwartz, Taylor; "Cold hands, warm hearth?: climate, net takeback, and household comfort" *Energy Journal*).

La stima dell'effetto rimbalzo varia molto a seconda dei metodi utilizzati.

Nel caso del riscaldamento sono diversi i fattori che devono essere inclusi nell'analisi.

Anche se la rilevazione delle variazioni del termostato è considerata uno strumento di misura delle attività di riscaldamento, questo è solo uno degli indicatori di cui tenere conto.

Dal momento che il riscaldamento è un "public good" *, il livello del comfort termico sembra poter fornire una miglior misura per questa attività.

* In economia un "public good" è un bene caratterizzato dalla 'non rivalità' ed è inoltre 'ineludibile'.

La prima caratteristica si riferisce al fatto che il consumo del bene da parte di un individuo non riduce la disponibilità di consumo dello stesso bene nei confronti di altri ; la seconda indica che nessuno può essere effettivamente escluso dall'utilizzo del bene.

Ovviamente, nel mondo reale non possono esistere beni perfettamente corrispondenti a tale definizione, ma gli economisti ritengono che alcuni beni approssimino il concetto in modo abbastanza buono e sufficiente per una corretta analisi economica.

Ad esempio, se un individuo gode della visita di un medico, vi è una visita del medico di meno per tutti gli altri soggetti, ed è inoltre possibile escludere altri soggetti dalla visita stessa. Questo significa che una visita medica è un "private good" in quanto non soddisfa né la non rivalità, né l'includibilità'.

Viceversa, la respirazione dell'aria in atmosfera non riduce in modo significativo la quantità di aria disponibile per gli altri soggetti, e la gente non può essere effettivamente esclusa dal suo utilizzo. Questo significa che l'aria è un "public good", anche se si tratta di un bene economicamente insignificante in quanto è un bene gratuito.

Un esempio meno banale è lo scambio di files musicali MP3 attraverso internet: l'uso di questi files da parte di una qualsiasi persona non ne limita l'uso da parte di chiunque altro; inoltre non vi è praticamente alcun controllo efficace sullo scambio di files musicali e di foto per cui nessun soggetto può essere escluso dall'utilizzo degli stessi.

Le determinanti del comfort termico sono: attitudine al comfort, livello di attività individuale, temperatura dell'aria, temperatura media radiante (scambio di calore tra il corpo umano e l'ambiente), velocità dell'aria ed umidità.

Purtroppo, queste variabili non sono di solito considerate, e di conseguenza i loro effetti non possono essere valutati.

Se inosservati, tutti questi fattori modificano la valutazione della domanda di riscaldamento rispetto al reale consumo e, se non adeguatamente controllati, provocano stime distorte.

Dalle considerazioni fatte dagli autori dello studio con un aumento del 100% dell'efficienza energetica in merito al riscaldamento di edifici, l'effetto rimbalzo assumerebbe comunque valori compresi tra il 10% ed il 30% del totale risparmio di energia.

Questo risultato suggerisce che qualsiasi miglioramento tecnologico potrà essere efficace tra il 70% e il 90% nella riduzione del consumo energetico per riscaldamento.

Secondo gli autori l'aria condizionata può contribuire per una quota fino all'11% del consumo di elettricità di una famiglia statunitense.

(1979; Hausman; "Individual discount rates and the purchase and utilization of energy-using durables" *Bell Journal of Economics*)

Le determinanti del comfort termico, e di cui bisognerebbe tenere conto, sono le stesse citate nella trattazione del riscaldamento residenziale.

Il numero di studi esaminabili relativi al condizionamento dell'aria è limitato se confrontato con quello degli studi che hanno analizzato il riscaldamento residenziale.

Hausman (1979) e Dubin (1986) hanno fornito le migliori misure del potenziale dell'effetto rimbalzo. Esistono studi più recenti ma nell'articolo si considerano questi.

Secondo gli autori, l'effetto rimbalzo stimato ammonterebbe ad una quota compresa tra lo 0% ed il 50% per un incremento dell'efficienza del 100%.

Ciò suggerisce che qualsiasi miglioramento tecnologico potrà essere efficace tra il 50% e il 100% nella riduzione del consumo energetico per condizionamento, e la variazione dipende ancora una volta da quei fattori che non vengono considerati.

Per gli altri usi residenziali l'effetto rimbalzo è molto limitato.

Per tali usi si intendono riscaldamento dell'acqua, illuminazione e altri elettrodomestici, per esempio il frigo.

In questa categoria i risultati disponibili, comunque limitati, suggeriscono che:

- l'effettivo risparmio di energia derivato da miglioramenti tecnici per il riscaldamento residenziale dell'acqua sarà compreso tra il 60% e il 90%;

- analogamente, il miglioramento tecnologico porterà ad una riduzione dei consumi compresa tra l'80% e il 95%;
- non si sono invece effettuate misure dell'effetto rimbalzo diretto per quanto riguarda i servizi di refrigerazione.

In questa categoria di servizi l'influenza del reddito potrebbe essere significativa; il consumatore potrebbe spostare il margine di consumo ottenuto grazie all'efficienza energetica verso il consumo di altri beni.

Tuttavia non vi sono misure che tengano conto di questo fattore.

Riassumendo brevemente quanto detto fino ad ora, gli autori hanno riscontrato che l'effetto rimbalzo è molto piccolo (meno del 10%) per gli apparecchi residenziali, illuminazione residenziale e commerciale, e meno del 20% per usi destinati a processi industriali.

Per riscaldamento residenziale, riscaldamento dell'acqua e trasporto automobilistico, hanno trovato che l'effetto rimbalzo è piccolo o moderato (< 10-40%).

Mentre per condizionamento residenziale, trovano che l'effetto rimbalzo sta nel range di 0 - 50% .
Segue una tabella illustrativa dello studio.

Figura 7.4 Tabella 1 - Summary of Empirical Evidence of the Rebound Effect in the US

Sector	End Use	Size of rebound effect
Residential	Space heating	10-30%
Residential	Space cooling	0-50%
Residential	Water heating	<10-40%
Residential	Lighting	5-12%
Residential	Appliances	0%
Residential	Automobiles	10-30%
Business	Lighting	0-2%
Business	Process uses	0-20%

Sources: IEA 1998; Greening, Greene and Difulio 2000.

In seguito ad un miglioramento tecnologico, l'effetto rimbalzo diretto nell'ambito del trasporto personale può manifestarsi in 3 diversi modi:

1. un aumento del numero di veicoli;
2. un aumento del consumo di carburante;
3. un aumento delle miglia percorse per veicolo.

In questo caso bisogna però considerare che l'effetto rimbalzo è strettamente legato all'analisi economica della domanda del carburante.

Negli Stati Uniti il consumo di carburante per trasporto personale costituisce poco più del 60% dei consumi energetici per trasporto, e i veicoli leggeri comprendono un po' meno del 60% di tale valore.

Tanto più la domanda è elastica rispetto alle variazioni del prezzo del carburante, o alle variazioni delle miglia percorse dal veicolo per unità di carburante, tanto maggiore sarà l'entità dell'effetto rimbalzo diretto.

Greene (1998) descrive in dettaglio gli studi sull'effetto rimbalzo associati al miglioramento dell'efficienza dei veicoli negli Stati Uniti, vale a dire il cambiamento dell'uso del veicolo al declino del costo del carburante per miglio.

Egli ritiene che l'esperienza e le modifiche del risparmio di carburante in oltre 25 anni porti ad un effetto rimbalzo di breve periodo dell'ordine del 10% e un effetto a lungo termine di circa il 20%.

Egli osserva, che “ l'80-90% della riduzione potenziale massima del consumo di carburante e delle emissioni di gas ad effetto serra a causa di una modifica tecnica del veicolo in efficienza sarà realizzata, anche a seguito della riduzione dei costi per miglio e un conseguente aumento delle miglia per veicolo” (Greene 1998).

Inoltre, Greene riscontrò una diminuzione nel tempo della sensibilità della domanda di trasporti: così come il costo per chilometro del carburante diminuisce, e poiché tale costo è considerato come una frazione del costo totale di possesso e gestione di un veicolo, a sua volta questo si riduce ed aumentano i redditi (Greene 1992).

L'articolo procede con un'introduzione e spiegazione generale dell'effetto rimbalzo indiretto ed aspetti già visti in precedenza.

Quindi per i settori energetici dell'economia statunitense per i quali sono disponibili studi, possiamo concludere che le stime dell'effetto rimbalzo sono molto basse o moderate; non si tratta tuttavia di valori trascurabili.

Ci sono stati anche alcuni studi empirici dell'effetto rimbalzo in Europa.

L'analisi dei retrofit (riqualificazione energetica) degli edifici residenziali in Austria ha trovato un effetto rimbalzo nel settore del riscaldamento del 20-30% (Haas e Biermayr 2000).

Nel Regno Unito, Milne e Boardman (2000) riscontrarono che circa il 30% del potenziale risparmio energetico ottenibile da misure di retrofit è stata assunta come un aumento del comfort soprattutto nelle famiglie a basso reddito a partire dalla fine degli anni 1990.

Ma l'entità di questo effetto è in diminuzione nel tempo a causa della crescente diffusione del riscaldamento centralizzato e l'aumento delle temperature medie al coperto (il livello di riscaldamento interno e del comfort è stato particolarmente scarso tra famiglie a basso reddito nel Regno Unito prima della diffusione di interventi di retrofit).

In sostanza, l'effetto rimbalzo è un fenomeno dinamico. Esso tende a diminuire nel tempo man mano che ci si avvicina alla saturazione della qualità dei servizi energetici.

È importante notare che l'effetto rimbalzo diretto, nella misura in cui si verifica, non è la prova che l'efficienza energetica sia un fallimento.

Significa semplicemente che alcuni consumatori scelgono di rispondere alla riduzione dei costi energetici, in parte aumentando il proprio livello di servizi energetici, ad esempio aumentando il livello di riscaldamento o raffreddamento, piuttosto che riducendo al minimo il consumo di energia ed i costi energetici.

Miglioramenti dell'efficienza energetica contribuiscono ancora ad un miglioramento del "benessere generale" (general welfare) consentendo un più elevato livello di comfort, una maggiore attività, o più basso costo energetico, o ancora una combinazione di queste risposte.

Gli analisti che suggeriscono che l'effetto rimbalzo eroderà parte dei risparmi di energia dovuti a miglioramenti dell'efficienza hanno come punto di forza le evidenze empiriche.

Effettivamente alcuni consumatori ed imprese incrementeranno la domanda di servizi energetici man mano che il costo del servizio diminuisce.

Ma l'evidenza empirica suggerisce che la dimensione dell'effetto rimbalzo è moderata, e l'entità esatta dipende dalla posizione, dal settore economico e dall'uso finale.

La maggior parte del risparmio diretto di energia ottenuto da miglioramenti tecnici in termini di efficienza energetica nei paesi dell'OCSE rimane anche dopo che l'effetto rimbalzo diretto è stato contabilizzato.

Chi suggerisce che l'effetto rimbalzo diretto porterà ad un aumento netto dei consumi energetici sembra faccia una stima grossolanamente esagerata rispetto all'entità del fenomeno.

Tuttavia, i responsabili politici e i sostenitori dell'efficienza energetica dovrebbero tenere conto di un piccolo effetto rimbalzo nelle proiezioni del risparmio globale di energia ottenibile grazie a politiche e programmi di efficienza energetica.

Questo è infatti raccomandato nel manuale metodologico per la valutazione dei programmi di efficienza energetica elaborato dal SRC International, 2001*.

* SRC International è una società di consulenza danese che lavora per il settore energetico.

SRCI, nata a Copenaghen nel 1990, fornisce servizi economici, normativi e di consulenza per la gestione nel settore energetico.

SRCI è specializzata nel coordinare l'interazione di risorse materiali professionali, tecnologiche, e per fornire soluzioni a problemi dalle mille sfaccettature.

Il suo lavoro comprende studi di strategia, pianificazione di attività energetiche nazionali e regionali, diagnosi energetiche, studi di fattibilità e analisi di efficienza energetica in tutti i segmenti del settore energetico.

I campi di maggior interesse sono la potenza, il gas naturale, teleriscaldamento, nonché le energie rinnovabili e risparmio energetico.

L'obiettivo di SCR è fornire servizi di consulenza di alta qualità, legate ad un uso efficiente e sostenibile delle risorse energetiche.

Conclusioni

Dopo avere introdotto i concetti di efficienza ed intensità energetiche, in questo elaborato è stato affrontato l'effetto rimbalzo nelle politiche per l'efficienza energetica, inizialmente in modo generale, nella trattazione del paradosso di Jevons e dando una prima classificazione al fenomeno. Hanno seguito poi analisi di tipo economico dell'effetto rimbalzo diretto e indiretto; infine, una trattazione in termini quantitativi riportando dati forniti principalmente da due studi, e commentando le informazioni che questi ci possono dare sull'evoluzione della domanda di energia a seguito di incrementi dell'efficienza energetica in alcuni dei principali settori di consumo.

Come abbiamo detto, negli studi che trattano l'effetto rimbalzo sono coinvolti una molteplicità di fattori che, per avere risultati altamente precisi, dovrebbero essere considerati.

Abbiamo anche detto però che per tenerne conto, dovrebbe esserci la possibilità di monitorare singolarmente gli apparecchi utilizzatori, o di analizzare tutte le varie abitudini di vita affermate nella società, o ancora di valutare il comfort desiderato, tutti aspetti essenzialmente soggettivi.

Questa molteplicità di fattori, dei quali la considerazione renderebbe precisa ma complessa la stima, offre possibili margini di miglioramento a tali studi. Alcuni di questi sono stati visti e discussi.

Una parte è stata dedicata agli aspetti critici che l'efficienza energetica presenta; anche queste criticità, come i punti a favore, attirano numerosi sostenitori.

Il discorso è interessante perché, tra a vari punti considerati "deboli" delle opere di efficienza energetica, spicca proprio l'effetto rimbalzo.

Si ritiene che il ruolo svolto da questi "critici" sia comunque molto importante, indipendentemente dal fatto che questi abbiano ragione o meno. Sono proprio i continui dubbi e le discussioni che spingono ad un'analisi approfondita fino alla totale acquisizione della consapevolezza del problema, se effettivamente si manifesta e, se sì, in quali casi e in quale scala.

Trattasi quindi di questioni e preoccupazioni valide.

Tuttavia i critici, che sostengono le proprie tesi senza però avere anche una certa criticità anche nei confronti delle stesse, spesso esagerano ritenendo le politiche di efficienza energetica un fallimento. La maggioranza degli studi empirici sembra suggerire che l'erosione del risparmio energetico a causa dell'effetto rimbalzo sia modesta nella maggior parte dei casi visti.

Molte politiche di efficienza energetica rendono un sostanziale risparmio di energia quando questo sia adeguatamente valutato, ad esempio con sistemi per la misura e la contabilità del risparmio, se questo avviene.

Politiche e programmi possono essere progettati o applicati malamente. Ci sono esempi di provvedimenti che non sono stati di successo, come quelli sull'efficienza degli edifici negli Stati Uniti. Ma l'esistenza di questi casi non significa che la ricerca in efficienza energetica sia un fallimento.

Il punto di forza sta nell'analizzare correttamente i risultati, apprendere ciò che si ha sbagliato per non ripeterlo in futuro.

Le stime sull'entità dell'effetto rimbalzo ottenute dagli studi non sono statiche e confermate ma continueranno a variare, sia in funzione delle variazioni della domanda nel mercato, sia soprattutto per il fatto che gli studi sono destinati a raffinarsi nel tempo incrementando il loro livello di precisione, soprattutto in quei settori dove il range delle stime è ancora molto ampio, per esempio nell'ambito del riscaldamento.

Tali stime richiederanno quindi un'ulteriore analisi; inoltre si necessita di un maggior numero di studi empirici per una valutazione dell'entità dell'effetto in una varietà di usi finali, inclusi isolamento termico di edifici, finestre o elettrodomestici.

Considerando il settore del trasporto personale, oltre che per le automobili, si necessita di un aumento del numero delle misure anche per gli altri mezzi privati.

Tutti i modelli attualmente utilizzati necessitano di miglioramenti, in particolare la considerazione dell'effetto della saturazione del servizio o del suo trade-off con altri beni o servizi.

Tuttavia questo non è possibile a causa della mancanza di dati per alcuni di questi usi finali.

Inoltre, nei settori valutati, il valore che l'effetto rimbalzo può raggiungere, ovvero il limite superiore delle stime, ci indica che la sua entità è fortemente dipendente dai cambiamenti delle abitudini comportamentali.

Questo ci porta a concludere che l'entità dell'effetto rimbalzo non è tale per cui l'importanza dell'efficienza energetica, o della riduzione delle emissioni di carbonio, possano essere messe in secondo piano.

Quindi le politiche climatiche che si basano esclusivamente sulle tecnologie di efficienza energetica potrebbero necessitare di "rinforzi" da parte di strumenti del mercato, come tasse sul carburante o altri meccanismi incentivanti alla riduzione dei consumi.

Senza alcun aiuto da parte del mercato, una parte significativa delle riduzioni di emissioni di carbonio e del consumo di energia realizzabili tecnologicamente potrebbero essere perse nel rimbalzo dei consumi.

Bibliografia

- www.rinnovabili.it
L'efficienza energetica
Obiettivi 2020 del piano UE sul clima
- <http://dx.doi.org/10.1787/660641644443>
Total primary energy supply per unit of GDP OECD FACTBOOK 2005 – ISBN 92-64-01869-7 – © OECD 2005
- www.iea.org
The experience with energy efficiency policies and programmes in IEA countries -
Learning from the critics
WEO 2009 - sintesi_italian
IEA Statistics - Questionnaire Centre – What are the methods of calculation of primary energy equivalent?
WEO 1998 - Power Generation - Electricity Generation
- www.ukerc.ac.uk
ReboundEffect - UKERC Review of evidence for the rebound effect;
The main report
Graphical illustration of rebound effect
Econometric studies
The Rebound Effect - Key issues, main findings; Steve Sorrell, 2007 - Energy Institute
- www.sciencedirect.com
Energy efficiency and consumption; The rebound effect – a survey; Greening, Greene, Difiglio; Energy Policy , 2000
- www.srci.dk
SRC International