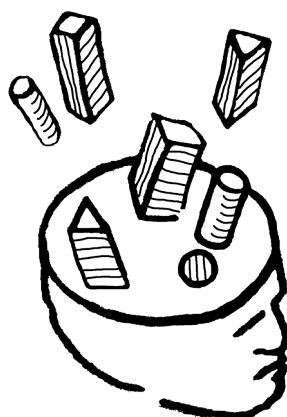


BIBLIOTECA DELLA SOCIETÀ APERTA

STUDI E RICERCHE **5**



BIBLIOTECA DELLA SOCIETÀ APERTA

Studi e ricerche

DIREZIONE EDITORIALE / EDITORS

Diego Abenante, Serena Baldin, Giuseppe Ieraci, Luigi Pellizzoni

COMITATO SCIENTIFICO / SCIENTIFIC BOARD

Matthijs Bogaards (Jacobs University Bremen), Bernardo Cardinale (Università di Teramo), Danica Fink-Hafner (University of Ljubljana), Damian Lajh (University of Ljubljana), Luca Lanzalaco (Università di Macerata), Liborio Mattina (già Università di Trieste), Leonardo Morlino (Luiss Guido Carli Roma), Lucio Pegoraro (Università di Bologna), Guido Samarani (Università Ca' Foscari Venezia), Michelguglielmo Torri (Università di Torino), Luca Verzichelli (Università di Siena)

LOGO DESIGN: Pierax

*Il presente volume è stato pubblicato con il contributo del
Dipartimento di Scienze politiche e sociali dell'Università degli Studi di Trieste.*

UPI
UNIVERSITY
PRESS ITALIANE

Opera sottoposta a *peer review* secondo
il protocollo UPI - University Press Italiane

impaginazione
Gabiella Clabot

© copyright Edizioni Università di Trieste, Trieste 2018.

Proprietà letteraria riservata.
I diritti di traduzione, memorizzazione elettronica, di
riproduzione e di adattamento totale e parziale di questa
pubblicazione, con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm,
le fotocopie e altro) sono riservati per tutti i paesi.

ISBN 978-88-8303-945-4 (print)
ISBN 978-88-8303-946-1 (online)

EUT Edizioni Università di Trieste
via Weiss 21, 34128 Trieste
<http://eut.units.it>
<https://www.facebook.com/EUTEdizioniUniversitaTrieste>

Energia e innovazione tra flussi globali e circuiti locali

a cura di

Giorgio Osti

Luigi Pellizzoni

Indice

LUIGI PELLIZZONI, GIORGIO OSTI

7 Introduzione

I. *L'impostazione della questione energetica*

LUIGI PELLIZZONI

17 Energia di comunità. Una ricognizione critica della letteratura

JACOPO ZOTTI

43 Economia circolare e fabbisogno energetico. Quale correlazione?

TULLIO GREGORI

73 Domanda di energia, commercio internazionale e crescita in Italia
prima e dopo l'unificazione monetaria

MARIANGELA SCORRANO, ROMEO DANIELIS

103 Scenari futuri del mix elettrico in Europa e in Italia:
un'applicazione del modello ARIMA per l'analisi delle serie storiche

2. *Casi di studio*

DOMENICO DE STEFANO, ROBERTO MARCHIORO, SARA JOVANOVIC

123 Povertà energetica, un'analisi statistica nelle aree ricche.
La distribuzione del gas nella città di Trieste

ILARIA BERETTA

153 La rete contro la povertà energetica in Lombardia

GIORGIO OSTI

163 Più autonomia e sviluppo.

Le incerte promesse della transizione energetica in Sardegna

NATALIA MAGNANI, DANIELA PATRUCCO

187 Le cooperative energetiche rinnovabili in Italia:

tensioni e opportunità in un contesto in trasformazione

3. Nuovi profili istituzionali

ROBERTO SCARCIGLIA

211 Brevi riflessioni in materia di diritto amministrativo dell'energia
in Francia e Regno Unito

ANDREA CRISMANI

225 Quali modelli di giustizia per l'ambiente e l'energia?

MATTEO CERUTI

245 Regolazione e semplificazione nel settore energetico-ambientale:
luci e ombre dell'autorizzazione unica

GIOVANNI CARROSIO, IVANO SCOTTI

257 Istituzioni e politiche per la transizione energetica fra locale e globale

Domanda di energia, commercio internazionale e crescita in Italia prima e dopo l'unificazione monetaria

TULLIO GREGORI

1. INTRODUZIONE

L'obiettivo di questa analisi è la quantificazione dei diversi fattori che hanno contribuito alle variazioni della domanda di energia in Italia nel periodo di tempo tra il 1995 ed il 2009. Si tratta di un periodo denso di avvenimenti rilevanti per l'economia italiana, che ha attraversato momenti difficili e notevoli mutamenti istituzionali. Nel 1995 si registrano le ultime forti turbolenze nei mercati nazionali iniziate con l'esplosione di tangentopoli e la deflagrazione del sistema monetario europeo avvenuta nel settembre di tre anni prima. La moneta italiana era estremamente debole nei mercati valutari e, proprio nell'aprile del 1995, il marco tedesco raggiunse il suo massimo storico a 1250 lire, quando nel contempo il dollaro quotava oltre le 1700 lire. La debolezza della lira rese estremamente onerose le importazioni, soprattutto di beni energetici, e portò ad un forte deficit nelle partite correnti. Anche alla fine del periodo sotto osservazione l'economia italiana vive un periodo di forti turbolenze innescate dal collasso dei mercati finanziari in seguito al fallimento della Lehman Brothers. Nel frattempo si è però consolidata l'Unione Europea con l'entrata in vigore dei trattati di Maastricht, Amsterdam e Nizza, che hanno visto la creazione di un'ampia area monetaria che, nel 2009, comprendeva già sedici stati.

È quindi interessante studiare l'evoluzione dei consumi energetici italiani in questo lasso di tempo. In questo lavoro tralasciamo gli usuali approcci basati sull'offerta di energia o sulle fonti primarie consumate dagli esseri umani (Malanima, 2006) e focalizziamo, invece, la nostra attenzione sul consumo di energia in quanto domanda derivata. Infatti, l'energia è necessaria per produrre i beni ed i servizi richiesti dai consumatori finali e lo scopo principale di questa analisi è proprio quello di spiegare le variazioni della domanda di energia richiesta dai settori produttivi che compongono l'economia di una nazione sulla base della domanda finale. Questa ultima è ripartita, secondo l'ottica della Contabilità Nazionale, nei consumi delle famiglie, in quelli della Pubblica Amministrazione, negli investimenti e nelle esportazioni. In questa prospettiva sono stati utilizzati diversi approcci, che spaziano dai modelli econometrici a quelli di equilibrio economico generale computabile o alle analisi dei sistemi dinamici (Herbst *et al.*, 2012). La nostra metodologia, che descriviamo nelle sezioni seguenti, si basa su un approccio puramente descrittivo ampiamente utilizzato in letteratura per la sua semplicità e facilità di comprensione. In sintesi, consiste nel distribuire la variazione della quantità di energia consumata in un intervallo temporale (di solito l'anno) in diverse componenti. Queste ultime sono definite come gli "effetti", che possono essere oggetto di ulteriore analisi oppure fornire lo spunto per opportune azioni di politica energetica. Sin dai primi contributi, apparsi alla fine degli anni settanta (Myers e Nakamura, 1978, Bossanyi, 1979), sono state numerose le applicazioni proposte in letteratura (per una recente rassegna vedi Wang *et al.* 2017a). Quelle più note rientrano nell'approccio di tipo strutturale (*Structural Decomposition Analysis*, in breve SDA) o basato su indici (*Index Decomposition Analysis*, in breve IDA). Il secondo approccio è certamente quello più semplice e, nella sua versione più elementare, divide il consumo di energia in tre effetti: il primo è associato all'intensità dell'utilizzo dell'energia in un determinato settore produttivo; il secondo si riferisce alla quota di questo settore nel sistema economico, mentre l'ultimo è relativo al livello dell'attività complessiva. Come vedremo nella sezione successiva, il problema della decomposizione è molto noto in ambito economico e statistico poiché le prime due componenti riflettono una variazione settoriale (micro) che si propaga a livello aggregato (macro) (Wang *et al.* 2017b). L'approccio SDA si basa anch'esso su fondamenti micro, in quanto utilizza il noto modello delle interdipendenze settoriali dovuto a Leontief (1936, 1941), ma permette di estendere l'analisi poiché prende in considerazione anche gli effetti del cambiamento tecnologico. Entrambi i metodi sono stati ampiamente utilizzati nella letteratura per decomporre le variazioni dell'uso di energia o di fattori primari, come il lavoro, nonché per lo studio del cambiamento climatico e delle emissioni di inquinanti.

In questo lavoro impieghiamo la SDA sulla base dei dati forniti dal database WIOD (Timmer *et al.*, 2015) che fornisce un sistema coerente e bilanciato di tavole Input-Output a livello mondiale corredate da un sistema di conti satelliti relativi a variabili energetiche ed emissioni. Nella seconda sezione mostriamo in dettaglio le diverse fasi in cui si articola l'approccio SDA, mettendo in evidenza la complessità dell'analisi anche con un numero non particolarmente elevato di fattori. Infatti, la metodologia che proponiamo suddivide la variazione della quantità inglobata di energia in cinque componenti date dall'intensità energetica, dal cambiamento strutturale delle relazioni interindustriali e dei pattern di scambio, dalla composizione della domanda finale, dal consumo pro capite e dalla popolazione. Pur avendo scelto di utilizzare esclusivamente delle decomposizioni esatte, ovvero prive di residui, queste ammontano a ben 120 nel caso di soli cinque fattori. Quindi, nella seconda sezione mostriamo quali siano le decomposizioni in esame e come calcolarle sulla base del modello Input-Output presentato nella terza sezione. In particolare, il modello delle relazioni interindustriali è descritto sia nell'usuale versione con un solo paese sia in quella mondiale dato che il database WIOD permette l'analisi dell'economia italiana all'interno di un sistema composto da ben 40 paesi. In questo studio utilizziamo l'approccio a livello mondiale i cui risultati sono proposti nella quarta sezione, mentre l'ultima conclude indicando possibili sviluppi di ricerca.

2. LA SCELTA DELLA DECOMPOSIZIONE DELLA DOMANDA DI ENERGIA

La metodologia utilizzata in questo studio per l'analisi del consumo di energia consiste in una decomposizione della produzione di energia in un sistema economico. Questa metodologia richiede i seguenti passi:

- 1) definizione dell'indicatore o della variabile da analizzare;
- 2) raccolta dei dati relativi al consumo di energia e ai fattori che lo spiegano;
- 3) determinazione del metodo di decomposizione;
- 4) applicazione del metodo con individuazione dei pesi utilizzati nella decomposizione;
- 5) analisi dei risultati.

Per quanto concerne il consumo di energia possiamo distinguere tra quella complessivamente utilizzata nel sistema economico indagato e quella che è differenziata a seconda della fonte energetica. Il secondo aspetto è di fondamentale importanza nel caso in cui sia essenziale analizzare l'*energy mix* di un paese e si voglia procedere ad una sua modifica attuando delle specifiche poli-

tiche energetiche. Questa è certamente una questione fondamentale per l'economia italiana, stante il forte utilizzo di fonti fossili per la produzione di energia proprio nel periodo preso in esame. Tuttavia, in questo lavoro percorriamo la prima strada e lasciamo ad un'ulteriore indagine l'analisi disaggregata.

I dati a disposizione limitano la scelta sia degli indicatori sia dell'intervallo di tempo su cui condurre l'indagine. Per quanto concerne il secondo punto, le indagini di tipo SDA raramente coprono periodi ampi e, di solito, non si estendono oltre una decina d'anni. La variabile oggetto dell'indagine può essere espressa in vario modo, anche se prevalgono i valori assoluti, i numeri indice, le intensità e talvolta le elasticità. In questo studio prenderemo in esame le variazioni delle quantità assolute espresse in TeraJoule (in breve Tj). Per quanto concerne la decomposizione, la forma utilizzata è additiva o moltiplicativa. La prima prende in esame le variazioni della quantità di energia consumata, mentre la seconda un numero indice con anno base che di solito coincide con quello iniziale. Come detto in precedenza, le analisi SDA prediligono la forma additiva, che è pure quella favorita dai non esperti del settore per la sua immediata leggibilità, mentre quelle IDA utilizzano entrambe.

La scelta della decomposizione è intrinsecamente collegata alla teoria dei numeri indice. Quest'ultima trae origine da un semplice problema statistico/economico, ovvero come aggregare le informazioni desunte a livello micro per ottenere un'informazione coerente a livello macro. In sintesi, il problema consiste nella costruzione di un numero indice come quello generale dei prezzi. Il tasso d'inflazione, infatti, riassume le variazioni dei prezzi di una molteplicità di beni e servizi. In altre parole, si tratta di elaborare una funzione che mappi le informazioni a livello micro (i prezzi dei singoli beni) in quella macro (l'indice generale dei prezzi). Il primo studio in questo ambito è dovuto a Joseph Lowe (1822), ma sono certamente più noti i contributi di Laspeyres (1871) e Paasche (1874). Laspeyres considera il valore di un paniere di beni in due istanti di tempo tenendo ferme le quantità iniziali, mentre Paasche prende in esame le quantità finali. L'indice più usato è il primo per due semplici motivi. Innanzitutto, è possibile calcolarlo conoscendo solo i nuovi prezzi e questa informazione è certamente più facile da reperire rispetto a quella relativa alle nuove quantità. Inoltre, è di facile interpretazione, perché rappresenta il nuovo costo del paniere se si consumano le vecchie quantità ai nuovi prezzi. Tuttavia, è sempre possibile considerare il costo del nuovo paniere con i vecchi prezzi, per cui entrambi i metodi sono teoricamente plausibili anche se spesso portano a dei risultati diversi. Una soluzione intermedia è quella di pesare i due indici, come nel caso nell'indice ideale di Fisher, che è la media geometrica dei due, ma sono possibili molte altre alternative. Per illustrare il problema consideriamo il seguente indicatore:

$$E = \prod_{i=1}^n e_i, \quad (1)$$

dato dal prodotto di n fattori e_i che, nel nostro caso, possono essere i numeri indice dell'uso di energia nei diversi settori che compongono il sistema economico nazionale. Nel caso di una decomposizione additiva possiamo calcolare la sua variazione nel tempo ovvero:

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \sum_{j=1}^n \left(\prod_{i \neq k} e_i \frac{\partial e_j}{\partial t} \right). \quad (2)$$

Tuttavia, se i dati sono disponibili solo su intervalli discreti dobbiamo passare a considerare la variazione complessiva in un determinato periodo di tempo che assumiamo essere di ampiezza pari a $[0, T]$:

$$E^T - E^0 = \int_0^T \frac{\partial E}{\partial t} dt = \int_0^T \sum_{j=1}^n \left(\prod_{i \neq k} e_i \frac{\partial e_j}{\partial t} \right) dt = \sum_{j=1}^m \int_0^T \left(\prod_{i \neq k} e_i \frac{\partial e_j}{\partial t} \right) dt. \quad (3)$$

Oltre alle variazioni considerate nella (3) dobbiamo ricordare che, in alternativa, si possono considerare anche le variazioni logaritmiche dette Divisia-linked (Ang, 2004). Ad ogni modo, Liu *et al.* (1992) dimostrano che, sotto certe condizioni di regolarità, un'approssimazione discreta alla (3) è data dalla seguente equazione:

$$E^T - E^0 = \sum_{j=1}^n \left(\prod_{i \neq j} e_i^0 + \alpha_j \prod_{i \neq j} \Delta e_i \right) (e_j^T - e_j^0), \quad (4)$$

ove assumono particolare rilevanza i pesi α_j che definiscono il metodo di decomposizione. Se tali pesi sono tutti nulli, si ottiene la decomposizione del tipo Laspeyres mentre, se sono tutti unitari, abbiamo quella di Paasche. Infine, se poniamo $\alpha_j = 0.5$ si ottiene quella di Marshall-Edgeworth. Ovviamente, come mostrano Hoekstra e van der Bergh (2003) vi sono molte altre possibilità, soprattutto se non adottiamo una relazione parametrica.

Un semplice esempio applicato al nostro problema relativo all'energia può illustrare la situazione. Prendiamo in esame una decomposizione lineare e consideriamo la domanda di energia data dal prodotto di due fattori ovvero la popolazione (P) e il consumo pro capite (E/P):

$$E = \frac{E}{P} P. \quad (5)$$

Se vogliamo analizzare la variazione nel tempo del consumo di energia dobbiamo prendere in esame come cambiano nel tempo la popolazione ed il consumo medio. Come abbiamo visto, il problema consiste nell'attribuire il valore opportuno ai pesi o coefficienti totali, diciamo α e β , da assegnare alla variazione di questi due fattori:

$$\Delta E = \alpha \Delta \left(\frac{E}{P} \right) + \beta \Delta P. \quad (6)$$

I coefficienti totali α e β sono funzione dei valori delle variabili osservabili E/P e P , mentre i prodotti dei coefficienti totali per le variazioni dei fattori, ovvero $\alpha \Delta(E/P)$ e $\beta \Delta P$, sono definiti in letteratura come gli "effetti". Questi, nel nostro caso, sono riferiti rispettivamente al consumo medio e alla popolazione. Possiamo vedere subito che i coefficienti possono differire a seconda della decomposizione adottata poiché:

$$\begin{aligned} \Delta E = E(1) - E(0) &= \frac{E(1)}{P(1)} P(1) - \frac{E(0)}{P(0)} P(0) = \\ &= \frac{E(1)}{P(1)} P(1) - \frac{E(0)}{P(0)} P(0) + \frac{E(1)}{P(1)} P(0) - \frac{E(1)}{P(1)} P(0) = P(0) \Delta \left(\frac{E}{P} \right) + \frac{E(1)}{P(1)} \Delta P \end{aligned} \quad (7)$$

$$= \frac{E(1)}{P(1)} P(1) - \frac{E(0)}{P(0)} P(0) + \frac{E(0)}{P(0)} P(1) - \frac{E(0)}{P(0)} P(1) = P(1) \Delta \left(\frac{E}{P} \right) + \frac{E(0)}{P(0)} \Delta P \quad (8)$$

ove nella (7) il primo coefficiente (parziale) è pari alla popolazione iniziale mentre il secondo è dato dal consumo pro-capite finale. Nella (8) abbiamo una situazione invertita ove il primo coefficiente si riferisce alla popolazione finale e il secondo al consumo medio iniziale. Inoltre, in entrambi i casi non ritroviamo né l'usuale forma dell'indice di Laspeyres né quello di Paasche, che sono rispettivamente:

$$\Delta E = P(0) \Delta \left(\frac{E}{P} \right) + \frac{E(0)}{P(0)} \Delta P + \left[\Delta \left(\frac{E}{P} \right) \Delta P \right], \quad (9)$$

$$\Delta E = P(1)\Delta\left(\frac{E}{P}\right) + \frac{E(1)}{P(1)}\Delta P - \left[\Delta\left(\frac{E}{P}\right)\Delta P\right]. \quad (10)$$

Osserviamo che le formule di Laspeyres e di Paasche non forniscono delle decomposizioni esatte in quanto compare pure un residuo, che è parte integrante della decomposizione. Tuttavia, in talune applicazioni empiriche questo residuo è ignorato sulla base dell'ipotesi che il suo contributo sia trascurabile. Non appare invece sensato redistribuirlo tra i termini sulla base di regole *ad hoc*, come quella proposta da Sun (1998) che lo imputa equamente a tutte le componenti sulla base del principio “*jointly created and equally distributed*”.

Ad ogni modo, il problema maggiore risiede proprio nel fatto che i coefficienti siano composti da fattori valutati sia nell'istante iniziale sia in quello finale e questo può rendere alquanto complessa la soluzione dal punto di vista computazionale quando il numero delle possibili decomposizioni è elevato. Infatti, con solo due fattori abbiamo le quattro alternative presentate sopra, ma in generale esse sono pari a $2^{n(n-1)}$, ovvero 1'073'741'824 se i fattori sono solo sei. Per questo motivo gran parte della letteratura relativa alla SDA ha preferito adottare delle decomposizioni complete ovvero prive di residui. Infatti, nelle decomposizioni lineari con n fattori, ci sono “solo” $n!$ diverse forme di decomposizione (Dietzenbacher e Los, 1998). Queste sono date dalle (7) e (8) nel caso di due fattori, mentre se ne aggiungiamo uno ulteriore ovvero:

$$E = F_1 F_2 F_3 \quad (11)$$

si ricavano le seguenti forme esaustive:

$$\Delta E_1 = \Delta F_1 F_2^0 F_3^0 + F_1^1 \Delta F_2 F_3^0 + F_1^1 F_2^1 \Delta F_3, \quad (12)$$

$$\Delta E_2 = \Delta F_1 F_2^0 F_3^0 + F_1^1 F_3^1 \Delta F_2 + F_2^1 \Delta F_3 F_1^0, \quad (13)$$

$$\Delta E_3 = F_2^1 \Delta F_1 F_3^0 + \Delta F_2 F_1^0 F_3^0 + F_1^1 F_2^1 \Delta F_3, \quad (14)$$

$$\Delta E_4 = F_3^1 \Delta F_1 F_2^0 + F_1^1 F_3^1 \Delta F_2 + \Delta F_3 F_1^0 F_2^0, \quad (15)$$

$$\Delta E_5 = F_2^1 F_3^1 \Delta F_1 + \Delta F_2 F_1^0 F_3^0 + F_2^1 \Delta F_3 F_1^0, \quad (16)$$

$$\Delta E_6 = F_2^1 F_3^1 \Delta F_1 + F_3^1 \Delta F_2 F_1^0 + \Delta F_3 F_1^0 F_2^0, \quad (17)$$

ove l'indice superiore si riferisce al tempo. La media di queste sei variazioni fornisce la risposta desiderata ovvero la decomposizione della variazione della energia prodotta:

$$\Delta E = \gamma_1 \Delta F_1 + \gamma_2 \Delta F_2 + \gamma_3 \Delta F_3, \quad (18)$$

i cui coefficienti totali sono dati dalle:

$$\gamma_1 = \frac{2F_2^0 F_3^0 + F_2^1 F_3^0 + F_2^0 F_3^1 + 2F_2^1 F_3^1}{6}, \quad (19)$$

$$\gamma_2 = \frac{2F_1^0 F_3^0 + F_1^1 F_3^0 + F_1^0 F_3^1 + 2F_1^1 F_3^1}{6}, \quad (20)$$

$$\gamma_3 = \frac{2F_1^0 F_2^0 + F_1^1 F_2^0 + F_1^0 F_2^1 + 2F_1^1 F_2^1}{6}. \quad (21)$$

Le (19)-(21) mostrano come i coefficienti totali siano una funzione degli altri fattori presi all'inizio o alla fine dell'intervallo di tempo. Osserviamo che la numerosità è diversa poiché, in questo semplice esempio, alcuni pesano il doppio degli altri. Il problema, che affrontiamo in seguito, è proprio quello di individuare quante volte una certa combinazione degli altri fattori appare nel coefficiente totale in modo da determinare il suo peso. Ovviamente la complessità del problema aumenta rapidamente al crescere del numero di fattori e, in letteratura, sono stati adottati dei metodi per rendere più semplice e immediato il calcolo. Dietzenbacher e Los (1998) nonché Miller e Blair (2009) suggeriscono di approssimare la soluzione esatta utilizzando esclusivamente la media delle due decomposizioni polari che, nel caso generale con n fattori, sono:

$$\begin{aligned} \Delta E_{p1} = & \Delta F_1 F_2^0 F_3^0 \dots F_{n-1}^0 F_n^0 + F_1^1 \Delta F_2 F_3^0 \dots F_{n-1}^0 F_n^0 + \\ & + F_1^1 F_2^1 \dots F_{n-2}^1 \Delta F_{n-1} F_n^0 + F_1^1 F_2^1 \dots F_{n-1}^1 \Delta F_n \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \Delta E_{p2} = & \Delta F_1 F_2^1 F_3^1 \dots F_{n-1}^1 F_n^1 + F_1^0 \Delta F_2 F_3^1 \dots F_{n-1}^1 F_n^1 + \\ & + F_1^0 F_2^0 \dots F_{n-2}^0 \Delta F_{n-1} F_n^1 + F_1^0 F_2^0 \dots F_{n-1}^0 \Delta F_n \end{aligned} \quad (23)$$

Naturalmente questa è una scelta arbitraria, anche perché basta permutare i fattori per ottenere una decomposizione equivalente che è altrettanto plausibile, ma con valori che possono essere diversi di caso in caso. Dietzenbacher e Los (1998) propongono anche un approccio con *mid-point weights*, De Haan

(2001) quello relativo a coppie speculari, mentre De Boer (2008) introduce una ulteriore decomposizione detta di Montgomery.

In realtà, non è necessario calcolare tutte le $n!$ possibili decomposizioni per ottenere i coefficienti totali relativi alla variazione di ogni fattore. Nell'esempio visto in precedenza con $n = 3$ bastano quattro combinazioni dei fattori osservati nei due istanti temporali per ricavare γ_i con $i = 1, 2, 3$. Infatti, in generale, ci sono 2^{n-1} modi in cui i rimanenti fattori appaiono nelle diverse decomposizioni mentre le diverse decomposizioni possibili sono $n! > 2^{n-1}$ con $n > 2$, per cui è ovvio che alcune sono ripetute. Seguendo Seibel (2003) possiamo assegnare il peso ad ognuna di queste combinazioni, ovvero il numero di volte che compaiono nelle $n!$ diverse decomposizioni, nel modo seguente. Consideriamo la variazione di un generico fattore ovvero ΔF_i . Questo può essere preso in esame per primo, secondo e così via sino ad arrivare all'ultimo o ennesimo. La probabilità che ciò avvenga però è esattamente la stessa ovvero $1/n$. Avendo un numero totale di decomposizioni pari a $n!$ il numero di decomposizioni in cui un particolare fattore può essere considerato per primo, secondo, etc. è pari a $n!/n$ ovvero $(n-1)!$. Ad esempio, considerato l'ordine che abbiamo seguito in precedenza nella decomposizione con tre soli fattori, il primo fattore è stato preso in esame per primo in due casi ovvero nelle (12) e (13), per secondo nelle (14) e (15) e infine per terzo nelle (16) e (17).

Sappiamo che il coefficiente del generico fattore preso in esame, diciamo ΔF_i , è il prodotto degli altri fattori valutati in uno dei due istanti $t = 0, 1$. Adottiamo l'approccio seguente per valutarlo. Se questo fattore è preso in esame per primo allora il suo coefficiente è dato dal prodotto degli altri fattori presi nell'istante iniziale, come nelle decomposizioni polari. Se, invece, viene considerato per secondo, il fattore preso in esame inizialmente è valutato nell'istante finale, mentre gli altri ancora in quello iniziale. Nella (12), ad esempio, il secondo fattore viene valutato per secondo e il suo coefficiente è $F_1^1 F_3^0$. Nella (12) il terzo fattore viene preso in esame per ultimo e la sua variazione è moltiplicata per il coefficiente $F_1^1 F_2^1$. Quindi, se il fattore considerato è valutato per ultimo, diciamo sia ΔF_n , tutti gli altri fattori assumono il valore presente in $t = 1$, come nella decomposizione polare (22). In conclusione, vale la regola seguente: se un fattore è preso in esame al *round* $k+1$, con $k = 0, \dots, n-1$, allora gli altri k fattori, ovvero quelli che sono già stati presi in esame, assumono il valore finale, mentre quelli non considerati, pari a $n-k-1$, quello iniziale. Tuttavia, le possibilità di estrarre un numero di k fattori da un insieme di $n-1$ elementi sono pari a:

$$\frac{(n-1)!}{(n-k-1)!k!} \quad (24)$$

Questo è proprio il numero dei casi in cui k dei fattori sotto indagine sono valutati in $t = 1$ e gli altri $n-k-1$ in $t = 0$. A questo punto possiamo concludere il nostro ragionamento. Per fissare le idee immaginiamo di prendere in esame il fattore al primo *round* ovvero $k = 0$. Quindi dalla (24) si ricava $(n-1)!/[(n-0-1)! 0!] = 1$ ed esiste un'unica combinazione per il coefficiente in questione, che è data dal prodotto di tutti gli altri fattori valutati nell'istante iniziale. Se, invece, il fattore considerato è preso in esame per secondo, le combinazioni sono $(n-1)$, ovvero due nel nostro semplice esempio con $n = 3$ e come testimoniano (14) e (15) con riferimento al primo fattore.

Abbiamo visto sopra che ci sono $(n-1)!$ decomposizioni in cui un particolare fattore può essere considerato al round $k+1$. In ognuna di esse c'è un coefficiente relativo a questo fattore e complessivamente ci sono $(n-1)!/[(n-k-1)! k!]$ coefficienti diversi corrispondenti al caso in cui questo particolare fattore è preso in esame al round $k+1$. Dividendo $(n-1)!$ per $(n-1)!/[(n-k-1)! k!]$ otteniamo il peso:

$$(n-k-1)!k! \quad (25)$$

ovvero la frequenza in cui appare un determinato coefficiente nel calcolo del coefficiente totale γ . Tornando al nostro semplice esempio con solo tre fattori, considerando ΔF_1 per primo allora l'unico coefficiente da prendere in esame ha peso pari a $(3-0-1)! 0! = 2$. Ed in effetti è quello che abbiamo già espresso nella (19) visto che questo coefficiente è presente sia nella (12) sia nella (13). Se ΔF_1 è preso in esame nel secondo round allora ci sono due coefficienti dati da $F_2^1 F_3^0$ nella (14) e $F_3^1 F_2^0$ nella (15). Il loro peso è pari a $(3-1-1)! 1! = 1$, come testimonia ancora la (19). Infine, quando ΔF_1 è preso in esame per ultimo c'è ancora un unico coefficiente $F_2^1 F_3^1$ con peso pari a $(3-2-1)! 2! = 2$. La somma dei pesi è 6 come il numero delle decomposizioni possibili.

Il modello che presentiamo nella sezione successiva empirica prevede 5 fattori ovvero 120 differenti decomposizioni, ma solo $2^4 = 16$ differenti coefficienti totali per ogni fattore. Sappiamo già che solo uno corrisponde al caso in cui il fattore esaminato compare per primo e il coefficiente è dato dal prodotto degli altri valutati nell'istante iniziale. Il peso di questo fattore è $(5-0-1)! 0! = 24$, ovvero tra le 120 decomposizioni possibili ben 24 presentano questo coefficiente. Analogamente, se viene considerato per ultimo esiste un unico coefficiente dato dal prodotto degli altri valutati nell'istante finale con

peso ancora pari a 24. Se, invece, è valutato per secondo allora $k = 1$ e il peso di ogni coefficiente è pari a $(5-1-1)! 1! = 6$. Infatti, ci sono $(5-1)! / [(5-1)! 1!] = 4$ coefficienti che corrispondono ai seguenti casi:

fattore residuo	1	2	3	4
valutato in $t =$	1	0	0	0
valutato in $t =$	0	1	0	0
valutato in $t =$	0	0	1	0
valutato in $t =$	0	0	0	1

Se tale fattore è preso in esame per terzo i coefficienti sono $(5-1)! / [(5-2-1)! 2!] = 6$ ovvero:

fattore residuo	1	2	3	4
valutato in $t =$	1	1	0	0
valutato in $t =$	1	0	1	0
valutato in $t =$	1	0	0	1
valutato in $t =$	0	1	1	0
valutato in $t =$	0	1	0	1
valutato in $t =$	0	0	1	1

con peso è $(5-2-1)! 2! = 4$. Quando $k = 3$ il peso è di nuovo $(5-3-1)! 3! = 6$ con coefficienti desumibili dalla prima tabella avendo però invertito gli istanti in cui avviene la valutazione di fattori. In conclusione, sommando il numero dei coefficienti per il loro peso otteniamo $1*24+4*6+6*4+4*6+1*24=120$ ovvero il totale delle decomposizioni possibili. Tuttavia, è necessario calcolarne solo 16 per ottenere la variazione totale.

3. UN'APPLICAZIONE DELL'APPROCCIO SDA

Il modello che prendiamo in esame appartiene alla famiglia degli *Extended Input-Output models*, in breve EIO, in cui il sistema delle interdipendenze settoriali è aumentato per tenere conto di alcune variabili ambientali o, nel nostro caso, di quelle relative all'energia. Il modello IO è dovuto al fondamentale contributo di Leontief (1936, 1941) che per primo analizza le interrelazioni tra i diversi settori che formano l'economia americana. L'approccio è divenuto oramai usuale per la valutazione dei sistemi economici anche nel

tempo e nello spazio. Lo stesso Leontief (1970) è stato il primo ad estendere il modello per tenere conto delle variabili ambientali misurando il ruolo delle attività economiche nelle emissioni di monossido di carbonio. Successivamente Bullard e Herendeen (1975) estendono l'approccio e mostrano come si possano studiare i flussi di energia incorporati in quelli dei beni dando inizio ad una copiosa letteratura (Wang, 2017a). Il punto di partenza di quasi tutte le applicazioni empiriche è l'usuale modello IO riferito ad un unico paese (Miller e Blair, 2009):

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{y} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{y} = \mathbf{L} \mathbf{y}, \quad (26)$$

con:

\mathbf{x} è il vettore ($N \times 1$) della produzione totale relativa agli N settori che formano il sistema produttivo,

\mathbf{y} è il vettore di identica dimensione relativo alla domanda finale rivolta agli stessi settori,

\mathbf{A} è la matrice ($N \times N$) dei coefficienti tecnici di produzione,

\mathbf{L} è la matrice ($N \times N$) inversa di Leontief il cui generico elemento l_{ij} mostra di quanto aumenta la produzione nell' i -esimo settore in seguito a un incremento della domanda nel j -esimo.

Ovviamente si tratta di un modello che esprime i flussi della domanda e dell'output in termini monetari, ma che può essere opportunamente aumentato per considerare anche quelli relativi al consumo di energia sia intermedio che finale. Infatti, seguendo Lenzen (1998) possiamo distinguere tra energia richiesta dal sistema produttivo e quella domandata direttamente dai consumatori finali:

$$\mathbf{r} = \mathbf{q}^x (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{y} + \mathbf{q}^y \mathbf{y} \quad (27)$$

ove \mathbf{q}^x è un vettore riga di dimensione ($1 \times N$) che contiene le intensità energetiche ovvero i rapporti dell'energia richiesta in ogni settore per unità di prodotto espressa in termini monetari. Il vettore \mathbf{q}^y ha significato simile in quanto si riferisce alla sola domanda finale. Questo è l'approccio utilizzato per la redazione delle tavole IO mondiali del WIOD (Timmer *et al.*, 2015). In questo caso sono state prima elaborate delle matrici *Supply* e *Use* (detto SUT) nazionali relative a 35 settori e 59 prodotti secondo lo schema presentato nella tavola 1, in cui i prodotti, insieme ai fattori primari \mathbf{w} , sono utilizzati dalle imprese dei diversi settori per ottenere il vettore della produzione totale \mathbf{x} .

Figura 1 – I conti economici e ambientali nello schema NAMEA

	products	industries		
products		U	Y	q
industries	V			x
	I	w		
	q^T	x^T		
		r^{xT}	r^{yT}	

Analogamente, la matrice V (trasposta della *Supply* detta anche *Make*) mostra come le stesse industrie forniscano i beni ed i servizi al sistema economico.

Il metodo più semplice e conveniente per estendere questo schema con le variabili relative all'energia e/o all'ambiente consiste nell'introdurre dei conti satellite secondo lo schema detto NAMEA (*National Account Matrices including Environmental Accounts*) e che riportiamo nella figura 1. Questi sono indicati in azzurro e consistono in vettori relativi alle variabili in esame riferiti o ai sistemi produttivi o alla domanda finale indicati rispettivamente con $r^x = q^x x$ e $r^y = q^y y$. In realtà, nella nostra applicazione non distinguiamo tra prodotti ed industrie poiché procediamo a considerare un sistema economico in cui un'industria produce una ed una sola tipologia di prodotto. Le matrici *Use* e *Make* sono fuse nella matrice quadrata A che esprime la tecnica, ovvero i coefficienti tecnici di produzione. In effetti, il nostro schema è simile a quello proposto da Chen e Wu (2017) che riportiamo nella figura 2. Questi autori usano un database diverso, ma descrivono un sistema simile al nostro anche se con meno settori, ma con più paesi e fonti energetiche primarie.

In effetti anche il sistema WIOD considera un sistema di tavole quadrate relative a 40 paesi più il resto del mondo del tipo *Multi-Regional Input-Output* (MRIO) o *World Input-Output Tables* (WIOT). Questo sistema è riassunto dalla:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{T} & \mathbf{Y} & \mathbf{x} \\ \mathbf{W} & & \\ \mathbf{x}' & & \\ \mathbf{r}^x & \mathbf{r}^y & \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{T}^{11} & \mathbf{T}^{12} & & \mathbf{T}^{1R} & \mathbf{y}^{11} & \mathbf{y}^{12} & & \mathbf{y}^{1R} & \mathbf{x}^1 \\ \mathbf{T}^{21} & \mathbf{T}^{22} & & \mathbf{T}^{2R} & \mathbf{y}^{21} & \mathbf{y}^{22} & & \mathbf{y}^{2R} & \mathbf{x}^2 \\ & & & & & & & & \\ \mathbf{T}^{R1} & \mathbf{T}^{R2} & & \mathbf{T}^{RR} & \mathbf{y}^{R1} & \mathbf{y}^{R2} & & \mathbf{y}^{RR} & \mathbf{x}^R \\ \mathbf{w}_1^1 & \mathbf{w}_1^2 & & \mathbf{w}_1^R & & & & & \\ & & & & & & & & \\ \mathbf{w}_G^1 & \mathbf{w}_G^2 & & \mathbf{w}_G^R & & & & & \\ \mathbf{x}^{1'} & \mathbf{x}^{2'} & & \mathbf{x}^{R'} & & & & & \\ \mathbf{r}^{1x} & \mathbf{r}^{2x} & & \mathbf{r}^{Rx} & \mathbf{r}^{1y} & \mathbf{r}^{2y} & & \mathbf{r}^{Ry} & \end{bmatrix} \quad (28)$$

ove \mathbf{T} è una matrice ($NR \times NR$) dei flussi a livello mondiale con $n = 1, \dots, N$ settori e $k = 1, \dots, R$ paesi. Quindi \mathbf{T}^{rs} è la generica matrice ($N \times N$) dei flussi bilaterali relativi al commercio internazionale, che mostra le vendite intermedie da ogni settore del paese r a quelli della nazione s . In modo simile, \mathbf{Y} è la matrice della domanda finale di dimensione ($NR \times R$) che evidenzia le

Figura 2 – Schema multisettoriale multiregionale di Chen e Wu (2017)

Purchase \ Sale		Intermediate use						Final use			
		Region 1			Region 186			Region 1	...	Region 186	
		Sector 1	...	Sector 26	...	Sector 1	...				Sector 26
Intermediate input	Region 1	Sector 1	z_{ij}^{rs}						f_i^{rs}		
		⋮									
		Sector 26									
		⋮									
	Region 186	Sector 1									
		⋮									
	Sector 26										
Direct energy input	Crude oil		e_{kj}^s								
	Coal										
	Natural gas										
	Biomass										
	Hydroenergy										
	Nuclear energy										
	Other renewables										

vendite di beni e servizi da parte di ogni paese ai consumatori finali di tutto il mondo. \mathbf{W} è la matrice ($G \times NR$) dei pagamenti ai G fattori produttivi (tipicamente capitale e lavoro), mentre il vettore della produzione totale \mathbf{x} ha dimensione ($NR \times 1$). Infine, i vettori relativi ai conti energetici hanno lo stesso significato visto nella figura 1. Il database WIOD presenta i dati relativi all'uso dell'energia lorda \mathbf{r} e quella netta \mathbf{e} , che esclude dal computo l'uso non energetico di beni energetici al fine di evitare conteggi doppi. Infatti si devono escludere beni come la nafta per la produzione di beni in plastica, o l'asfalto per le strade, come pure i beni energetici trasformati in ulteriori beni energetici quali il carbone che è trasformato prima in coke e poi in gas. L'energia netta è la sola misura rilevante per il calcolo delle emissioni e che usiamo in questo lavoro proprio per non incorrere nel *double counting* che inficerebbe i risultati della nostra analisi.

Le condizioni di equilibrio dei flussi monetari sono:

$$x_i^r = \sum_{s=1}^R \sum_{j=1}^N t_{ij}^{rs} + \sum_{s=1}^R y_i^{rs}, \quad (29)$$

$$x_j^r = \sum_{s=1}^R \sum_{i=1}^N t_{ij}^{sr} + \sum_{g=1}^G w_{gj}^r \quad (30)$$

o in forma compatta:

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ti} + \mathbf{Yi} = \mathbf{Ax} + \mathbf{Yi}, \quad (31)$$

dove \mathbf{i} è un vettore (colonna) unitario la cui dimensione, se non specificata da un pedice, è pari a NR . Possiamo quindi esprimere la soluzione del modello Leonteffiano:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{Yi} = \mathbf{LYi}. \quad (32)$$

Come abbiamo detto in precedenza, in questo studio ci limitiamo a prendere in esame gli effetti netti della domanda sull'energia racchiusa nei beni e servizi prodotti da un sistema economico. Quindi tralasciamo l'energia racchiusa in \mathbf{r}^v e consideriamo solo quella (netta) generata per soddisfare la produzione di beni e servizi (\mathbf{x}), che a sua volta dipende dalla domanda finale \mathbf{y} . Inoltre, questo vettore è decomposto in modo da metterne in evidenza la sua struttura, in quanto è dato dalle quote della domanda finale sul totale (esprese nella matrice diagonale $\hat{\mathbf{f}}$), dalla domanda finale pro capite ($\hat{\mathbf{c}}$) e, infine, dalla popolazione della nazione in esame (\mathbf{p}). In conclusione, il modello lineare riferito ad un unico paese è dato dalla:

$$e = \hat{q}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \hat{f} \hat{c} p, \quad (33)$$

mentre l'estensione al WIOT è ovvia. In conclusione, l'approccio SDA ci permette di decomporre le variazioni del consumo di energia settoriale in cinque componenti date da:

$$\Delta e = \gamma_q \Delta \hat{q} + \gamma_L \Delta \mathbf{L} + \gamma_f \Delta \hat{f} + \gamma_c \Delta \hat{c} + \gamma_p \Delta p \quad (34)$$

ove $\gamma_q \Delta \hat{q}$ è l'effetto dovuto alla variazione dell'intensità energetica, $\gamma_L \Delta \mathbf{L}$ quello relativo al cambiamento tecnologico, $\gamma_f \Delta \hat{f}$ alla struttura della domanda finale, $\gamma_c \Delta \hat{c}$ al consumo individuale e, infine, $\gamma_p \Delta p$ alla crescita della popolazione. Come abbiamo detto in precedenza, la nostra analisi prende in esame tutta la struttura mondiale come riportata dal database WIOD che fornisce anche i dati relativi ai consumi di energia per settore (Timmer *et al.*, 2015), mentre quelli relativi alla popolazione sono tratti dalla banca dati delle Nazioni Unite con l'eccezione di Taiwan, i cui valori sono stati recuperati dalla banca dati della Federal Reserve.

Prima di procedere all'analisi dei risultati è doverosa una breve osservazione sull'importanza di costruire un modello che spieghi i flussi di produzione in termini reali ovvero al netto degli effetti dovuti alla crescita dei prezzi. Infatti, una delle variabili chiave del modello è data dall'intensità pari al rapporto tra l'energia impiegata sul valore e la produzione espressa in termini monetari. Se ipotizziamo di avere un sistema economico stabile eccetto che per i prezzi, il valore del numeratore è costante mentre quello del denominatore aumenta esclusivamente per l'effetto dell'inflazione. È evidente che le intensità espresse in termini di prezzi correnti diminuiscono nel tempo falsando tutti i risultati della decomposizione. Tuttavia, quasi tutti gli uffici di statistica nazionali redigono le tavole IO esclusivamente a prezzi correnti, per cui è necessario deflazionare i valori iniziali. Dietzenbacher *et al.* (2000) suggeriscono di evitare il metodo della doppia deflazione e di procedere con metodi alternativi che vincolino i dati noti a prezzi costanti, quali quelli del valore aggiunto. Anche Weisz and Duchin (2006) sottolineano come sia irrealistica l'ipotesi di poter adottare un identico deflatore di prezzo per deflazionare tutte le vendite intermedie e finali, soprattutto se consideriamo contemporaneamente i mercati esteri e quello interno. Da questo punto di vista il dataset WIOD ci pone in una posizione privilegiata, perché la prima release, che copre il periodo 1995-2009, fornisce delle tavole bilanciate sia a prezzi correnti sia a quelli dell'anno precedente. Allora è possibile sfruttare

l'informazione fornita da due tavole contigue, ma espresse ai medesimi prezzi, per calcolare degli indici che riflettono solo le variazioni delle quantità. Se, ad esempio, prendiamo la tavola ai prezzi correnti riferita all'anno 2000 e quella dell'anno successivo, ma espressa ai prezzi dell'anno precedente, possiamo dividere elemento per elemento la seconda con la prima ed ottenere una nuova matrice ove ogni cella esprime la variazione delle quantità avvenuta nell'anno 2001. Definiamo tale matrice con Q_{01} . In modo analogo si possono calcolare altre 14 tavole che possono essere concatenate tra loro per esprimere, ad esempio, le variazioni tra l'anno base ed il 2001 semplicemente come:

$$Q_{95-01} = Q_{96} Q_{97} Q_{98} Q_{99} Q_{00} Q_{01}. \quad (35)$$

Cansino *et al.* (2016) suggeriscono di moltiplicare la matrice a prezzi correnti dell'anno base, posto nel 1995, per la matrice concatenata relativa all'anno di cui si vogliono esprimere i flussi ai prezzi dello stesso anno base. Nel caso del 2001 la matrice del 1995 è moltiplicata per Q_{95-01} . Ovviamente la tavola che risulta non è bilanciata, per cui Cansino *et al.* (2016) sottolineano che è necessario utilizzare il metodo RAS per ottenerne una in cui le somme delle risorse siano pari a quelle degli impieghi. Tuttavia, gli autori non mostrano come trattare i nuovi flussi ovvero quelli non presenti nell'anno base, ma apparsi successivamente. In realtà, questa procedura eccede i nostri scopi perché la variazioni e i coefficienti utilizzati per calcolare gli effetti nella decomposizione (34) utilizzano solo dati di anni contigui e quindi le matrici a prezzi correnti dell'anno $t-1$ e quelle in t , che sono espresse a prezzi di $t-1$, sono sufficienti per quantificare la (34).

4. ANALISI DEI RISULTATI

Nella figura 3 confrontiamo l'andamento dei valori desunti dal database WIOD ed oggetto della nostra analisi con quelli relativi ai consumi interni lordi tratti da Eurostat. Entrambi sono stati normalizzati ponendoli pari all'unità nel 1995. Il raffronto è interessante, ma dobbiamo tenere a mente che quelli desunti dal WIOT considerano solo l'energia inglobata nei beni e servizi prodotti dalle imprese italiane e non includono quella domandata dalle famiglie e dalla domanda finale in generale.

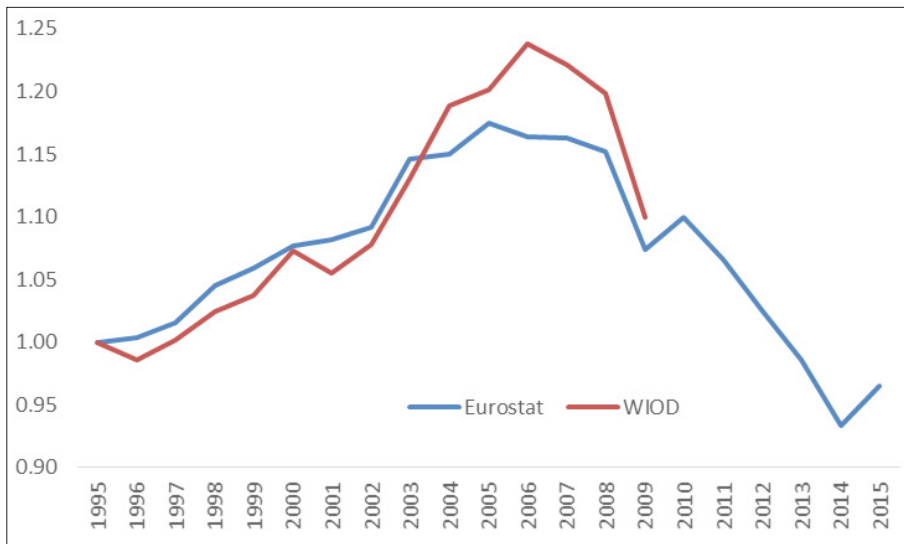
Secondo i dati IEA, in Italia il consumo finale totale di energia ammontava a circa 120.510 ktep nel 1995 ed è salito a ben 138.509 ktep nel 2008 per poi rimanere sostanzialmente stabile l'anno successivo in corrispondenza della grande recessione. I dati WIOD, che si basano su quelli IEA, presentano

una realtà leggermente diversa. Infatti, mostrano una crescita media moderata, leggermente inferiore all'1%, sino al 2001 che poi accelera passando oltre il 3% sino al picco del 2006. La discesa inizia quindi ben prima del tracollo della produzione italiana e di quella delle principali economie mondiali in seguito alla recessione mondiale del 2009. Ad ogni modo la caduta di quasi il 2% nel 2008 e di oltre otto punti percentuali nell'anno successivo hanno riportato la domanda di energia netta quasi ai livelli raggiunti nove anni prima.

Eccetto che per la cuspide del 2006, l'andamento dei dati è abbastanza coerente con i valori del consumo interno lordo forniti da Eurostat, che sono pure riportati nella figura 3 e che arrivano sino al 2015. Possiamo vedere come i pattern siano praticamente identici almeno sino al 2004, quando la produzione netta di energia che viene inglobata nei beni e servizi prodotti in Italia cresce di più del consumo lordo. Quest'ultimo presenta un livellamento a metà della prima decade di questo secolo, che non è invece presente nell'altra serie. Entrambe registrano la notevole caduta della produzione e consumo di energia che si è verificata nel 2009, quando termina la serie storica del WIOD. I dati tratti da Eurostat mostrano come la discesa sia proseguita negli anni successivi e pare essersi arrestata solo recentemente.

Le variazioni annuali dell'energia prodotta e inglobata in beni e servizi sono riportate anche nella prima colonna della tavola 1, da cui si evince che

Figura 3 – Domanda di Energia Netta per tutti i beni (WIOD) Consumo Interno Lordo (Eurostat)



per quasi un decennio è aumentata l'energia inglobata nella produzione, con le sole eccezioni del 1996 e del 2001. Invece, dal 2006 il trend si è invertito. Nel totale la variazione è comunque positiva ed ammonta a 544Tj, anche se era più del doppio (circa 1300Tj) prima della contrazione degli ultimi tre anni. Inoltre, al netto del tracollo registrato nel 2009 quando l'energia inglobata nei beni diminuisce di quasi 545Tj, l'aumento complessivo è di quasi 1089Tj. Gran parte di questo incremento (circa tre quarti) si realizza tra il 2002 ed il 2004. Però questa variazione positiva è quasi perfettamente controbilanciata dalla riduzione degli ultimi tre anni, che ammonta a 764Tj. Ad ogni modo, i cinque anni seguenti l'introduzione della moneta unica hanno visto crescere l'energia inglobata nei beni di oltre 707Tj contro i 399Tj del lustro precedente. Quindi, da un punto di vista macro, gli effetti positivi che abbiamo riscontrato soprattutto all'inizio di questo nuovo millennio con la creazione della moneta

Tavola 1 – Variazioni e decomposizione per anno e periodo (dati in TeraJoules)

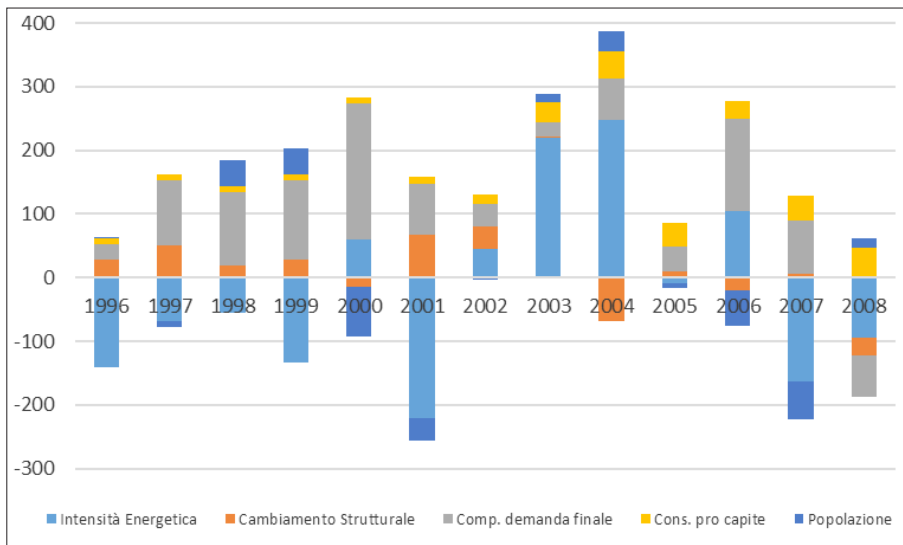
	Variazione	Intensità	Cambiamento Strutturale	Domanda Finale	Consumo pro capite	Popolazione
1996	-76.0	-140.5	27.9	24.2	9.0	3.4
1997	84.1	-69.0	51.2	101.2	10.2	-9.5
1998	128.7	-56.2	19.6	115.5	9.1	40.6
1999	70.5	-133.0	29.0	124.5	8.4	41.5
2000	191.4	60.8	-14.6	213.0	10.0	-77.9
2001	-97.8	-220.5	68.0	79.7	11.0	-36.0
2002	127.0	45.8	34.9	34.7	15.4	-3.8
2003	288.5	220.7	1.7	21.7	31.0	13.4
2004	319.9	248.1	-68.1	64.6	43.7	31.7
2005	70.0	-8.9	9.8	39.2	36.8	-6.9
2006	201.7	103.9	-20.8	146.4	27.3	-55.0
2007	-94.1	-163.2	5.9	83.2	39.1	-59.0
2008	-125.2	-94.7	-28.1	-65.1	47.0	15.7
2009	-544.8	393.6	-501.8	-337.6	33.1	-132.1
96-09	544.1	186.8	-385.5	645.3	331.3	-233.8
96-08	1088.9	-206.8	116.4	982.8	298.1	-101.7
96-00	398.7	-337.8	113.1	578.5	46.8	-1.8
00-05	707.6	285.1	46.4	239.9	137.9	-1.5
05-09	-562.3	239.5	-544.9	-173.1	146.6	-230.4

unica sono stati quasi perfettamente compensati dalle contrazioni successive al 2007 e dall'esplosione della crisi mondiale.

Risulta quindi interessante indagare alcuni dei fattori che possono spiegare queste variazioni. A questo scopo adottiamo la decomposizione (34), che si riferisce però a tutto il WIOT e non solamente alle componenti domestiche, com'è invece usuale fare nelle applicazioni che utilizzano esclusivamente dati nazionali (Cellura *et al.*, 2011). In altre parole, in questa sede consideriamo la variazione della domanda finale e della popolazione a livello mondiale e non solamente quella riferita al nostro territorio. Pur essendo rimasto pressoché costante il numero dei nostri connazionali è la crescita della popolazione mondiale che spinge, con la sua maggiore domanda di beni e servizi, all'incremento della domanda di energia inglobata nei prodotti nazionali. È evidente che questi aspetti possono essere colti solo da un modello che comprenda al suo interno anche i flussi di energia legati al commercio internazionale (Gasim, 2015).

I valori presentati nella tavola 1 sono anche riportati nella figura 4 ove però abbiamo eliminato l'ultima osservazione per rendere più intellegibili i dati relativi agli anni precedenti. Emergono alcuni aspetti interessanti. In primo luogo il consumo pro capite ha sempre influito positivamente sulla crescita dell'energia inglobata, anche se i valori non sembrano essere di particolare

Figura 4 – Decomposizione dell'energia inglobata 1995-2008



rilevanza almeno sino al 2003. Il maggior benessere riscontrato in questo periodo di tempo, che è stato caratterizzato da una maggiore intensificazione degli scambi commerciali dovuti alla globalizzazione, e la crescita del reddito pro capite a livello mondiale hanno avuto un impatto positivo sulla produzione di energia che ammonta a ben 331Tj alla fine del 2009. Questo valore è superiore a metà della variazione complessiva. Ma un impatto ben maggiore, quasi doppio, è dovuto alla composizione della domanda finale, che registra un incremento di oltre 645Tj. In questo caso gli incrementi sono stati tutti positivi eccetto che per gli ultimi due anni. In particolare la riduzione del 2009 è molto forte in quanto ammonta a quasi 338Tj. Inoltre, è interessante notare come le variazioni siano state particolarmente significative nella prima parte del periodo preso in esame, ovvero sino al 2000, con incrementi a tre cifre. Successivamente gli aumenti sono stati alquanto più contenuti e l'incremento registrato in questo secolo è stato quasi completamente riassorbito dalla contrazione degli ultimi due anni.

L'ultima voce che ha contribuito alla crescita è l'intensità energetica. In questo caso la variazione è più contenuta ad ammonta complessivamente a circa 187Tj. Questo è il risultato di un andamento altalenante che ha visto susseguirsi un periodo di riduzione, che dura grossomodo sino al 2001, seguito da uno di espansione, che si protrae sino al 2006. La riduzione successiva termina l'ultimo anno quando, in controtendenza a tutti gli altri fattori, la variazione di energia dovuta all'intensità energetica aumenta in maniera considerevole. Ed è proprio il dato del 2009 che rovescia una situazione deficitaria che ammontava a 207Tj sino all'anno prima. In sintesi, le variazioni dell'intensità energetica sono sempre state del tipo *energy-saving* nell'era pre-euro e parzialmente dopo il 2005. Al contrario, nel periodo intermedio e soprattutto nel 2009 la sua variazione ha grandemente concorso ad evitare che la diminuzione della domanda energetica fosse ancora più marcata.

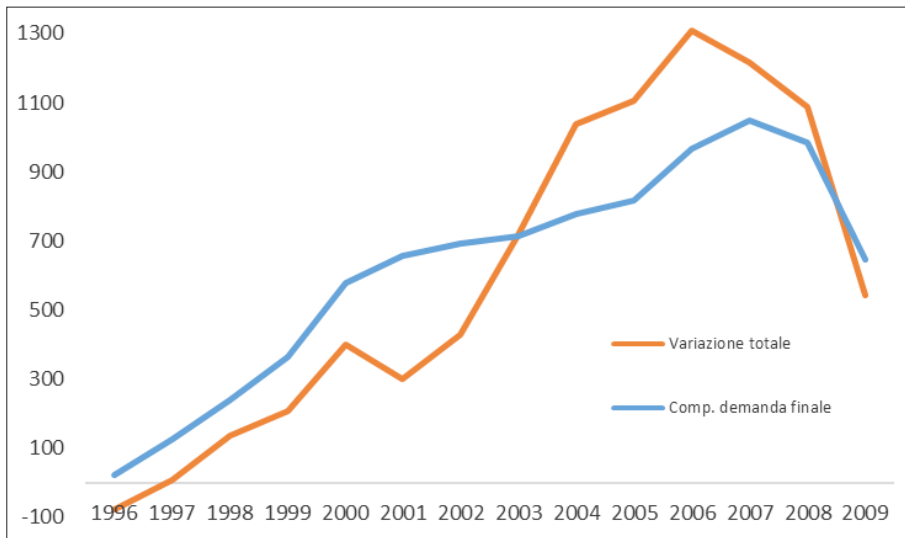
Le due voci rimanenti apportano delle variazioni negative per oltre 700Tj. In particolare, il cambiamento strutturale è la variabile con l'impatto maggiore, anche se appare totalmente concentrato proprio nell'ultima osservazione con una riduzione di oltre 500Tj. In precedenza, l'energia inglobata era aumentata di circa 116Tj con anni in cui gli aumenti sono stati a doppia cifra inframmezzati ad altri con riduzioni di pari entità. Come sappiamo, l'indice di cambiamento strutturale riflette le modificazioni delle tecniche produttive e dei pattern di scambio internazionali. Quindi, possiamo avanzare l'ipotesi che sia stata proprio la crisi mondiale con il contemporaneo *trade collapse* a portare ad una forte contrazione dell'energia racchiusa nei beni e servizi prodotti in Italia.

Infine, il contributo della popolazione è complessivamente negativo con andamenti altalenanti caratterizzati da periodi con apporti positivi ed altri di

segno opposto. Questo può essere dovuto al fatto che i prodotti italiani trovano dei mercati di sbocco, soprattutto quelli europei, dove la popolazione non è sostanzialmente aumentata nel periodo di tempo analizzato. Questa è però un'ipotesi che sarà indagata in un lavoro successivo.

Dall'analisi precedente emerge come la variazione totale sia fortemente collegata alla composizione della domanda finale. Per chiarire questo aspetto nella figura 5 riportiamo i valori cumulati di queste due variabili. L'andamento è pressoché identico di anno in anno con rare eccezioni come nel 2001. Non a caso il coefficiente di correlazione lineare è pari a 0,93. Questo risultato specifica meglio quanto evidenziato dall'analisi di Cellura *et al.* (2011), che studiano esclusivamente l'impatto della domanda delle famiglie italiane sulla produzione di energia nel periodo 1999-2006. Questi autori trovano che è proprio la variazione della domanda finale nazionale ad incidere maggiormente sulla crescita dell'energia inglobata nei prodotti italiani, non specificando però se questa sia dovuta ad un maggior consumo pro capite o alla sua composizione. La nostra analisi ha mostrato come ambedue abbiano portato un contributo positivo alla crescita energetica, ma con un ruolo preponderante dell'effetto di composizione nonostante la forte diminuzione conseguente alla recessione mondiale del 2008.

Figura 5 – Valori cumulati della variazione totale e della composizione domanda finale



Tale correlazione positiva è, invece, del tutto assente tra consumo pro capite e intensità energetica, come si evince dalla figura 6. Il primo denota un trend crescente con un tasso alquanto costante su tutto il periodo in esame. Il secondo segue tutt'altro andamento. Inizialmente decresce sino a quando, in concomitanza all'introduzione dell'euro, il trend s'inverte e la serie recupera un saldo nullo attorno al 2006. Quest'ultimo risultato è parzialmente difforme con quanto riportato da Cellura *et al.* (2011), che individuano un contributo negativo dell'intensità energetica che si estende sino al 2006. Tuttavia, il loro modello considera esclusivamente la domanda finale delle famiglie italiane ed i settori produttivi nazionali, mentre il nostro è un modello globale.

Naturalmente l'analisi può essere effettuata anche a livello settoriale e non solo a livello aggregato come fatto sinora. Nella tavola 2 presentiamo la decomposizione relativa ai valori cumulati per i 34 settori del sistema produttivo che domandano energia (l'ultimo relativo alle Famiglie produttrici non la utilizza). Come atteso la variazione principale si riferisce proprio al settore che produce Elettricità, gas ed acqua. Questo ammonta a circa il 34,5% della variazione assoluta, ovvero quasi 460Tj. È interessante notare che la decomposizione relativa a questo settore denoti contributi positivi eccetto che per la popolazione. Anche la domanda finale pro capite e il cambiamento struttura-

Figura 6 – Valori cumulati del consumo pro capite e dell'intensità energetica

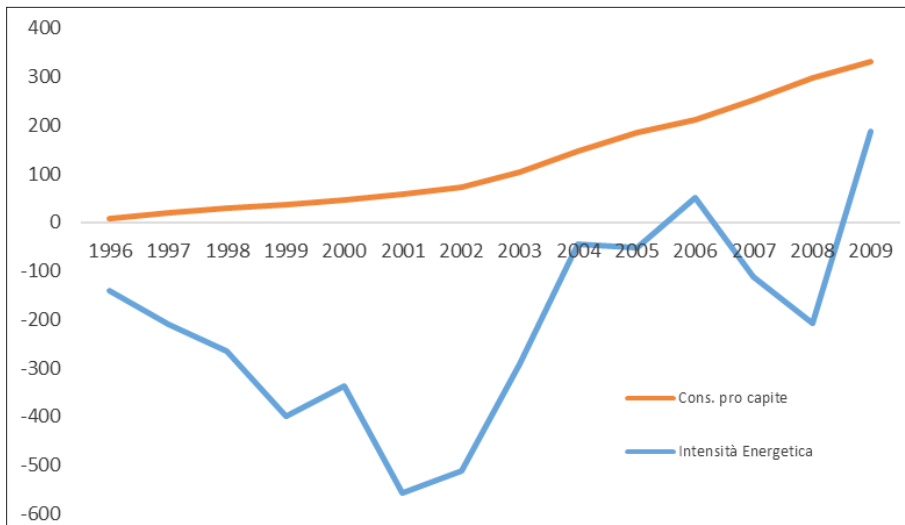


Tavola 2 – Decomposizione per settore (dati in Tjoule)

	variazione totale	quota	intensità energetica	cambiamento strutturale	domanda finale	consumo pro capite	popolazione
Agricoltura	-9.5	0.7	-3.5	-26.8	14.4	6.7	-0.3
Estrazioni	-13.2	1.0	-13.2	-2.2	3.8	1.6	-3.2
Alimentare	5.7	0.4	-15.6	-1.4	13.2	6.3	3.1
Tessile	-45.8	3.4	-28.6	-17.2	15.5	4.8	-20.3
Pelle	-9.0	0.7	-5.2	-2.0	2.5	0.7	-5.2
Legno	0.6	0.0	3.3	-3.5	2.6	1.1	-3.0
Carta, editoria	0.2	0.0	-1.9	-8.2	13.9	6.2	-9.8
Carbone, petrolio	46.8	3.5	234.6	-153.2	29.9	17.5	-81.9
Chimica	-98.5	7.4	-134.9	-16.3	41.0	15.3	-3.6
Plastica	17.5	1.3	26.1	-16.1	7.8	3.7	-4.1
Altri Minerali	-32.2	2.4	5.9	-81.0	46.0	22.2	-25.3
Metalli	-172.1	12.9	-153.5	-135.0	96.3	35.2	-15.1
Macchinari	10.0	0.8	4.8	-6.5	12.3	5.3	-5.9
Elettronica	6.7	0.5	5.5	-6.2	10.1	4.2	-6.8
Mezzi di trasporto	-11.6	0.9	-14.5	-2.2	4.7	1.8	-1.4
Altro manifattura	4.6	0.3	7.2	0.1	2.3	1.1	-6.1
Elettricità, gas e acqua	459.8	34.5	78.6	121.7	198.8	116.1	-55.5
Construction	-1.7	0.1	-7.3	0.4	3.3	1.8	0.1
Manutenzione trasporto	8.4	0.6	5.1	0.2	2.1	1.3	-0.3
Vendite all'ingrosso	14.7	1.1	7.9	1.8	4.1	2.5	-1.8
Vendite al dettaglio	38.6	2.9	33.4	-2.9	9.8	6.1	-7.9
Hotel e Ristoranti	46.3	3.5	26.2	1.5	4.6	3.8	10.2
Trasporti interni	56.5	4.2	-16.7	33.1	31.4	20.1	-11.4
Trasporti marittimi	20.5	1.5	28.8	-26.6	14.3	11.1	-7.0
Trasporti aerei	53.4	4.0	105.5	-85.1	24.5	12.1	-3.6
Supporto trasporti	20.6	1.6	12.1	3.1	3.4	2.5	-0.5
Telecomunicazioni	1.7	0.1	-30.5	16.7	3.4	1.8	10.3
Finanza	1.6	0.1	-9.5	5.6	2.4	1.3	1.8
Immobiliari	13.0	1.0	8.1	0.0	1.7	1.4	1.8
Altri servizi imprese	53.4	4.0	16.8	21.4	8.2	5.5	1.4
Amm. pubblica	13.4	1.0	-1.0	-0.1	6.2	3.4	4.9
Istruzione	0.7	0.1	-2.2	0.8	3.6	1.8	-3.4
Servizi sanitari	17.5	1.3	-2.0	0.1	4.0	2.5	12.8
Altri servizi sociali	25.4	1.9	17.0	0.4	2.9	2.2	2.9
Totale Energia	544.1	100.0	186.8	-385.5	645.3	331.3	-233.8

le forniscono un sostanziale apporto alla sua crescita. Quest'ultimo apporta quasi 122Tj, valore non molto dissimile dall'effetto del consumo pro capite (116Tj) ed inferiore solo alla composizione della domanda finale (199Tj). Solo la popolazione ha un apporto negativo di circa 56Tj. Sorprende il dato positivo dell'intensità energetica (79Tj), che testimonia un uso non ottimale delle risorse utilizzate per produrre soprattutto energia elettrica.

La situazione è alquanto diversa per alcuni beni ad alta intensità energetica come i Metalli. In questo caso la forte variazione negativa deve essere imputata all'intensità energetica (-154Tj) ed al cambiamento tecnologico (-135Tj), mentre la domanda finale ha ancora un impatto positivo (96Tj). Un discorso simile vale anche per la Chimica ed il Tessile. In quest'ultimo caso, curiosamente, è però la popolazione ad avere una forte connotazione negativa (-20Tj). Questo è vero anche per il settore del Carbone e del petrolio raffinato, ove sono *energy-savings* la popolazione (-82Tj) e il cambiamento tecnologico (-153Tj), mentre l'intensità agisce in direzione opposta (235Tj).

Infine, osserviamo che tutti i settori dei servizi hanno visto crescere la loro domanda di energia nonostante il crollo legato alla recessione del 2009. Eccetto qualche rara eccezione, come nei trasporti o nel settore delle telecomunicazioni, tutte le prime quattro componenti danno un contributo positivo. Solo la popolazione agisce talvolta in direzione opposta. L'aumento complessivo è di circa 386Tj e si tratta di un valore non molto lontano da quello registrato nel settore dell'energia elettrica, gas e acqua e totalmente diverso da quello del secondario in senso stretto. Infatti, escludendo le costruzioni ed il settore dell'elettricità, la variazione relativa all'industria è negativa ed ammonta a circa 300Tj, dovuti alla variazione dell'intensità energetica (-83.5Tj), cambiamento strutturale (-477.6Tj) e popolazione (-188.7Tj). In direzione opposta hanno agito la composizione della domanda finale (316.4Tj) e il consumo pro capite (133.7Tj).

5. CONCLUSIONI

In questo lavoro abbiamo presentato un'applicazione relativa ad un'analisi di decomposizione strutturale dell'energia inglobata nei beni e servizi prodotti dal sistema produttivo italiano dal 1995 al 2009. Questo approccio si differenzia dai più semplici metodi basati sui numeri indice perché richiede molte più informazioni per essere implementato. Infatti, non solo necessita di dati disaggregati per settore sulla produzione di energia, ma pure delle tavole Input-Output che descrivono le interrelazioni industriali di un sistema economico. Si tratta di informazioni che non erano facilmente reperibili sino a poco

tempo fa ma che, da alcuni anni, gli uffici di statistica di numerosi paesi ed alcune organizzazioni internazionali, come l'OECD e l'Eurostat, forniscono con una certa regolarità sia su base nazionale che internazionale. In realtà, il loro impiego non è così automatico, in quanto le analisi temporali presuppongono l'utilizzo di dati misurati in termini reali, ovvero al netto delle variazioni dei prezzi, mentre quelle spaziali richiedono stime dei flussi basate su valori comparabili come i poteri d'acquisto. Il secondo problema non è di facile risoluzione, ma risulta parzialmente superato per l'esistenza di alcune serie di tavole Input-Output a livello mondiale in cui tutti i flussi sono espressi in modo omogeneo. Questo è proprio il caso delle matrici WIOT elaborate dal WIOD, che offre anche dati relativi a variabili ambientali e all'uso di energia. Utilizzando questo prezioso set informativo abbiamo implementato un metodo che permette di ottenere una significativa decomposizione degli usi energetici anche in termini reali, aggirando il problema della variazione dei prezzi nei 40 paesi che compongono il sistema WIOT.

La decomposizione che abbiamo utilizzato ripartisce le variazioni annuali dell'energia inglobata nei beni e servizi prodotti dalle industrie italiane in cinque componenti. Queste sono riferite alle variazioni della popolazione, del consumo pro-capite, della struttura della domanda finale, del cambiamento strutturale e dei pattern di scambio tra paesi e, infine, dell'intensità energetica. In questo modo abbiamo visto come l'incremento di 544Tj riscontrato nel periodo 1995-2009 sia dovuto soprattutto alla composizione della domanda finale ed al consumo pro-capite. Quindi, possiamo affermare che la crescita economica e lo spostamento della domanda verso prodotti a maggior contenuto di energia hanno spinto la domanda di energia. Ovviamente l'aumento della ricchezza media si riferisce a tutti i 40 paesi riportati nel WIOT e non solo a quello, alquanto anemico, riferito al nostro paese. Anche l'intensità energetica contribuisce in parte a produrre più energia, smentendo *prima facie* l'ipotesi che le nuove tecnologie produttive siano state complessivamente *energy saving* nei quindici anni presi in esame.

Dobbiamo però sottolineare ancora che la nostra analisi non distingue le origini della domanda finale e, in un'indagine futura, provvederemo a vedere quale quota di questa variazione sia imputabile alle esportazioni e quale invece alla domanda interna. Inoltre, sarebbe opportuno proseguire lo studio anche per gli anni successivi al 2009 che hanno visto il riassorbimento degli effetti recessivi in alcuni paesi e l'acutizzarsi della crisi in altri. Tra questi, purtroppo, dobbiamo annoverare l'Italia, che ha sofferto non poco la crisi dell'Eurozona. In questa sede, invece, abbiamo discusso pure le variazioni a livello settoriale. Come ovvio, l'industria che ha dato il maggior contributo alla crescita energetica è proprio quello dell'Elettricità, gas ed acqua. La decomposizione

rivela che anche in questo caso è la composizione della domanda finale a giocare un ruolo preponderante. Segue il cambiamento strutturale che, invece, ha un impatto negativo a livello aggregato. Questo è un risultato interessante, che dovrà essere approfondito in futuro mediante opportune tecniche derivate dalla teoria dei grafi (Lenzen, 2016). I settori che, al contrario, hanno ridotto la domanda di energia sono quello dei Metalli, la Chimica ed il Tessile. In questi casi è proprio la componente dell'intensità energetica a fornire il maggior contributo, testimoniando il fatto che il cambiamento tecnologico riscontrato nel periodo 1995-2009 abbia provocato una riduzione significativa dell'energia richiesta da questi settori industriali. Sul versante opposto spicca invece il trasporto aereo, che si è rivelato essere l'attività produttiva con l'incremento più rilevante di energia consumata per unità di prodotto. Anche questo è un risultato interessante che richiede un confronto a livello internazionale e che verrà perseguito in futuro.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Ang, B.W. (2004), *Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method?*, «Energy Policy», 32(9), pp. 1131-1139.
- Bossanyi, E. (1979), *UK primary energy consumption and the changing structure of final demand*, «Energy Policy», 7(3), pp. 253-258.
- Bullard, C., Herendeen, R. A. (1975), *The energy cost of goods and services*, «Energy Policy», 3(4), pp. 268-278.
- Cansino, J.M., Román, R., Ordóñez, M. (2016), *Main drivers of changes in CO2 emissions in the Spanish economy: A structural decomposition analysis*, «Energy Policy», 89, pp. 150-159.
- Cellura, M., Longo, S., Mistretta, M. (2011), *The energy and environmental impacts of Italian households consumptions: an input-output approach*, «Renewable and Sustainable Energy Reviews», 15(8), pp. 3897-3908.
- Chen, G. Q., Wu, X. F. (2017), *Energy overview for globalized world economy: Source, supply chain and sink*, «Renewable and Sustainable Energy Reviews», 69, pp. 735-749.
- De Boer, P. (2008), *Additive Structural Decomposition Analysis and Index Number Theory: An Empirical Application of the Montgomery Decomposition*, «Economic Systems Research», 20(1), pp. 97-109.
- de Haan, M. (2001), *A structural decomposition analysis of pollution in the Netherlands*, «Economic Systems Research», 13(2), pp. 181-196.
- Dietzenbacher, E., Hoen, A.R., Los, B. (2000), *Labor productivity in Western Europe 1975-1985: an intercountry, interindustry analysis*, «Journal of Regional Science», 40(3), pp. 425-452.
- Dietzenbacher, E., Los, B. (1998), *Structural decomposition techniques: sense and sensitivity*, «Economic Systems Researches», 10 (4), pp. 307-324.

- Herbst, A., Toro, F. A., Reitze, F., Jochem, E. (2012), *Introduction to Energy Systems Modelling*, «Swiss Journal of Economics and Statistics», 148(2), pp. 111-135.
- Hoekstra, R., van der Bergh, J.M. (2003), *Comparing structural and index decomposition analysis*, «Energy Economics», 25(1), pp. 39-64.
- Gasim, A. A. (2015), *The embodied energy in trade: What role does specialization play?*, «Energy Policy», 86, pp.186-197.
- Laspeyres, E. (1871), *Die Berechnung einer Mittleren Waarenpreissteigerung*, «Jahrbucher fur Nationaloekonomie und Statistisk», 16(1), pp. 296-314.
- Lenzen, M. (1998), *Primary energy and greenhouse gases embodied in Australian final consumption: an input-output analysis*, «Energy Policy», 26(6), pp. 495-506.
- Lenzen, M. (2016), *Structural analyses of energy use and carbon emissions – an overview*, «Economic Systems Research», 28(2), pp. 119-132.
- Leontief, W. (1936), *Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States*, «The Review of Economics and Statistics», 18(3), pp. 105-125.
- Leontief, W. (1941), *The Structure of American Economy, 1919-1929*, Harvard University Press, Cambridge.
- Leontief, W. (1970), *Environmental repercussions and the economic structure: an Input-Output approach*, «The Review of Economics and Statistics», 52(3), pp. 262-271.
- Liu, X. Q., Ang, B. W., Ong, H. L. (1992), *The Application of the Divisia Index to the Decomposition of Changes in Industrial Energy Consumption*, «The Energy Journal», 13(4), pp. 161-177.
- Lowe, J. (1822), *The Present State of England in Regard to Agriculture, Trade and Finance*, Longman, London.
- Malanima, P. (2006), *Energy consumption in Italy in the 19th and 20th centuries. A statistical outline*, Consiglio Nazionale delle Ricerche Istituto di Studi sulle Società del Mediterraneo, Roma.
- Myers, J. G., Nakamura, L. (1978), *Saving energy in manufacturing: the post-embargo record*, Ballinger Pub. Co., Cambridge.
- Miller, R.E., Blair, P.D. (2009), *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, Cambridge University press, Cambridge.
- Paasche, H. (1874), *Über die Preisentwicklung-der-letzten Jahre, nach den Hamburger Börsennotierungen*, «Jahrbucher fur Nationaloekonomie und Statistidik», 23(1), pp. 168-178.
- Seibel, S. (2003), *Decomposition Analysis of Carbon Dioxide Emission Changes in Germany: Conceptual Framework and Empirical Results*, Federal Statistical Office of Germany, Wiesbaden.

- Sun, J.W. (1998), *Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition model*. «Energy Economics», 20(1), pp. 85-100.
- Timmer, M. P., Dietzenbacher, E., Los, B., Stehrer, R. and de Vries, G. J. (2015), *An Illustrated User Guide to the World Input-Output Database: the Case of Global Automotive Production*, «Review of International Economics», 23(3), pp. 575-605.
- Wang, H., Ang, B.W., Su B. (2017a), *Assessing drivers of economy-wide energy use and emissions: IDA versus SDA*, «Energy Policy», 107, pp. 585-599.
- Wang, H., Ang, B.W., Su B. (2017b), *Multiplicative structural decomposition analysis of energy and emission intensities: Some methodological issues*, «Energy», 123, pp. 47-63.
- Weisz, H., Duchin, F. (2006), *Physical and monetary input-output analysis: What makes the difference?*, «Ecological Economics», 57(3), pp. 534-541.