

## EFFICIENZA ENERGETICA: CONDIZIONE OD OSTACOLO ALLA GREEN GROWTH?

*While vast productivity increases do indeed incentivize a more efficient use of energy (and resources), they rise demand at the same time. Such increased demand as a result of increased productivity is termed a «rebound effect». Because rebound effects nullify a considerable proportion of the savings potential of efficiency technologies and measures, continuous economic growth will eventually thwart the much-needed reduction of total energy consumption. Can environmental policies and measures curb or even prevent rebound effects and hence enable growth to be sufficiently decoupled from natural resource use?*

*Gli aumenti di produttività incentivano un uso più efficiente dell'energia (e delle risorse) ma allo stesso tempo incrementano la domanda. La crescita della domanda a seguito di un aumento di produttività è definito «effetto rimbalzo». Poiché tale effetto annulla una parte consistente del risparmio potenziale derivante dalle tecnologie e dalle misure di efficienza, una continua crescita economica finirà con l'impedire l'indispensabile riduzione del consumo totale di energia. Possono le politiche e le misure ambientali contenere o prevenire gli effetti rimbalzo e consentire quindi una crescita sufficientemente sganciata dall'uso di risorse naturali?*

**L**l concetto di «crescita verde» è soltanto l'ennesima promessa di tenere unite ecologia ed economia in una situazione *win-win*. Si fonda sull'idea di una «rivoluzione dell'efficienza»: molteplici innovazioni frutto di tecnologie verdi ed ecocompatibili, ingenti investimenti per ristrutturare in forme sostenibili i settori industriale, edilizio e dei trasporti, e una spinta all'utilizzo più produttivo ed efficiente delle risorse e dell'energia. L'idea di fondo è che il reddito nazionale possa continuare a cre-

scere, centrando allo stesso tempo gli obiettivi di sostenibilità. Questo articolo analizza un vizio fondamentale insito nella nozione di crescita verde: mentre i cospicui aumenti di produttività incentivano effettivamente un uso più efficiente dell'energia (e delle risorse), allo stesso tempo incrementano la domanda – quel che è in contrasto con l'obiettivo di risparmiare energia. La crescita della domanda a seguito di un incremento di produttività è definito «effetto rimbalzo». Poiché tale effetto annulla una parte consistente del risparmio potenziale derivante dalle tecnologie e dalle misure di efficienza, una continua crescita economica finirà alla lunga per impedire l'indispensabile riduzione del consumo totale di energia.

Sebbene il nesso causale tra produttività energetica e aumento della domanda sia stato identificato nel 1865 e sia discusso nelle scienze economiche dal 1980, l'effetto rimbalzo è ancora ignorato dalla maggior parte degli studi e delle politiche energetiche e climatiche. Istituti di ricerca di spicco, come l'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) e l'*International Energy Agency* (IEA), assumono nei loro scenari e nelle loro previsioni che la maggior parte delle necessarie riduzioni delle emissioni di gas a effetto serra può essere realizzata per mezzo di miglioramenti di efficienza. Questo deve essere messo in dubbio, perché l'effetto rimbalzo può limita-

\* Germanwatch, Berlino  
santarius@germanwatch.org

re o in casi estremi addirittura superare il potenziale di risparmio delle misure di efficienza energetica.

Questo articolo esplora la gamma dei possibili effetti rimbalzo, ne illustra la portata quantitativa e descrive le difficoltà che la politica incontra nel tentativo di contenerli. Esso rivela che vi è un urgente bisogno di prendere in considerazione gli effetti rimbalzo negli scenari scientifici e nei processi decisionali.

## 1. CRESCITA E DISACCOPPIAMENTO

È ormai largamente accettato a livello politico e sociale che nel prevedibile futuro le moderne società industrializzate dovranno affrontare la sfida di un cambiamento piuttosto radicale. L'aumento dei prezzi del petrolio, l'esaurimento delle risorse, l'accelerazione del riscaldamento globale e una perdita di diversità delle specie senza precedenti nella storia renderanno essenziale una «grande trasformazione» – in particolare per attenuare il danno ambientale causato dal metabolismo industriale e per avviare la società su un percorso socialmente e ambientalmente sostenibile.

Vi è tuttavia un accordo molto meno ampio sulla forma che il nuovo corso prenderà e, quindi, su come lo sviluppo sostenibile sarà effettivamente raggiunto. Una delle questioni attualmente oggetto di controversia è se una crescita economica continua sia un rischio o un requisito dello sviluppo sostenibile. In effetti, il dibattito in tema di sostenibilità, cambiamento climatico e politica ambientale è caratterizzato da una profonda contrapposizione: da una parte stanno gli araldi della rivoluzione dell'efficienza e gli ottimisti tecnologici, che vedono come auspicabile e addirittura necessaria una crescita economica continua; dall'altra stanno i fautori dell'autosufficienza e di un cambiamento cul-

turale, che invocano come minimo l'abbandono del paradigma della crescita nella politica economica, e a volte sostengono addirittura la stagnazione o la decrescita<sup>(1)</sup>. Sullo sfondo di queste opinioni contrapposte stanno ipotesi contrastanti, sulla cui veridicità i ricercatori devono ancora esprimere il loro verdetto finale.

Nel tentativo di trovare una soluzione scientificamente robusta a questi punti di vista contrastanti, è essenziale considerare le argomentazioni a favore e contro il disaccoppiamento della «crescita economica»<sup>(2)</sup> dall'«uso delle risorse naturali»<sup>(3)</sup>. In ultima analisi, la questione cruciale nel dibattito sulla crescita è: può l'uso delle risorse naturali essere disaccoppiato in termini assoluti dalla crescita economica oppure no? L'argomento centrale in favore del disaccoppiamento ritiene che il consumo di risorse non rinnovabili e le emissioni di sostanze nocive potrebbero essere drasticamente ridotti mediante strategie di efficienza e compatibilità, anche in una situazione di continua crescita<sup>(4)</sup>. I critici, invece, temono che un disaccoppiamento adeguato in termini quantitativi tra crescita e consumo di risorse naturali non sia possibile. Più precisamente, temono che il consumo di risorse naturali non possa essere ridotto tanto drasticamente quanto necessario per raggiungere gli obiettivi di sostenibilità, per esempio tramite una riduzione di un fattore 10 dei materiali impiegati nei processi produttivi, o il calo delle emissioni di gas serra dell'80-90% nei paesi industrializzati. A sostegno di questo punto di vista citano varie ragioni, tra cui il progressivo spostamento dell'uso delle risorse naturali dai paesi industrializzati al *global South*<sup>(5)</sup> e il peggioramento del bilancio energetico netto che risulta dal passaggio alle fonti rinnovabili<sup>(6)</sup>. Ma la ragione più importante da opporre a un disaccoppiamento sufficiente tra crescita economica e uso delle risorse naturali è l'effetto

rimbalzo, che è oggetto di questo articolo.

### 1.1. Il paradosso dimenticato

Anche se non ha usato questo termine, il meccanismo dell'effetto rimbalzo fu descritto nella famosa opera di William Stanley Jevons *The Coal Question* (1865) in cui si riferiva come, paradossalmente, i miglioramenti di efficienza nell'uso di carbone non si traducevano in un risparmio, ma in un aumento del consumo di questa fonte, perché il progresso tecnico aumenta la domanda di energia. L'aspetto fondamentale del concetto di «rimbalzo» che è impiegato in questo articolo non è l'entità dell'effetto, ma il nesso causale tra maggiore efficienza e maggiore domanda: *un effetto rimbalzo descrive l'aumento di domanda che è causato o almeno attivato da uno o da una serie di aumenti di produttività*. La definizione riconosce che non solo l'aumento di produttività di risorse o energia, ma anche l'aumento di produttività del lavoro e del capitale può portare a un aumento della domanda. Tuttavia, ci limiteremo qui al lato dell'output nella considerazione di una crescente domanda di energia.

Il paradosso descritto da Jevons è stato largamente ignorato dalla comunità scientifica per più di un secolo. Di conseguenza, il pensiero e il comportamento dei politici, delle imprese e dei consumatori continua a essere dominato dall'idea che «efficienza è uguale a risparmio». È dato per scontato che l'uso più efficiente di energia e risorse comporti una riduzione assoluta nel loro utilizzo. Eppure ciò che sembra intuitivamente evidente in relazione a un esempio specifico, non è chiaramente valido per il consumo di energia delle società nel loro complesso. D'altra parte, è evidente che quelle società che a partire dall'industrializzazione hanno segnato i maggiori progressi in termini di produttivi-

tà che l'umanità abbia mai conosciuto hanno continuamente incrementato il loro consumo di energia e di risorse. La comprensione delle cause e dei meccanismi dell'effetto rimbalzo non solo spiega questo apparente paradosso, ma rende anche del tutto logica e plausibile la correlazione positiva tra una crescente produttività energetica e l'aumento della domanda.

Si è dovuto attendere fino al 1980, quando Khazzoom (1980) e successivamente Brookes (1990) hanno rilanciato l'ipotesi di Jevons e riaperto la discussione sul concetto di rimbalzo. Da allora, tuttavia, tale effetto è stato considerato solo da un numero relativamente ristretto di economisti, che lo hanno osservato principalmente da due prospettive: da un lato, gli economisti ambientali ne hanno discusso nel contesto del legame tra crescita economica e domanda di energia (7); dall'altro, a partire dal 1980 un numero modesto ma crescente di studi empirici ha cercato di quantificare gli effetti rimbalzo per determinati settori o gruppi di prodotti ricorrendo a serie storiche o modelli econometrici (8).

Non c'è ancora stata, invece, quasi alcuna discussione scientifica in discipline estranee all'economia. Non sono stati realizzati studi sociologici, sia su temi come il rapporto tra l'effetto rimbalzo e il comportamento individuale o dal punto di vista della teoria dei sistemi (9). Analogamente, è stata discussa in modo insufficiente la prospettiva delle scienze politiche, ad esempio per quel che concerne le politiche e le misure che possono essere intraprese per ridurre gli effetti rimbalzo. In breve, sebbene il fenomeno sia stato identificato quasi 150 anni fa e poi ripreso dopo la pubblicazione dei lavori di Khazzoom e Brookes, e sebbene sia stato oggetto di un crescente dibattito pubblico negli ultimi anni, c'è ancora una forte necessità di svolgere ricerche anche in campo economico, e certamen-

te nella maggior parte delle altre discipline accademiche.

### 1.2. Focus dello studio

Negli ultimi anni sono state pubblicate diverse ricerche analitiche generali e rassegne della letteratura in materia di effetti rimbalzo ma manca ancora, tuttavia, un'analisi esauriente sulla loro origine. In passato le cause sono state di solito descritte in termini economici, citando l'interazione tra prezzi, redditi, domanda (di energia) e investimenti: tutte le analisi si riferiscono quindi a effetti di reddito, di prezzo o di sostituzione, ipotizzando in genere individui razionali che massimizzano la loro utilità. Per contro ci sono stati ancora pochi tentativi di descrivere gli effetti rimbalzo in termini psicologici e sociali: domande ovvie, come per esempio perché la gente *vuole* realmente consumare di più quando un risparmio è stato conseguito, non hanno ancora ricevuto risposta dalla ricerca. Questo articolo intende dimostrare come incrementi di efficienza possono portare a una maggiore domanda anche a prescindere dagli effetti di reddito. Va tenuto a mente che i miglioramenti di efficienza tecnologici non riducono solo i costi, ma possono anche produrre un risparmio di tempo o rendere socialmente più accettabile un comportamento ecologicamente orientato. Tutte queste conseguenze possono cambiare le preferenze delle persone, così che gli effetti rimbalzo indotti da aspetti psicologici e sistemici devono essere considerati insieme a quelli di natura finanziaria e materiale descritti dalle scienze economiche (10).

Inoltre, il campo degli studi empirici si è concentrato sull'analisi econometrica degli effetti rimbalzo legati ai consumi, mentre le indagini su tali effetti legati alla produzione e su scala macroeconomica sono rari. Ancora: nel dibattito sono assenti spiegazioni teoriche solide di come nascono gli effetti

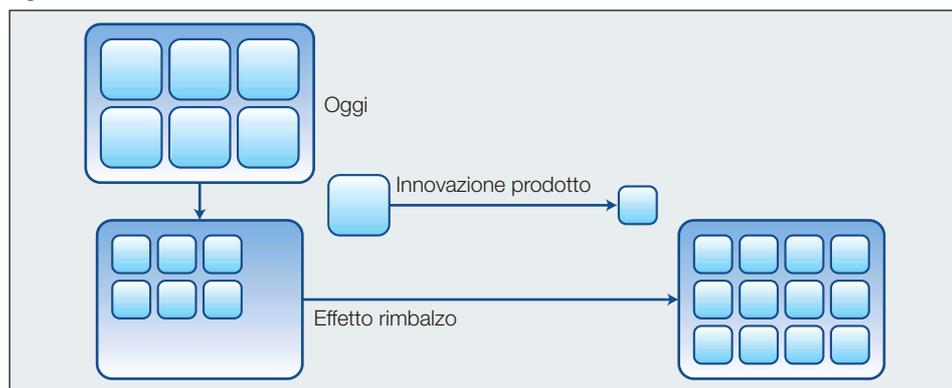
rimbalzo macroeconomici. Introducendo il concetto di «effetti rimbalzo interfattoriali», intendiamo qui contribuire a chiarire i meccanismi degli effetti rimbalzo che coinvolgono l'intera economia e aggiungere ulteriori cause sistemiche a quelle che si collocano sul lato della produzione e del consumo.

Una conoscenza più approfondita dei meccanismi in atto quando si verificano gli effetti rimbalzo (par. 2) e la loro possibile portata quantitativa (par. 3) sono essenziali prima di poter fare anche un solo tentativo per stabilire se questi effetti possono essere limitati con strumenti politici. Possono le politiche e le misure ambientali contenere o addirittura prevenire gli effetti rimbalzo e, quindi, consentire una crescita sufficientemente sganciata dall'uso di risorse naturali? Un esame critico degli attuali strumenti di politica ambientale lascia poche speranze di successo in questo ambito (par. 4). Questo scetticismo solleva inevitabilmente la questione di come si possano integrare con successo strategie di efficienza nelle future politiche di sostenibilità e quali condizioni debbano essere soddisfatte se tali strategie devono svolgere un ruolo pienamente costruttivo nella «grande trasformazione» verso modelli più sostenibili di produzione e consumo (par. 5).

## 2. CAUSE DEGLI EFFETTI RIMBALZO

In letteratura sono spesso identificati tre tipi di effetti rimbalzo. Il primo è l'effetto diretto, che si manifesta in un aumento della domanda per lo stesso prodotto o servizio (il passaggio da una vettura che consuma sei litri di carburante per 100 km a una che ne consuma tre può causare viaggi addizionali con quest'ultima auto). Il secondo è l'effetto rimbalzo indiretto, che si manifesta in un aumento della domanda di prodotti o servizi diversi (il passaggio a un'auto che consuma meno ben-

Fig. 1 - EFFETTO RIMBALZO: RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA



Fonte: Wuppertal Institute.

zina può spingere i consumatori a fare più vacanze in aereo). Il terzo tipo di effetto è quello strutturale o macroeconomico: se molti automobilisti guidano vetture con consumi più bassi, la domanda totale di benzina scende, spingendo verso il basso i prezzi relativi e incentivando un aumento della domanda di prodotti che consumano energia in altri settori.

Il livello di un effetto rimbalzo è generalmente definito come la percentuale di una tecnologia o di una misura efficiente che è compensata da un incremento della domanda. Per calcolare questa percentuale è necessario distinguere tra il potenziale tecnicamente e teoricamente fattibile di efficienza (quel che potrebbe essere stimato da ingegneri), da un lato, e, dall'altro, quello che può effettivamente essere realizzato in pratica. A titolo esemplificativo, lo sviluppo di nuovi motori rende teoricamente possibile che le auto consumino in media tre litri di benzina per 100 km invece di sei, ma per il calcolo dell'effetto rimbalzo il dato importante è la quantità di benzina che tali vetture consumeranno nell'arco della loro vita utile. Un effetto rimbalzo del 50% significherebbe che quando gli automobilisti passano a un'auto con consumi dimezzati di carburante, la metà dell'incremento totale di efficienza tecnica è compensata da una maggior domanda di mobilità.

Una forma estrema di tale effetto è il cosiddetto fenomeno di

*backfire* – Saunders lo ha chiamato il postulato Khazzoom-Brookes<sup>(11)</sup> – che in sostanza è un effetto rimbalzo che oltrepassa il 100%. Già nel 1865 Jevons aveva descritto che, a seguito degli effetti rimbalzo, i risultati degli incrementi di efficienza non sono solo parzialmente compensati, ma sono più che compensati, in modo che dopo l'incremento di efficienza i consumi energetici sono più alti di quanto non fossero prima.

Ma come si verificano gli effetti rimbalzo diretti, indiretti e macroeconomici? Perché i consumatori utilizzano più energia dopo l'acquisto di un prodotto più efficiente? Perché la domanda a livello macro si orienta verso prodotti e settori che impiegano energia quando l'efficienza energetica migliora nell'economia nel suo complesso? Numerose sono le ragioni per cui un effetto rimbalzo può ve-

rificarsi e possono essere classificate come finanziarie, materiali, psicologiche e interfattoriali (Tab. 1)<sup>(12)</sup>.

### 2.1. Effetti rimbalzo finanziari

Gli effetti rimbalzo finanziari sono suscitati dal risparmio di spesa conseguente a misure di efficienza. Il passaggio a vetture più efficienti, per esempio, significa che gli automobilisti hanno bisogno di spendere meno per la benzina. Come impiegano il denaro risparmiato? E come cambiano il prezzo della benzina e dell'energia se le auto che consumano solo tre litri di benzina per 100 km diventano la norma, come presto potrebbe accadere? A questo proposito si possono identificare tre effetti rimbalzo finanziari.

Le azioni di efficienza energetica che sono ammortizzate in termini economici danno come risultato un aumento del reddito reale per il consumatore. Un effetto rimbalzo può essere allora causato da un *effetto reddito*. Anche se una vettura che consuma tre litri di benzina per 100 km è all'inizio più costosa di quelle tradizionali e meno efficienti, l'investimento può essere recuperato nel tempo. Il denaro risparmiato può essere destinato a un maggior consumo di tipo analogo (effetto rimbalzo diretto) – in altre parole, con una vettura più efficiente ci si possono concedere percorrenze più lunghe. Oppure il denaro può essere speso nel consumo di altri beni e servizi che a loro volta consumano energia e risorse (effetto rimbalzo indiretto), così che la portata di questo effetto dipende dalla quantità di risorse naturali che tali beni e servizi utilizzano. Un esempio è la correlazione esistente tra riscaldamento degli ambienti e spazi occupati in Germania. L'azione combinata di misure per l'isolamento degli edifici e dell'adozione di caldaie più efficienti, ha fatto scendere tra il 1995 e il 2005 del 9% il fabbisogno di energia necessario a riscaldare un me-

Tab. 1 - CLASSIFICAZIONE DEI 13 POSSIBILI EFFETTI RIMBALZO

#### Effetti rimbalzo finanziari

- effetto reddito
- effetto reinvestimento
- effetto prezzo di mercato

#### Effetti rimbalzo materiali

- effetto energia incorporata
- effetto nuovi mercati
- effetto accumulo beni di consumo

#### Effetti rimbalzo psicologici

- effetto moral hazard
- effetto moral leaking
- effetto moral suasion

#### Effetti rimbalzo interfattoriali

- effetto interfattoriale
- effetto materiale interfattoriale
- effetti interfattoriali multipli
- effetto efficienza del consumo

tro quadrato di spazio occupato; tuttavia, l'energia totale consumata per il riscaldamento delle abitazioni private è aumentato nello stesso periodo del 2,8%. Il risparmio dato dall'efficienza è stato più che compensato da un aumento di circa il 13% della domanda di spazio abitativo. Nel complesso, in Germania il consumo pro-capite di combustibile per riscaldare gli ambienti è rimasto costante dal 1970. Il disaccoppiamento non ha avuto luogo <sup>(13)</sup>.

Se nei processi produttivi sono realizzati interventi di efficientamento in grado di abbattere i costi, il conseguente aumento di reddito reale sul lato della produzione può dare luogo a un *effetto di reinvestimento* equivalente all'effetto reddito visto prima. Le aziende possono utilizzare i maggiori profitti o per incrementare lo stesso tipo di produzione (rimbalzo diretto visto in termini di espansione) o per investire in prodotti e servizi nuovi (rimbalzo indiretto visto in termini di diversificazione della gamma di prodotti). L'azienda può anche aumentare i salari dei lavoratori, quel che può a sua volta produrre l'effetto reddito di cui sopra. Di frequente, un prevedibile risparmio di costo che andrebbe a vantaggio del consumatore si traduce in un investimento per riprogettare il prodotto esistente, forse per renderlo più attraente. Miglioramenti di efficienza della tecnologia dei motori sono stati raramente usati per immettere sul mercato auto più efficienti; sono state invece fabbricate auto più potenti, veloci e pesanti che consumano la stessa quantità di benzina per km percorso. I dati relativi al consumo di carburante per il classico Maggiolino VW del 1955 (7,5 litri per 100 km) e per il modello del 2005 (7,1 litri per 100 km) sono quasi identici, ma mentre il modello precedente pesava 730 kg, aveva un motore da 30 CV e raggiungeva una velocità massima di 110 km/h, la versione del 2005 pesa circa 1.200 kg, ha un motore da 75 CV ed è in grado di

arrivare a 160 km/h. Qui l'effetto rimbalzo, misurato in termini di tonn.-km per litro di benzina, è chiaro.

Questi effetti rimbalzo a livello di singolo agente (consumatore o produttore) possono dare luogo in modo aggregato a effetti supplementari a livello sociale. La diffusione di automobili efficienti ridurrà la domanda di benzina complessiva, così che i prezzi della benzina diminuiranno o almeno aumenteranno più lentamente di quanto avrebbero fatto se l'efficienza non fosse migliorata. La riduzione del prezzo potrebbe innescare un aumento della domanda da parte di altri settori o per altri prodotti che consumano benzina e che diventano ora più economici da gestire. Questo può essere definito un *effetto prezzo di mercato*. Le amministrazioni locali possono ora spendere di più per sostituire le scope tradizionali con soffiatori di foglie alimentati a benzina. La diffusione in alcune parti della Germania meridionale e dell'Austria di stufe a pellet efficienti può provocare una diminuzione relativa dei prezzi locali del legname, consentendo alle industrie della lavorazione del legno di diventare più competitive e di accrescere la loro richiesta di materia prima.

## 2.2. Effetti rimbalzo materiali

Gli investimenti in efficienza possono aumentare la domanda di energia o di materiali per la fabbricazione dei prodotti a essi associati. Questi costi di energia e materiali sono definiti «energia grigia» in quanto sono «incorporati» nel prodotto, mentre l'associato incremento della domanda può essere chiamato *effetto energia incorporata*. Una casa non isolata, per esempio, ha quotidianamente bisogno di più energia per il riscaldamento rispetto a una casa provvista di isolamento, ma la fabbricazione di materiali isolanti richiede energia che non è necessaria quando si costruisce



una casa senza isolamento. Il consumo energetico addizionale richiesto per produrre i materiali isolanti può essere confrontato con l'energia per riscaldamento risparmiata durante la vita utile della casa. Vari studi collocano i tempi di ritorno energetico dei materiali isolanti in edilizia tra 1 e 15 anni, a seconda della tipologia specifica di isolamento, del tipo di edificio e della zona climatica. Se si parte dal presupposto che gli edifici hanno una vita utile di circa 100 anni, questo corrisponde a un effetto rimbalzo materiale compreso tra 1-15% <sup>(14)</sup>. Per molti prodotti in grado di risparmiare energia sono ora disponibili analisi del ciclo di vita che mostrano l'entità dell'effetto energia incorporata e indicano la vita utile e il tipo di utilizzo che rendono conveniente l'investimento in prodotti più efficienti.

Non sarà possibile introdurre nuove tecnologie efficienti e cambiare la struttura dell'economia – spostandola dalle fonti fossili di energia e dalle risorse esauribili verso quelle rinnovabili – solo convertendo gli impianti di produzione esistenti. Dovranno invece essere sviluppate su larga scala nuove capacità e nuove infrastrutture. In altre parole, sono necessari mercati completamente nuovi ed è quindi appropriato parlare di un *effetto nuovi mercati* <sup>(15)</sup>. Per esempio, a seconda di come sarà generata l'elettricità necessaria per le

auto elettriche, l'introduzione su vasta scala di questi veicoli può effettivamente portare a guadagni di efficienza per km percorso. Ma per capire le implicazioni dell'effetto rimbalzo per la società nel suo complesso, è importante considerare non solo l'analisi del ciclo di vita dalla produzione, all'uso e allo smaltimento delle auto elettriche, ma anche la costruzione delle nuove infrastrutture materiali rese necessarie dall'uso di tali veicoli – dalle industrie coinvolte nella produzione dei nuovi motori e batterie, alle stazioni per la ricarica o *Quickdrop* in cui gli automobilisti possono lasciare le batterie scariche in cambio di altre ricaricate di nuovo. Anche gli stipendi che gli ingegneri che sviluppano le nuove batterie o gli addetti alle nuove stazioni di ricarica usano per pagare i propri fabbisogni energetici possono produrre effetti rimbalzo – perché il loro reddito diventa maggiore di quanto non fosse prima, o perché nel complesso sono ora occupate più persone. In sintesi, l'effetto nuovi mercati comprende tutti gli effetti rimbalzo materiali che non sono compresi in un'analisi del ciclo di vita dei singoli prodotti.

Simile al precedente è un effetto rimbalzo materiale identificabile a livello dei consumatori e che possiamo definire *effetto accumulo di beni di consumo*. Il suo punto di partenza è il fatto che con l'acquisto di beni più efficienti e più ecologici spesso non si sostituisce ma si integra il bene convenzionale. Quando viene acquistato un frigorifero ad alta efficienza, il vecchio elettrodomestico, a maggior consumo di energia, può essere spostato a una nuova destinazione (in cantina o nella casa di vacanza), così come l'acquisto di un'auto elettrica non comporta necessariamente la rottamazione di quella ad alimentazione convenzionale, che magari viene data in uso ai figli. In termini di analisi del ciclo di vita del prodotto più efficiente o dell'uso di risorse da parte del singolo individuo, il con-

sumo di risorse effettivamente si riduce, ma per la società nel suo insieme l'accumulo di beni di consumo nuovi e vecchi produce un effetto rimbalzo materiale.

### 2.3. Effetti rimbalzo psicologici

Man mano che prodotti e servizi diventano più rispettosi dell'ambiente, non solo cambiano le loro caratteristiche tecniche, ma spesso anche il loro significato simbolico. Le persone possono arrivare a concludere che, a seguito dei miglioramenti di efficienza, l'uso di qualcosa che era largamente considerato nocivo viene ormai ritenuto rispettoso dell'ambiente, e questo può portare a un aumento della domanda. Nel campo della psicologia sociale questo è chiamato *effetto moral hazard*. Con grande sorpresa dei ricercatori coinvolti, uno studio empirico condotto in Giappone ha dimostrato che coloro che avevano acquistato un'auto considerata «ecologica» (per esempio con motore ibrido), a distanza di un anno avevano fatto percorrenze superiori di almeno 1,6 volte rispetto alla situazione precedente<sup>(16)</sup>.

L'aumento della domanda legato a un prodotto ormai a basso consumo energetico non è necessariamente il risultato di un'azione attiva, intesa in modo razionale, ma può anche essere la conseguenza di un comportamento non intenzionale. Dopo l'installazione di una caldaia più efficiente, i consumatori possono per esempio sentirsi sollevati dal fatto di non doversi più preoccupare di tenere le finestre sempre chiuse d'inverno. Allo stesso modo, l'acquisto di lampade compatte fluorescenti a basso consumo energetico potrebbe indurre a lasciare le luci accese nei locali inutilizzati – anche perché il costo per il consumatore di lasciare la luce accesa si riduce. L'acquisto del prodotto più efficiente in effetti salva la coscienza delle persone, ed è per questo motivo che si potrebbe coniare la definizione di *effetto moral leaking*:

perché in termini ambientali, economici e a volte anche sociali, le azioni di risparmio energetico (chiudere le finestre, spegnere le luci) non hanno più una grande importanza, e quindi non sono più una priorità nella gerarchia di motivazioni e possono anche essere abbandonate del tutto. L'effetto *moral leaking* fornisce un ulteriore chiarimento dell'effetto rimbalzo diretto.

Viceversa, l'*effetto moral licensing* è una forma di effetto rimbalzo indiretto: poiché è stato acquistato un prodotto ecologico, la domanda di altri prodotti dannosi per l'ambiente cresce. Alcuni studi empirici hanno già dimostrato che l'acquisto di prodotti «etici» (alimenti biologici, prodotti del commercio equo e solidale, etc.) può portare i consumatori a sentirsi giustificati a fare acquisti non etici in altre aree<sup>(17)</sup>. Si può facilmente immaginare come questo possa anche portare a un effetto rimbalzo psicologico in relazione al consumo di energia: chi ha acquistato una vettura economica può concedersi più viaggi in aereo, oppure chi ha sostituito tutte le proprie lampadine tradizionali con lampade fluorescenti compatte può auto-giustificarsi l'acquisto di un nuovo televisore al plasma o di un proiettore multimediale.

### 2.4. Effetti rimbalzo interfattoriali

Dopo aver considerato gli effetti dei miglioramenti di efficienza energetica, vediamo ora come anche gli aumenti di produttività di altri fattori possano a loro volta fare crescere la domanda di energia. In primo luogo ci occuperemo brevemente di come incrementi della produttività del lavoro impattino sulla domanda di lavoro.

Mentre le strategie di efficienza energetica si basano sul presupposto che il miglioramento di efficienza può risparmiare energia in generale, gli incrementi di produttività del lavoro sono stati a lungo giustificati sulla base di ragioni esattamente opposte<sup>(18)</sup>. Equivar-

rebbe a un suicidio politico per i governi consentire o addirittura promuovere un incremento di produttività del lavoro che portasse a un rapido calo del numero di posti di lavoro.

Secondo stime condivise, la produttività del lavoro è aumentata di almeno 10 volte nel corso del XX secolo, ma le ore di lavoro settimanali per un impiego medio a tempo pieno sono calate solo da 60 a 40. Tenuto conto di altre variazioni, come la durata della vita lavorativa, l'aumento dei giorni di ferie, l'incremento del tasso di occupazione, femminile in particolare, si arriva a un risultato simile: in un secolo l'input di lavoro retribuito è diminuito solo di circa un terzo, nonostante l'aumento sorprendente della produttività del lavoro<sup>(19)</sup>. I timori che i robot avrebbero eliminato posti di lavoro alla catena di montaggio o che i computer avrebbero escluso dal mondo del lavoro tutte le segretarie si sono rivelati veri – al limite – solo in singoli settori e anche in quel caso solo in alcune aree circoscritte. Al contrario, si sostiene spesso e giustamente che l'incremento di produttività del lavoro, in ultima analisi, crei posti di lavoro, o almeno li protegga – in altre parole, che un effetto rimbalzo socialmente e politicamente molto gradito assicuri che l'incremento di produttività del lavoro dia luogo a una maggiore domanda di lavoro. Madlener e Alcott fanno notare che storicamente il tempo risparmiato di rado è stato dedicato al tempo libero. Se così fosse stato, dovremmo tutti lavorare molto meno che in passato, quando la produttività oraria del lavoro era molto più bassa di quanto non sia oggi. Sembra invece che vi sia stato un effetto rimbalzo con un valore vicino al 100%, oppure, se si prende in considerazione anche la crescita della popolazione, che vi sia stato un effetto *backfire*<sup>(20)</sup>.

Ora, come incide un aumento di produttività del lavoro sulla domanda di risorse e di energia?

Qualche tempo prima che Jevons nel 1865 scoprisse l'effetto rimbalzo dei miglioramenti di efficienza energetica, altri economisti avevano già notato un analogo effetto nel legame tra gli incrementi di produttività del lavoro e la domanda di risorse naturali. Per esempio, John Stuart Mill osservò che: «una maggiore efficacia del lavoro (...) implica sempre una maggiore quantità di prodotto ottenuto dalla stessa quantità di lavoro, e non solamente che la stessa quantità di prodotto deriva da una minor quantità di lavoro»<sup>(21)</sup>. Nel 2009 Turner et al. hanno quantificato la correlazione tra produttività del lavoro e domanda di energia per l'Inghilterra e la Scozia attraverso un'analisi econometrica di equilibrio: un aumento del 5% della produttività del lavoro aumenta la domanda di energia sia a breve che a lungo termine. Pur avendo trovato che il reddito nazionale aumenta più rapidamente della domanda di energia, in modo tale che si verifica un disaccoppiamento relativo, la scoperta fondamentale è che un incremento di produttività del lavoro ha un *effetto rimbalzo interfattoriale* sulla domanda di energia, e ne provoca l'aumento<sup>(22)</sup>. Si può presumere che esista lo stesso effetto per gli aumenti di produttività del capitale: anche loro promuovono una crescita economica, che – a parità di altre condizioni – è suscettibile di provocare un aumento della domanda di energia.

Va inoltre notato che l'incremento di produttività del lavoro è a volte il risultato diretto – o un prerequisito – dell'aumento della domanda di energia. Ogni volta che il lavoro umano è sostituito dalla meccanizzazione e dalla motorizzazione, si verifica un *effetto rimbalzo materiale interfattoriale*. Se il robot da cucina amplifica la forza muscolare del cuoco o la produttività degli addetti alla logistica viene migliorata grazie all'*Information Technology* (IT), un aumento della domanda di energia spesso nasce da una maggiore

produttività del lavoro o la provoca. Per decenni, incrementi della produttività del lavoro sono stati ottenuti a prezzo di una (relativa) diminuzione della produttività energetica. Questo problema è aggravato – in particolare nei paesi ad alti salari – da politiche fiscali che combinano alte tasse sul lavoro con una bassa tassazione dell'energia.

Per la correlazione inversa, è spesso vero anche il contrario: un miglioramento dell'efficienza energetica è frequentemente accompagnato da un incremento di produttività del lavoro e del capitale, anche se questo incremento non era l'obiettivo primario. Il miglioramento complessivo della produttività dell'economia alimenta la crescita, con ulteriori implicazioni per la domanda di energia<sup>(23)</sup>. Queste relazioni, che possono essere definite come *effetti rimbalzo interfattoriali multipli*, sono state efficacemente descritte da Saunders in relazione all'industria dell'acciaio<sup>(24)</sup>. Spinta dal forte aumento dei prezzi dell'energia seguito alle crisi petrolifere degli anni 1970, alla fine del XX secolo l'industria siderurgica statunitense tagliò del 45% i costi energetici per tonnellata di acciaio, in parte grazie all'introduzione dei forni elettrici ad arco. Questo nuovo processo produttivo consente di riciclare i rottami di acciaio ed evita la necessità di usare gli altiforni che sono estremamente energivori. Poiché gli altiforni sono pure impianti ad alta intensità di capitale, anche la produttività del capitale è aumentata fortemente. Allo stesso tempo, la produttività del lavoro nell'industria siderurgica americana è più che triplicata tra il 1983 e il 1998, passando da 10,1 a 3,2 ore-uomo per tonnellata di acciaio. In sintesi, gli incrementi di produttività di tutti i fattori produttivi e la conseguente caduta del prezzo relativo dell'acciaio hanno portato a un incremento assoluto della domanda che potrebbe avere compensato o addirittura superato i guadagni in

termini di efficienza energetica nel processo di produzione<sup>(25)</sup>. Saunders ipotizza che, in generale, gli sviluppi tecnologici in grado di aumentare la produttività di lavoro e capitale, nonché l'efficienza energetica, molto facilmente generano un effetto *backfire*.

Proprio come sul lato della produzione, gli effetti rimbalzo sul lato del consumo possono anche essere il risultato di altri generi di guadagni di efficienza, in particolare in termini di tempo risparmiato<sup>(26)</sup>. Un esempio è la correlazione tra viaggi, tempo di percorrenza e consumi di energia. Attraverso culture, paesi ed epoche diverse si può empiricamente dimostrare che le persone dedicano agli spostamenti, in modo relativamente costante, tra 0,75 e 1,5 ore al giorno – indipendentemente dal fatto che vadano a piedi di villaggio in villaggio o siano pendolari tra due città distanti<sup>(27)</sup>. Poiché – in modo sorprendente – il tempo impiegato per gli spostamenti non è correlato, nel lungo periodo, né con il livello di meccanizzazione né con il costo del viaggio, il tempo di viaggio risparmiato si trasforma in viaggi più lunghi. Ma viaggiare di più comporta un maggiore consumo di energia. In altre parole, risparmi di tempo dati dall'efficienza in rapporto agli spostamenti generano effetti rimbalzo in termini di consumo energetico. Un altro esempio riguarda l'uso di Internet: chiunque ricordi quanto fosse lenta la navigazione nel 1990 con un vecchio PC e un modem 56k attraverso un cavo analogico terrestre, sarà in grado di confermare che connessioni Internet sempre più veloci e computer più potenti rendono ora possibili molti più click al minuto. Tuttavia, l'utilizzo di Internet richiede energia – non solo a livello di singolo utente, ma in particolare nei server e nel trasporto dei dati. Si può ipotizzare che la miglior efficienza, in termini di velocità, della navigazione comporti un uso di Internet più intenso che coinvolge un maggior volume di dati e quindi un

maggiore consumo di energia nel settore IT. Entrambi gli esempi suggeriscono che è il caso di parlare di un *effetto efficienza del consumo*: aumentare l'efficienza del consumo può provocare un aumento della domanda di energia.

### 3. QUANTITÀ E INCERTEZZE

Nel corso degli ultimi 30 anni un numero considerevole di studi empirici ha cercato di calcolare la portata quantitativa degli effetti rimbalzo utilizzando modelli econometrici o serie storiche di dati. Per un insieme di ragioni, la capacità di tali studi di fornire informazioni circa l'effetto rimbalzo totale nell'economia nel suo complesso è generalmente limitata. Di gran lunga la maggior parte degli studi modella l'effetto rimbalzo di un solo prodotto o un solo settore dal punto di vista del consumatore finale – per esempio, in relazione ai trasporti, alle abitazioni o all'uso di apparecchi elettrici. Alcuni studi considerano solo effetti rimbalzo diretti, mentre altri almeno guardano sia a quelli diretti sia a quelli indiretti. Solo alcuni modelli analizzano gli effetti rimbalzo sul lato della produzione<sup>(28)</sup>, e solo pochissimi studi valutano la portata dell'eventuale effetto rimbalzo macroeconomico<sup>(29)</sup>. Inoltre, i modelli econometrici si sono concentrati solo sugli effetti rimbalzo finanziari. Poiché quelli di natura psicologica e di altro tipo sono stati finora ignorati, gli studi degli effetti rimbalzo su specifici settori – studi che in ogni caso hanno un valore informativo limitato – coprono solo una piccola parte di tutti i possibili effetti rimbalzo anche all'interno del settore da essi considerato. A parte questo, la maggior parte degli studi si riferisce a paesi industrializzati, mentre i paesi emergenti e in via di sviluppo restano per lo più ignorati.

La sfida della futura ricerca quantitativa in materia di effetto rimbalzo si troverà, pertanto, non

solo nella combinazione di vari approcci econometrici a tali effetti diretti e indiretti, a livello del consumatore, con approcci complessi per la modellizzazione degli effetti di rimbalzo sul lato della produzione. Per tener conto degli effetti rimbalzo psicologici sarà anche necessario considerare studi empirici nell'ambito della psicologia ambientale e comportamentale. Sarà inoltre necessario introdurre effetti rimbalzo interfattoriali nei modelli di equilibrio macroeconomici. Senza una sintesi di tutte le linee di questa ricerca empirica interdisciplinare, alcune delle quali devono essere ancora avviate, non sarà possibile fare una stima complessiva della somma totale di tutti gli effetti rimbalzo associati a un aumento di efficienza.

Per contro, il fatto che esistono ancora lacune importanti nella ricerca quantitativa a questo riguardo indica che i modelli di calcolo esistenti probabilmente catturano solo una piccola parte degli effetti rimbalzo che effettivamente si verificano: il che rende praticamente certo che le cifre indicate nel seguito si pongono nel limite inferiore di quello che ci si può in realtà attendere.

#### 3.1. La regola pratica del «50-50»

Cinque rassegne generali forniscono una panoramica e una valutazione dei numerosi studi empirici<sup>(30)</sup> che nei dettagli mostrano, a volte, contraddizioni significative. Pur in presenza di differenze sia verso l'alto che verso il basso, si può estrapolare una stima prudenziale degli effetti rimbalzo diretti per i consumatori finali dei paesi industrializzati del 10-30% per quanto riguarda i trasporti, le apparecchiature elettriche domestiche e il settore edile. A ciò si devono aggiungere gli effetti rimbalzo indiretti e macroeconomici (per esempio l'effetto prezzi di mercato) per una grandezza compresa tra il 5-50%, con punte di oltre il 90% – sino al *backfire* – in

alcuni settori; l'ampio range dei dati ricavati è di per sé un indicatore delle incertezze che prevalgono.

Come regola generale da seguire, si può dunque affermare che, in media e nel lungo termine, si deve assumere che vi siano effetti rimbalzo macroeconomici pari almeno al 50%. In altre parole, le misure di efficienza realizzano in media al massimo metà del loro potenziale intrinseco di risparmio, e in molti casi il risparmio sarà ancora inferiore<sup>(31)</sup>.

Occorre ancora rilevare che i calcoli dei modelli coprono solo effetti rimbalzo finanziari e non tengono conto di quelli materiali, psicologici e interfattoriali – anche se questi effetti non sono necessariamente additivi ma a volte si annullano a vicenda. Una stima aggregata di tutti gli effetti rimbalzo può essere ottenuta solo attraverso serie storiche. In un vasto studio, Holm e Englund hanno rilevato che negli Stati Uniti e in sei paesi dell'Unione Europea l'efficienza energetica è aumentata di circa il 30% tra il 1970 e il 1991, mentre il consumo di energia è aumentato del 20% nello stesso periodo<sup>(32)</sup>. Nel corso di 21 anni e in diversi paesi, quindi, in media il 66% dei miglioramenti di efficienza è stato assorbito da un aumento della domanda. Da notare, da una parte, che la crescita della domanda è improbabile che sia attribuibile solo a effetti rimbalzo, perché anche altri fattori legati alla crescita hanno avuto un ruolo; dall'altra, lo studio ignora qualsiasi effetto di trasferimento dovuto al commercio mondiale, per mezzo del quale il consumo di energia si sposta in sequenza dai paesi industrializzati a quelli emergenti e in via di sviluppo: se l'analisi di Holm e Englund avesse incluso il consumo di energia nei paesi di origine delle importazioni, l'aumento della domanda indicato nel loro studio sarebbe stato superiore<sup>(33)</sup>.

Il *German Advisory Council on the Environment* (SRU) giunge alla

stessa conclusione: «Nel complesso, i risultati delle ricerche disponibili indicano che l'effetto rimbalzo macroeconomico a lungo termine è regolarmente superiore al 50% e può a volte superare il 100% – in altre parole, può compensare la metà o anche tutti i risparmi ottenuti»<sup>(34)</sup>. Nei paesi emergenti e in via di sviluppo gli effetti rimbalzo potrebbero essere più consistenti, in quanto consumi imitativi e investimenti infrastrutturali sono lì più possibili e auspicati<sup>(35)</sup>.

#### 4. LIMITI DI CONTENIMENTO

Possono gli effetti rimbalzo essere limitati o addirittura impediti da misure di politica ambientale? Su questo tema non vi è ancora stato alcun vero dibattito<sup>(36)</sup>, ma questa lacuna va urgentemente colmata. Quel che segue è un primo contributo.

##### 4.1. Standard di efficienza

Di tutte le politiche a favore dell'efficienza, le misure di comando e controllo come gli standard di efficienza obbligatori per prodotti o processi produttivi corrono il serio rischio di innescare un effetto rimbalzo. Come visto nel par. 2, è molto probabile che opportunità *win-win* – in cui i costi aggiuntivi di un aumento di efficienza sono rapidamente recuperati e non rientrano solo i costi ambientali, ma anche quelli del lavoro e/o del capitale – generino grandi effetti rimbalzo di tipo finanziario e interfattoriale e spesso un *backfire*<sup>(37)</sup>. Invariabilmente essi non riescono mai a realizzare tutto il risparmio potenziale che è tecnicamente possibile. Raccomandazioni come quella dell'IPCC<sup>(38)</sup> o di McKinsey<sup>(39)</sup> che riduzioni significative delle emissioni di gas a effetto serra possono essere realizzate a costo zero o addirittura a un costo negativo non raggiungeranno il risultato previsto, perché gli scenari su cui si basano non tengono conto de-

gli effetti rimbalzo. In futuro l'introduzione di standard di efficienza con un impatto neutrale sui costi dovrebbe essere preceduta da una valutazione del rischio di *backfire*. Se è probabile che gli standard di efficienza inneschino effetti rimbalzo estesi o persino il *backfire*, allora si dovrebbero considerare interventi alternativi.

Misure di comando e controllo che aumentano i costi per i produttori o per i consumatori possono anch'esse essere accompagnate da effetti rimbalzo. Il precedente esempio della produzione di auto sempre più pesanti e più potenti con prestazioni di consumo costanti<sup>(40)</sup> mostra che gli standard di efficienza applicati a certi gruppi di prodotto altamente ricercati è difficile che producano notevoli risparmi. Questo quasi certamente si applica anche ai televisori, le cui dimensioni e prestazioni sono previste in ulteriore aumento ed espansione<sup>(41)</sup>, allo stesso modo di vari altri dispositivi elettronici di consumo (computer portatili, smartphone, etc.), i cui dati di vendita e di utilizzo sono previsti in forte aumento nei prossimi anni. Per i gruppi di prodotti di questo genere l'effetto degli standard di efficienza, con costi anche elevati, sarà ampiamente compensato dalla crescita della domanda.

Come raccomandazione generale, quindi, le misure di comando e controllo – così come gli standard di efficienza – dovrebbero essere combinate con strumenti di mercato (tasse, *emission trading*), in modo che gli effetti rimbalzo siano parzialmente limitati.

##### 4.2. Tasse ambientali

Weizsäcker et al. propongono un modello specifico di riforma fiscale ambientale, in cui le aliquote d'imposta aumentano linearmente con i miglioramenti di efficienza<sup>(42)</sup>. In questo modo, i risparmi di costo ottenuti grazie all'efficienza possono essere dirottati verso il gettito fiscale e – usan-

do le parole di Weizsäcker – assicurare così gli incentivi per un miglioramento continuo dell'efficienza. La proposta in realtà fornisce uno strumento per contrastare gli effetti rimbalzo finanziari, ma il tentativo di limitarli attraverso le ecotasse va incontro almeno a tre sfide.

In primo luogo, le tasse ambientali possono solo contenere effetti di reddito e di prezzi di mercato perché quelli psicologici, materiali e, in certa misura, interfattoriali non sono influenzati da aumenti dei costi. Non è quindi chiaro di quanto il totale di tutti gli effetti rimbalzo possa essere ridotto dalle tasse ambientali.

In secondo luogo, l'attuazione concreta di una riforma fiscale ambientale progettata in modo specifico a questo scopo si scontra con notevoli problemi politici e sociali. È certo che ci sarà un *trade-off* tra l'effetto di dare in questo modo un prezzo agli aumenti di efficienza e i costi sociali della tassa. Come Saunders ha dimostrato, quanto più bassa è l'elasticità di sostituzione tra le risorse naturali e altri fattori (lavoro, capitale), tanto più alte devono essere le aliquote d'imposta da adottare per ottenere effettivamente un risultato. Per quanto riguarda gli effetti rimbalzo vale il contrario: quanto più alta è l'elasticità di sostituzione, tanto più rapidamente una bassa aliquota d'imposta indurrà un cambiamento di comportamento o di investimento – ma allora è probabile che si verifichino estesi effetti rimbalzo<sup>(43)</sup>. In breve, l'elevata elasticità porta a elevati rimbalzi a basso costo come risultato delle tasse ambientali, mentre la bassa elasticità comporta bassi rimbalzi ma costi elevati. Quando si considera l'introduzione di tasse ambientali destinate specificamente a contenere gli effetti rimbalzo, si deve quindi tenere presente che potrebbero verificarsi dei problemi di accettazione sociale forse di gran lunga superiori ai problemi di accettazione politica già sperimentati

con precedenti tassazioni dell'energia e dei carburanti e riforme fiscali ambientali<sup>(44)</sup>.

In terzo luogo, quindi, se le differenti elasticità di sostituzione di diversi settori e gruppi di prodotti devono essere prese in considerazione, le aliquote dell'imposta ambientale dovrebbero essere rigorosamente differenziate a seconda del settore e del prodotto. Un'aliquota d'imposta unica basata sull'aumento di efficienza aggregata raggiunto a livello macroeconomico non può garantire che gli effetti rimbalzo siano adeguatamente contenuti. L'esperienza dell'intricato processo legato all'introduzione di precedenti sistemi di tassazione ambientale indica tuttavia che un progetto di imposte ambientali con aliquote differenti a seconda dei settori e dei prodotti è improbabile che sia realizzabile nel mondo reale della politica.

Queste sfide non vanno interpretate come un argomento contro l'introduzione e il perfezionamento di imposte e riforme fiscali ambientali, anche nella forma di aliquote d'imposta semplici e onnicomprensive sull'uso di risorse, energia o CO<sub>2</sub>. Dal punto di vista della politica ambientale, rendere le risorse naturali o l'energia più costose ha sempre un senso ed è inoltre un modo opportuno per contenere, in una certa misura, alcuni effetti rimbalzo.



#### 4.3. Tetti assoluti

Se l'uso delle risorse naturali è vincolato da limiti massimi assoluti o tetti (*caps*), non ci può essere in teoria un effetto rimbalzo. Per esempio, l'introduzione di un sistema globale di scambio delle quote di emissione che pone un tetto alle emissioni complessive di gas a effetto serra di tutti i paesi rende impossibili aumenti emissivi causati da effetti rimbalzo; non può neanche verificarsi una crescita delle emissioni dovuta a effetti rimbalzo indiretti, perché anche le emissioni derivanti dal consumo di beni e servizi alternativi sono soggette al tetto globale. Sono al vaglio anche limiti massimi assoluti per altre sostanze inquinanti e per specifici recettori ambientali, che in linea di principio potrebbero parimenti essere utilizzati per limitare gli effetti rimbalzo<sup>(45)</sup>. Nella pratica, però, l'introduzione di limiti superiori assoluti incontra due problemi.

In primo luogo, di rado è possibile fissare tetti a livello mondiale. L'introduzione di un *cap* globale alle emissioni di gas serra è una prospettiva remota. I negoziati nell'ambito della *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) sono ostacolati dal problema di quale contributo è giusto aspettarsi dai paesi industrializzati, emergenti e in via di sviluppo. Fino a quando questa questione di «giustizia climatica» non sarà risolta, un limite assoluto alle emissioni per tutti i paesi sarà irrealizzabile. D'altra parte, quando i tetti si applicano solo in singoli paesi, lo spostamento delle emissioni verso altre aree può ridurre la loro efficacia. La Germania, per esempio, è uno dei pochi paesi industrializzati che è riuscito a ridurre le sue emissioni nazionali da quando il Protocollo di Kyoto è entrato in vigore. Tra il 1995 e il 2005 le emissioni di CO<sub>2</sub> sul territorio tedesco sono calate da 10,5 a 9,7 tonnellate pro-capite, ma nello stesso periodo circa 1,1 tonnellate pro-capite sono sta-

te spostate all'estero, attraverso un aumento delle importazioni di prodotti la cui produzione dà luogo a emissioni di CO<sub>2</sub> nei paesi di origine. Di conseguenza, le emissioni pro-capite legate ai consumi finali sono aumentate anche in Germania<sup>(46)</sup>: in termini assoluti non c'è stata alcuna separazione tra crescita economica ed emissioni. Nonostante tetti nazionali assoluti, gli effetti rimbalzo possono quindi verificarsi ancora se i prodotti di origine nazionale sono sostituiti dalle importazioni.

In secondo luogo, anche all'interno di un paese sarà raramente possibile fissare tetti per un recettore ambientale. Per esempio, l'*Emissions Trading Scheme* (ETS) nell'Unione Europea fissa tetti soltanto ai settori ad alta intensità emissiva, col risultato di coprire solo circa il 50% delle emissioni europee. Anche se l'UE fosse un'«economia chiusa» da cui il trasferimento verso altri paesi non potesse aver luogo, effetti rimbalzo indiretti potrebbero ancora verificarsi se la domanda si spostasse dai settori ETS a quelli non-ETS: a un minor consumo di beni ad alta intensità emissiva potrebbe corrispondere un aumento tale della domanda di beni a minor intensità emissiva da comportare, nel complesso, un incremento delle emissioni totali.

Come detto per le imposte ambientali, nessun problema è posto come un argomento contro l'introduzione di limiti assoluti all'uso delle risorse naturali, anche se i limiti sono applicati solo a singoli settori o paesi. In effetti, di tutti gli strumenti di politica ambientale, i tetti assoluti sono i più adatti a impedire un effetto rimbalzo. Per esempio, l'introduzione in Germania di un obiettivo assoluto di consumo di energia elettrica, come il *German Advisory Council on the Environment* ha proposto<sup>(47)</sup>, sarebbe un grande passo in avanti e contribuirebbe anche a mitigare gli effetti di rimbalzo. Tuttavia, né ecotasse né tetti assoluti possono neutralizzarli del tutto.

#### 4.4. Comunicazione della sostenibilità

Il fatto che le cause degli effetti rimbalzo siano molteplici suggerisce che gli sforzi per ridurli non dovrebbero concentrarsi unicamente sugli strumenti di comando e controllo e di mercato, ma dovrebbero essere estesi fino a comprendere iniziative di comunicazione di ogni genere nel campo della sostenibilità, che mirino a influenzare le conoscenze di consumatori e produttori. Tali misure includono, per citarne solo alcune, l'educazione ambientale, le campagne pubblicitarie di sostenibilità e i marchi di qualità ecologica, così come i sistemi di gestione ambientale, gli *audits* ambientali e il *green marketing*. Gli effetti rimbalzo psicologici, in particolare, possono essere affrontati – se mai fosse possibile farlo – solo attraverso strumenti di comunicazione della sostenibilità.

Anche se molto è stato fatto per aumentare la *consapevolezza* ambientale, gli sforzi per cambiare gli effettivi *comportamenti* hanno finora avuto poco successo. Inoltre, la misura in cui gli strumenti della comunicazione in tema di sostenibilità raggiungono il loro atteso risultato rimane poco chiara: dovrebbero essere usati con altre iniziative per educare le persone sulle diverse cause e sui complessi legami coinvolti negli effetti rimbalzo, e varrebbe anche la pena di analizzare come potrebbero essere affinati a questo scopo specifico. Nelle circostanze attuali, tuttavia, non vi sono forti ragioni per sperare che la comunicazione in tema di sostenibilità possa ridurre notevolmente l'effetto rimbalzo macroeconomico.

### 5. SOSTENIBILITÀ O CRESCITA

Date la numerosità dei possibili effetti rimbalzo e la stima qui avanzata che essi nel complesso annullano in modo permanente almeno la metà del potenziale di

risparmio delle misure di efficienza, è evidente che non sarà possibile raggiungere obiettivi quali una riduzione dei gas a effetto serra di circa l'80-90% nei paesi industrializzati entro il 2050<sup>(48)</sup> solo attraverso la tecnologia e l'innovazione. Diversi studi hanno analizzato se e come sia possibile per la Germania e l'Europa fare esclusivo affidamento sulle energie rinnovabili e ridurre quindi le emissioni a effetto serra fino al 90% entro il 2050<sup>(49)</sup>: danno per scontato che il reddito nazionale continuerà a crescere, ma nessuno di questi lavori considera qualche tipo di effetto rimbalzo<sup>(50)</sup>. Gli studi ipotizzano lo sfruttamento di tutto il potenziale tecnico per la riduzione delle emissioni, al fine di abbattele del 90%, e non lasciano spazi di manovra. Alla luce degli effetti rimbalzo e della regola pratica del «50-50», il raggiungimento di questo obiettivo attraverso strategie di efficienza e compatibilità non è attualmente possibile.

In definitiva questo fallimento non è il risultato di un insufficiente potenziale tecnico di risparmio, ma di un inconveniente inerente a qualsiasi genere di aumento di efficienza e produttività – vale a dire, il fatto che essi stimolano la crescita economica. In particolare, la crescita è stimolata da soluzioni *win-win* nelle quali i consumatori, le imprese e i governi riducono i costi. In ultima analisi, qualsiasi aumento di produttività genera una crescita vigorosa che rafforza la produzione di tutti i beni e servizi, aumentando così la domanda di energia e risorse per la loro fabbricazione. La somma di tutti gli effetti rimbalzo derivanti da questa spinta alla crescita dipende dal rapporto tra la domanda di energia e la produzione – in altre parole, da quale è l'intensità energetica e di materiali delle merci addizionalmente prodotte. D'altra parte neanche i prodotti «verdi», come le energie rinnovabili, si possono avere a un costo ambientale zero. È quindi

dubbio che la «crescita verde» possa realizzare un disaccoppiamento sufficiente tra uso di risorse naturali e crescita economica. Potrebbe invece essere che il passaggio a un'effettiva «economia verde» debba essere accompagnato da una contrazione economica nei settori non sostenibili.

### 5.1. La fallacia della crescita verde

I sostenitori «verdi» della futura crescita economica affermano che un'espansione su larga scala di energie rinnovabili, isolamento degli edifici, infrastrutture di trasporto sostenibili, etc. possa essere realizzata solo in condizioni di incremento del reddito nazionale. La loro tesi è che la crescita verde non rappresenta un ulteriore onere ambientale, perché si basa esclusivamente sui maggiori costi sostenuti per investire in infrastrutture e modi di produrre sostenibili e per utilizzare prodotti rispettosi dell'ambiente.

Bisogna tuttavia precisare che anche nel caso teorico di un'economia che cresca soltanto in modi «verdi» ci sarebbero ancora effetti rimbalzo. Per esempio, se l'utilizzo di energia fossile si riduce isolando gli edifici, il fattore risorsa naturale è sostituito dal fattore capitale. Come già detto, è molto probabile che questo processo porti a effetti rimbalzo consistenti se l'elasticità di sostituzione tra risorse naturali e capitale (o lavoro) è elevata. Ma con il passaggio progressivo a un'economia post-fossile, questa elasticità aumenterà, perché diventerà sempre più facile sostituire il fattore risorse naturali con lavoro o capitale.

Un esempio semplificato servirà a illustrare il legame tra crescita verde ed effetti rimbalzo crescenti. Consideriamo le quantità molto diverse di risorse, lavoro e capitale necessarie per costruire, da un lato, le prime vetture con motori a combustione interna e, dall'altro, le vetture ibride di oggi. La tecnologia dei motori di prima generazione richiedeva poche par-



ti – per lo più costituite da ferro e acciaio – e coinvolgeva schemi di progettazione relativamente semplici messi a punto da un numero ragionevole di ricercatori e ingegneri. Per contro, la tecnologia di propulsione di una vettura ibrida è complessa, comprende innumerevoli e diverse materie prime provenienti da tutto il mondo, la cui estrazione e il cui trasporto coinvolgono parecchie aziende, ed è sviluppata da un grande numero di ricercatori e ingegneri, che percepiscono stipendi e sono a loro volta consumatori. In breve: mentre le auto ibride consumano meno energia per tonn.-km, il loro processo di produzione coinvolge diversi effetti rimbalzo macroeconomici in tutto il mondo.

È miope sostenere che un'ulteriore crescita – anche del tipo «più verde» – ridurrebbe investimenti e consumi, e di conseguenza anche l'uso di risorse e le emissioni, in misura tale da poter conseguire gli obiettivi di sostenibilità. Un aumento del reddito nazionale, anche se frutto di prodotti «verdi» più costosi, in ultima analisi produce sempre una crescita dei consumi. Dopo tutto, i costi più alti dei prodotti «verdi» indicano che il loro sviluppo ha richiesto più capitale umano (conoscenza), che per la loro fabbricazione sono state necessarie più ore di lavoro, o che l'estrazione delle necessarie materie prime ha richiesto più la-

voro. In ogni caso vengono compiute più transazioni economiche che, a parità di altre condizioni, coinvolgono più imprese o persone nell'aggiungere valore a questi prodotti e, quindi, generano effetti rimbalzo multipli in più paesi a causa del commercio mondiale. La prevista «rivoluzione dell'efficienza verde» potrebbe comportare un disaccoppiamento completo tra consumo di risorse e di energia e reddito nazionale, ma la portata di tale separazione non realizzerà la necessaria forte riduzione del consumo totale di energia e risorse. In breve, gli effetti rimbalzo bloccano un disaccoppiamento *sufficiente* tra crescita economica e uso di risorse naturali.

### 5.2. Verso una società della sufficienza

Non si può sfuggire al fatto che una crescita economica reale comporti un aumento della domanda. Se l'obiettivo della sostenibilità è preso sul serio, sembra che l'unica opzione che rimane sia quella di porre fine al circolo vizioso della spirale di crescita. Una società orientata alla crescita che cerca di realizzare la «grande trasformazione» verso una società sostenibile si trova ad affrontare l'immane compito di limitare in modo efficace la sua crescita economica. Solo quando il reddito nazionale smette di crescere in modo costante le strategie di efficienza e compatibilità realizzano quanto è tecnicamente possibile, cioè il loro intero potenziale di risparmio, e riducono il consumo di risorse a un livello sostenibile. Se e come il reddito nazionale possa essere mantenuto stabile («economia di stato stazionario») o si possa anche ridurre è una delle questioni più importanti e difficili poste oggi alla ricerca.

È possibile che le tasse ambientali, oltre naturalmente a promuovere un cambiamento generale, possano dare un ulteriore contributo al raggiungimento di un'economia che vada oltre l'obiettivo

della crescita. Se lo scopo è quello di garantire che il gettito di una riforma fiscale ambientale non produca nuovi effetti rimbalzo, le entrate dovrebbero essere utilizzate solo per ridurre il debito pubblico <sup>(51)</sup>. È probabile che il risultato non sia a quel punto una crescita verde, ma piuttosto un ridimensionamento, in termini ecologici e sociali, verso uno stato di maggior salute dell'economia. Se il gettito fiscale è in effetti rimosso dal ciclo economico, il reddito nazionale può restare stabile o diminuire, ma sia il debito ambientale nei confronti della biosfera sia il debito economico nei confronti delle generazioni future potrebbero ridursi.

Non vi è dubbio che per uscire dalla spirale della crescita economica occorra un'enorme volontà

politica, istituzionale e individuale di riforma. L'insegnamento dell'economia per primo deve sviluppare una «macroeconomia della moderazione», perché il filone principale dell'accademia ha finora completamente ignorato la questione se e in che modo l'economia di mercato possa prosperare in assenza di crescita. La politica non deve solo trovare un modo per amministrare senza aumentare il debito pubblico ma anzi riducendolo, ma deve anche riformare tutte quelle istituzioni del *welfare* sociale che in passato hanno fatto affidamento sulla crescita continua.

Occorre impegnarsi a livello globale in un dibattito sulla «società della sufficienza». Solo quando si accetterà che si può e si deve arrivare a un punto in cui lo svi-

luppo economico raggiunto può ritenersi adeguato (o forse già eccessivo) sarà possibile considerare i limiti economici della crescita. E solo quando questi limiti saranno finalmente rispettati le strategie di efficienza e compatibilità saranno in grado di dare un contributo pienamente costruttivo alla sostenibilità. Nel frattempo, gli anni che probabilmente occorreranno prima che questo compito immane sia completato forniranno nuovi elementi di prova alla tesi di questo studio: che gli effetti rimbalzo continueranno a contrastare una sufficiente riduzione in termini assoluti dello sfruttamento delle risorse naturali fino a quando l'economia continuerà a crescere.

Berlino, Ottobre 2012

L'articolo, pubblicato nel marzo 2012 col titolo *Der Rebound-Effekt. Über die unerwünschten Folgen der erwünschten Energieeffizienz* come Paper del Wuppertal Institute ([www.santarius.de/967](http://www.santarius.de/967)), è qui riprodotto per gentile concessione dell'Autore e riprende la versione inglese *Green Growth Unravelled - How rebound effects baffle sustainability targets when the economy keeps growing*, edita nell'ottobre 2012 dalla Heinrich Böll Foundation ([www.boell.de](http://www.boell.de)) e dal Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy ([www.wupperinst.org](http://www.wupperinst.org)).

La traduzione è stata curata da Giovanni Goldoni.

## NOTE

(1) Cfr. Loske (2010).

(2) La crescita economica è intesa in questo lavoro come un aumento quantitativo del reddito nazionale e si tratta di un aumento in termini reali al netto dell'inflazione.

(3) L'uso di risorse naturali è qui definito come l'appropriazione di risorse ed ecosistemi naturali, sia come materie prime sia come depositi di rifiuti o di emissioni. In questo articolo il riferimento è per lo più al consumo di energia e alle emissioni, che chiaramente costituiscono solo un aspetto dell'utilizzo delle risorse naturali.

(4) Cfr. Hawken et al. (2000).

(5) Sul trasferimento delle emissioni di gas a effetto serra, cfr. Peters et al. (2010), Bruckner et al. (2010), Santarius (2009).

(6) Cfr. Heinberg (2009).

(7) Tra gli economisti neoclassici predomina l'opinione che il consumo di energia abbia un effetto relativamente limitato sulla crescita perché i costi energetici danno un contributo limitato al PIL. Gli economisti ambientali, dall'altro lato, sostengono sulla base dei principi della termodinamica che la domanda di energia è il motore della crescita economica. Secondo quest'ultimo punto di vista, il disaccoppiamento è praticamente impossibile, perché una riduzione assoluta della domanda di energia – sia a seguito di aumenti di efficienza o con altri mezzi – avrebbe una fondamentale influenza sulla crescita economica. Una sintesi di questa discussione con ulteriori riferimenti si può trovare in Jenkins et al. (2011).

(<sup>8</sup>) Su questo punto si veda il par. 3.  
 (<sup>9</sup>) Collegamenti incrociati con la teoria dei sistemi si possono trovare in Giampietro e Mayumi (2008), sebbene con riferimento alle teorie dei sistemi nel campo delle scienze naturali, piuttosto che delle scienze sociali.  
 (<sup>10</sup>) Gli effetti rimbalzo psicologici e materiali sono stati menzionati in Paech (2011).  
 (<sup>11</sup>) Saunders (1992).  
 (<sup>12</sup>) Jenkins et al. (2011) e Paech (2011) hanno già iniziato una sistematizzazione degli effetti rimbalzo. van den Bergh (2011) fornisce a sua volta un elenco di 14 effetti rimbalzo, anche se senza esplorarli in maggior dettaglio.  
 (<sup>13</sup>) Ebert et al. (2010).  
 (<sup>14</sup>) Per maggiori dettagli, con un'analisi di vari studi empirici, si rimanda a Sorell (2007), p. 48.  
 (<sup>15</sup>) L'effetto nuovi mercati è stato descritto per la prima volta in Paech (2011).  
 (<sup>16</sup>) Ohta, Fujii (2011).  
 (<sup>17</sup>) Cfr. Mazar, Zhong (2010) e anche Zhong et al. (2009).  
 (<sup>18</sup>) Nel XIX secolo la teoria alla base di questo fu discussa in modo approfondito – cfr. Alcott (2007). Il punto di vista che chiaramente prevalse fu che aumentare la produttività del lavoro crea un volume crescente di lavoro nell'economia nel suo complesso.  
 (<sup>19</sup>) Sanne (2000), p. 489.  
 (<sup>20</sup>) Madlener, Alcott (2011), p. 27.  
 (<sup>21</sup>) Mill (1848), p. 133.  
 (<sup>22</sup>) Turner et al. (2009).  
 (<sup>23</sup>) Questo punto di vista è condiviso da Sorell (2007).  
 (<sup>24</sup>) Saunders (2000).  
 (<sup>25</sup>) Quel che Saunders inizialmente impostò in termini teorici nel suo articolo del 2000 sembra da lui confermato empiricamente in un recente articolo a partire da una stima econometrica basata sui consumi storici di energia in 30 settori industriali negli Stati Uniti, cfr. Saunders (2013).  
 (<sup>26</sup>) Effetti rimbalzo derivanti dal risparmio di tempo sono descritti anche in Binswanger (2001).  
 (<sup>27</sup>) Knoflacher (2007).  
 (<sup>28</sup>) Cfr. per esempio Saunders (2013).  
 (<sup>29</sup>) Holm, Englund (2009), Giampietro, Mayumi (2008), Barker et al. (2007).

(<sup>30</sup>) Maxwell et al. (2011), Madlener, Alcott (2011), Jenkins et al. (2011), Sorell (2007), Greening, Greene (1998).  
 (<sup>31</sup>) Cfr. per esempio Sorell (2007), p. 91.  
 (<sup>32</sup>) Holm, Englund (2009).  
 (<sup>33</sup>) Su questo punto si veda il par. 4.3.  
 (<sup>34</sup>) SRU (2011), p. 353.  
 (<sup>35</sup>) Per l'effetto rimbalzo nei paesi in via di sviluppo si veda, ad esempio, per l'India: Roy (2000); per il Sudan: Zein-Elabdin (1997). Per il tentativo di un'analisi globale, cfr. Barker et al. (2009).  
 (<sup>36</sup>) van den Bergh (2011) discute in modo molto superficiale la misura in cui gli strumenti di politica ambientale possono limitare l'effetto rimbalzo. Alcuni autori danno suggerimenti di carattere generale ai decisori politici sul disaccoppiamento tra crescita e sfruttamento delle risorse naturali, ma senza concentrarsi in modo particolare sul contenimento dell'effetto rimbalzo. Cfr. Jackson (2009) e Loske (2010).  
 (<sup>37</sup>) Questo punto di vista è condiviso da Sorell (2007), p. xi.  
 (<sup>38</sup>) IPCC (2007).  
 (<sup>39</sup>) McKinsey & Company (2010).  
 (<sup>40</sup>) Si veda il par. 2.1  
 (<sup>41</sup>) Cfr. anche SRU (2011), p. 353, e Oehme et al. (2009).  
 (<sup>42</sup>) Weizsäcker et al. (2010).  
 (<sup>43</sup>) Cfr. Saunders (2000), p. 443.  
 (<sup>44</sup>) Sui problemi connessi all'accettazione politica delle ecotasse e sulle possibili soluzioni, cfr. per esempio Beuermann, Santarius (2006).  
 (<sup>45</sup>) Cfr. per esempio Barnes (2006).  
 (<sup>46</sup>) Bruckner et al. (2010); dati simili in Peters et al. (2010).  
 (<sup>47</sup>) SRU (2011), p. 353, e vedi anche Linz, Scherhorn (2011).  
 (<sup>48</sup>) IPCC (2007), WBGU (2009).  
 (<sup>49</sup>) Oltre a studi di Shell, BMU-UBA, Greenpeace, cfr. in particolare WWF (2010).  
 (<sup>50</sup>) Questo è anche il parere di SRU (2011) e di Linz, Scherhorn (2011).  
 (<sup>51</sup>) Binswanger (2006) descrive il debito pubblico come «debito eterno» delle banche centrali, perché dopo la rimozione del *gold standard* le banche centrali si sono prese a debito quantità quasi illimitate di denaro. Nessuno chiede che il debito venga rimborsato ed esso viene quindi utilizzato per creare denaro e sostenere la crescita economica reale fino a quando il sistema collassa.

## BIBLIOGRAFIA

- ALCOTT B. (2007), *Historical Overview of the Jevons Paradox in the Literature*, in POLIMENI J.M. et al., *The Myth of Resource Efficiency. The Jevons Paradox*, London, pp. 7-78.
- BARKER T., EKINS P., FOXON T.J. (2007), *The macro-economic rebound effect and the UK economy*, in «Energy Policy», vol. 35, pp. 4935-4946.
- BARKER T., DAGOUMAS A., RUBIN J. (2009), *The macroeconomic rebound effect and the world economy*, in «Energy Efficiency», n. 2, pp. 411-427.
- BARNES P. (2006), *Capitalism 3.0. A Guide to Reclaiming the Commons*, San Francisco.
- BEUERMANN C., SANTARIUS T. (2006), *Ecological Tax Reform in Germany: Handling Two Hot Potatoes at the Same Time*, in «Energy Policy», vol. 34, n. 8, pp. 917-929.
- BINSWANGER H.C. (2006), *Die Wachstumsspirale. Geld, Energie und Imagination in der Dynamik des Marktprozesses*, Marburg.
- BINSWANGER M. (2001), *Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect?*, in «Ecological Economics», n. 36, pp. 119-132.
- BMWI (2011), *Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Das 6, Energieforschungsprogramm der Bundesregierung*.
- BONTRUP H.J., NIGGEMEYER L., MELZ J. (2007), *Arbeit fair teilen: Massenarbeitslosigkeit überwinden!*, Hamburg.
- BROOKES L. (1990), *The greenhouse effect: the fallacies in the energy efficient solution*, in «Energy Policy», vol. 18, pp. 199-201.
- BRUCKNER et al. (2010), *Counting CO<sub>2</sub> Emissions in a Globalized World*, German Development Institute Discussion Paper n. 9, Bonn.
- EBERT T., ESSIG N., HAUSER G. (2010), *Zertifizierungssysteme für Gebäude. Nachhaltigkeit bewerten, internationaler Systemvergleich, Zertifizierung und Ökonomie*, Munich.

- GIAMPIETRO M., MAYUMI K. (2008), *The Jevons Paradox: The Evolution of Complex Adaptive Systems and the Challenge for Scientific Analysis*, in POLIMENI J.M. et al., *The Myth of Resource Efficiency. The Jevons Paradox*, London, pp. 79-140.
- GREENING L., GREENE D.L. (1998), *Energy Use, Technical Efficiency, and the Rebound Effect: A Review of the Literature*, Oak Ridge, Oak Ridge National Laboratory.
- HAWKEN P., LOVINS A., LOVINS L.H. (2000), *Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution*, New York.
- HEINBERG R. (2009), *Searching for a Miracle. Net Energy Limits & the Fate of Industrial Society*, studio per l'International Forum on Globalization, San Francisco.
- HOLM S.-O., ENGLUND G. (2009), *Increased ecoefficiency and gross rebound effect: Evidence from USA and six European countries 1960-2002*, in «Ecological Economics», n. 68, pp. 879-887.
- IPCC (2007), *Climate Change 2007: Synthesis Report*, Cambridge.
- JACKSON T. (2009), *Prosperity Without Growth. Economics for a Finite Planet*, London.
- JENKINS J., NORDHAUS T., SHELLENBERGER M. (2011), *Energy Emergence. Rebound & Backfire as Emergent Phenomena*, Oakland, Breakthrough Institute.
- KHAZZOOM D.J. (1980), *Economic implications for mandated efficiency in standards for household appliances*, in «The Energy Journal», vol. 1, n. 4, pp. 21-40.
- KNOFLACHER H. (2007), *Grundlagen der Verkehrs- und Siedlungsplanung*, Vienna.
- LINZ M., SCHERHORN G. (2011), *Für eine Politik der Energie-Suffizienz*, Wuppertal Institute.
- LOSKE R. (2010), *Abschied vom Wachstumszwang. Konturen einer Politik der Mäßigung*, Rangsdorf.
- MADLENER R., ALCOTT B. (2011), *Herausforderungen für eine technisch-ökonomische Entkoppelung von Naturverbrauch und Wirtschaftswachstum unter besonderer Berücksichtigung der Systematisierung von rebound effects und Problemverschiebungen*, versione finale provvisoria di uno studio per la Commissione del governo tedesco su «Growth, Wealth, Quality of Life», 4 Dicembre.
- MAZAR N., ZHONG C.-B. (2010), *Do Green Products Make Us Better People?*, in «Psychological Science», vol. 21, n. 4, pp. 494-498.
- MAXWELL D., OWEN P., MCANDREW L., MUEHMEL K., NEUBAUER A. (2011), *Addressing the Rebound Effect*, rapporto per la European Commission DG Environment, Brussels.
- McKinsey & Company (2010), *Impact of the financial crisis on carbon economics. Version 2.1 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve*.
- MILL J.S. (1848), *Principles of Political Economy with some of their Applications to Social Philosophy*, London, Book 1, Chapter IV, p. 133.
- OEHME I. et al. (2009), *Umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte. Der Beitrag der Ökodesign-Richtlinie zu den Energieeffizienzzielen der EU*, studio per l'Umweltbundesamt, Dessau.
- OHTA H., FUJII S. (2011), *Does Purchasing an «Eco-car» Promote Increase in Car-Driving Distance?*, studio non pubblicato, Tokyo Institute of Technology, Tokyo.
- PAECH N. (2011), *Grünes Wachstum? Vom Fehlschlagen jeglicher Entkoppelungsmaßnahmen: Ein Trauer-spiel in mehreren Akten*, in SAUER T. (ed.), *Ökonomie der Nachhaltigkeit. Grundlagen, Indikatoren, Strategien*, Marburg, pp. 161-182.
- PETERS G.P. et al. (2010), *Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008*, in Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America, nn. 1-6.
- POLIMENI J.M. et al. (2008), *The Myth of Resource Efficiency. The Jevons Paradox*, London.
- ROY J. (2000), *The rebound effect: some empirical evidence from India*, in «Energy Policy», vol. 28, nn. 6-7, pp. 433-438.
- SACHS W., SANTARIUS T. (eds.) (2007), *Fair Future. Resource Conflicts, Security, and Global Justice*, rapporto del Wuppertal Institute, London.
- SANNE C. (2000), *Dealing with environmental savings in a dynamical economy - how to stop chasing your tail in the pursuit of sustainability*, in «Energy Policy», vol. 28, pp. 487-495.
- SANTARIUS T. (2009), *Climate and Trade. Why Climate Change Calls for Fundamental Reforms in World Trade Policy*, German NGO Forum on Environment and Development - Heinrich Boell Foundation, Bonn-Berlin.
- SAUNDERS H.D. (1992), *The Khazzoom-Brookes Postulate and Neoclassical Growth*, in «Energy Journal», n. 13, pp. 131-148.
- SAUNDERS H.D. (2000), *A view from the macro side: rebound, backfire, and Khazzoom-Brookes*, in «Energy Policy», vol. 28, pp. 439-449.
- SAUNDERS H.D. (2013), *Historical Evidence for Energy Consumption Rebound in 30 US Sectors and a Toolkit for Rebound Analysis*, in «Technological Forecasting and Social Change», in corso di pubblicazione, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162512003228>
- SORELL S. (2007), *The Rebound Effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency*, London.
- SRU (2011), *Wege zu einer 100% erneuerbaren Energieversorgung. Sondergutachten*, Berlin.
- TURNER K., HANLEY N., DE FENCE J. (2009), *Do Productivity Improvements Move Us Along the Environmental Kuznets Curve?* Stirling Economics Discussion Paper n. 2, [www.economics.stir.ac.uk](http://www.economics.stir.ac.uk).
- VAN DEN BERGH J.C.J.M. (2011), *Industrial energy conservation, rebound effects and public policy*, UNIDO Working Paper n. 12, Vienna.
- WBGU (2009), *Solving The Climate Dilemma: The Budget Approach*, Special Report, Berlin.
- WEIZSÄCKER E.U., HARGROVES K., SMITH M. (2010), *Factor Five Transforming the Global Economy through 80% Improvements in Resource Productivity*, London.
- Wuppertal Institute (2008), *Zukunftsfähiges Deutschland in einer globalisierten Welt. Ein Anstoß zu einer gesellschaftlichen Debatte*, Frankfurt.
- WWF (ed.) (2010), *Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050. Vom Ziel her denken*, Frankfurt.
- ZEIN-ELABDIN E.O. (1997), *Improved stoves in Sub-Saharan Africa: the case of the Sudan*, in «Energy Economics», vol. 19, n. 4, pp. 465-475.
- ZHONG C.B., LILJENQUIST K., CAIN D.M. (2009), *Moral Self-Regulation: Licensing & Compensation*, in DE CREMER (ed.), *Psychological Perspectives on Ethical Behavior and Decision Making*, Charlotte, pp. 75-89.