

LE POLITICHE PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI

MAURIZIO CIASCHINI, ROSITA PRETAROLI, FRANCESCA SEVERINI E CLAUDIO SOCCI

Le politiche per la produzione di energia da fonti rinnovabili

Maurizio Ciaschini, Rosita Pretaroli, Francesca Severini and Claudio Socci^{a*}

^a *University of Macerata, Dipartimento di Scienze della Comunicazione, Via Armaroli 9, 62100 Macerata-Italy; Phone +39 0733 258 2560, Fax +39 0733 258 2553;*

(XXI SIEP, PAVIA, September 24-25, 2009)

A partire dall'inizio degli anni Novanta, gli stati Europei hanno aderito ad una decisa azione di riforma del settore dell'energia allo scopo di determinare una netta trasformazione dei sistemi produttivi ad alta intensità carbonica attraverso la riduzione delle emissioni, l'incremento dell'efficienza energetica e l'aumento della quota di energia prodotta da fonti rinnovabili. In questo senso, l'Italia ha condotto una azione di liberalizzazione del mercato dell'energia mediante la creazione di forme di incentivazione. A questo riguardo, appare cruciale la possibilità di quantificare l'impatto delle politiche di incentivazione dei processi produttivi di energia rinnovabile sull'intero sistema economico. L'analisi multisettoriale è volta a valutare l'interdipendenza produttiva e l'importanza dei processi produttivi di energia distinti questi in processi da fonti rinnovabili e non rinnovabili. In tal senso, l'obiettivo di questo lavoro è di quantificare l'impatto sull'economia generato dalle politiche di incentivazione di energia rinnovabile che si esplicano attraverso il mercato dei certificati verdi. Più in particolare, il lavoro si concentra sulla determinazione delle politiche economiche favorevoli alla produzione di energia rinnovabile e agli effetti che queste generano nel sistema economico in termini di cambiamenti del Pil.

Keywords: Politiche ambientali, Modello I-O ibrido, Macro Moltiplicatori.

1 Introduzione

A partire dai primi anni Novanta, la regolazione del mercato dell'energia ha assunto un carattere incisivo che, sebbene si possa differenziare a seconda del contesto di applicazione e della portata degli interventi di policy, in tutti i paesi europei è volto a realizzare un modello di produzione di energia quanto più concorrenziale e prevalentemente basato sullo sfruttamento di fonti rinnovabili CitepBA98. Pur essendo obiettivi notevolmente ambiziosi, l'efficienza energetica e l'apertura del mercato possono contribuire a ridurre le numerose imperfezioni legate alla produzione di energia: fra tutte le esternalità ambientali proprie dei sistemi economici ad alto sfruttamento di combustibili fossili (Bode 2005).

In Europa, il disegno della politica economica ambientale è strettamente legato agli obiettivi del protocollo di Kyoto che vincola i paesi firmatari ad una riduzione del 5.2% delle immissioni

*Corresponding author. Email: Maurizio Ciaschini (ciasco@unimc.it), Rosita Pretaroli (pretaroli@unimc.it), Severini Francesca (francesca.severini@unimc.it), Claudio Socci (socci_claudio@unimc.it).

di gas serra (per il periodo fra il 2008 e il 2012 rispetto al livello registrato nel 1990). L'Unione Europea (UE), all'interno dell'obiettivo globale di abbattimento del 20% delle emissioni mondiali di gas serra entro il 2020, ha stabilito di ridurre collettivamente le emissioni dell'8% con uno sforzo redistribuito non equamente fra gli Stati membri¹.

Il recepimento delle direttive basate sul protocollo di Kyoto da parte del policy maker ha acceso un ampio dibattito scientifico legato alla valutazione degli strumenti di politica economica maggiormente applicati nelle differenti esperienze nazionali. Nel ratificare il protocollo di Kyoto, l'UE assegna al policy maker la facoltà di incidere nel mercato dell'energia attraverso meccanismi di limitazione dei flussi di emissioni oppure mediante strumenti incentivanti la produzione di energia rinnovabile². Il tema degli strumenti di politica economica idonei a ridurre il livello di inquinamento è oggetto di un ampio dibattito e si può inquadrare, da un punto di vista squisitamente teorico, nell'ambito della teoria delle esternalità. In questo senso, gli strumenti per controllare ed eliminare gli effetti negativi legati alla produzione di energia possono essere legati ad un intervento diretto dell'operatore pubblico, attraverso la tassazione ambientale e la fissazione di tetti di emissione, oppure mediante soluzioni cosiddette di tipo privato.

All'interno del panorama europeo, nell'obiettivo di incrementare lo sviluppo delle tecnologie e la realizzazione di impianti di produzione di elettricità da fonti rinnovabili, si possono osservare comportamenti differenti da parte degli stati membri che si rifanno all'adozione di misure di incentivi (Germania, Spagna, Francia, Portogallo) o alla creazione di un mercato di diritti di proprietà relativi alla produzione di energia da fonti rinnovabile: il mercato dei certificati verdi (CV) (Italia, Belgio, Svezia, Regno Unito, Olanda e Danimarca).

Il mercato dei CV può essere organizzato attraverso due differenti sistemi a seconda del soggetto sul quale grava l'obbligo di acquistare il diritto di proprietà: produttore e/o distributore piuttosto che consumatore finale³. Il meccanismo più diffuso, adottato anche in Italia, è il meccanismo del primo tipo, dove è previsto il diritto per i produttori/distributori di energia elettrica di ricevere certificati negoziabili in proporzione a quella generata da fonti rinnovabili da loro prodotta o distribuita. Le imprese, il cui livello di produzione di energia fosse composto da produzione rinnovabile in quantità inferiore rispetto al quantitativo minimo stabilito dal policy maker, sono obbligate a costruire o acquistare energia da nuovi impianti per la generazione di energia - verde (ottenendo così i relativi CV) oppure possono acquistare direttamente i CV se questi sono negoziati. In questo ultimo caso, l'incentivo a produrre energia rinnovabile dipende dalle possibilità di guadagno derivante dalla commercializzazione dei certificati, il cui prezzo è definito dalle forze di mercato. Vale la pena chiarire che, se si confrontano le diverse soluzioni al problema

¹Direttiva 2003/87/CE. (Finon 2006).

²Come noto, le risorse naturali quali il sole, il vento, le acque, le biomasse, sono considerati alternative ai combustibili fossili per via del loro enorme potenziale energetico e la pressoché totale assenza di vincoli di disponibilità o reperibilità. Il limite nella produzione di emissioni di carbonio accanto alla spinte verso l'impiego di risorse rinnovabili, infatti, dovrebbe rappresentare proprio il mix di strumenti sui quali poggiare la politica ambientale dei differenti paesi (Stoutenborough and Beverlin 2008) (Haug 2007).

³Questo secondo tipo di meccanismo considera l'utilizzatore dell'energia (famiglie e imprese) la causa indiretta del danno ambientale e consente di considerare l'autogenerazione di elettricità da fonti rinnovabili. Viene utilizzato in Danimarca ed è un sistema soggetto ad alti costi di transazione e alla stregua della tassazione gode di una scarsa popolarità.

delle immissioni, tassazione piuttosto che regolazione o soluzioni di mercato, in termini di costi e efficacia non vi sono vantaggi particolari all'adozione di uno strumento piuttosto che di un altro (Finon 2007). La preferenza nella scelta può essere dettata da fattori culturali o dalla fiducia nei meccanismi di mercato per la soluzione dei problemi ambientali. Da un punto di vista di politica economica, tuttavia, esiste una preferenza per la scelta dei certificati verdi, quale strumento di incentivazione della produzione di energia rinnovabile per almeno due motivi. Per primo, il costo del certificato è facilmente monitorabile anche da parte della domanda e laddove si trasferisse direttamente sul prezzo dell'energia spingerebbe la domanda verso i produttori virtuosi che possono abbattere una parte dei costi di produzione attraverso i guadagni derivanti dalla vendita dei CV. In secondo luogo il meccanismo dei CV può essere preferito in quanto richiede un intervento minimo dell'operatore pubblico relativo esclusivamente alla corresponsione degli incentivi (Finon and Perez 2006).

L'esperienza nell'utilizzo dei certificati verdi è ancora piuttosto limitata se si pensa che sono stati introdotti in Olanda, Inghilterra, Belgio, Italia, Danimarca e Svezia solo a partire dal 2001 e riguardano esclusivamente il mercato dell'energia elettrica⁴.

Il primo paese europeo ad introdurre un sistema vincolante di negoziazione obbligatoria dei CV è stato l'Olanda nel 2001⁵. Il modello adottato dalla Danimarca riguarda invece il secondo tipo di meccanismo dei CV dove l'obbligo è imposto sui consumatori finali e intermedi. La Danimarca ha introdotto per prima un prezzo minimo dei certificati ed un coefficiente di mark-up esattamente uguale al valore della sanzione unitaria relativa al mancato adempimento dell'obbligo. L'esperienza più simile a quella italiana sembra essere invece quella inglese dove nel 2001 è stato adottato un sistema di sostegno dell'uso di energia da fonti rinnovabili, detto Renewable Obligation, che per primo ha fissato una percentuale minima (e non una quota fissa) di energia elettrica generata da fonti rinnovabili sul volume totale di energia elettrica prodotta e distribuita.

In Italia l'introduzione dei certificati verdi è successiva ad un primo tentativo di incentivo alla produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile rappresentato dal programma CIP 6/92, che offriva prezzi sussidiati per 8 anni a tutti i produttori di energia rinnovabile in possesso di una convenzione di cessione con l'Enel. Tale programma ha permesso l'attivazione di numerose iniziative per la realizzazione di impianti di produzione di elettricità da fonte rinnovabile ed ha fatto decollare nuove tipologie di produzione rinnovabile come l'eolico e le biomasse. La spinta più grande alla crescita di questo mercato, tuttavia, si deve all'introduzione dei CV. L'emissione dei certificati è affidata al Gestore dei Servizi Elettrici (GSE) che rilascia i titoli su richiesta dei produttori di energia da fonte rinnovabile⁶. A partire dal 2002, secondo quanto stabilito dall'art. 11 del d.lgs. 79/99, i produttori e gli importatori di energia elettrica hanno l'obbligo di

⁴Negli Stati Uniti d'America, 20 stati federali hanno adottato un sistema di regolamentazione conosciuto come Renewables Portfolio Standards tra il 1999 e il 2005, ma soltanto un terzo di loro ha organizzato un sistema di scambio di quote di rinnovabile. Per un'analisi di questi strumenti, incentrata soprattutto sui certificati verdi, si veda Schaeffer et al. (2000), Van Dijk (2003), Jensen and Skytte (2002).

⁵Di recente, la Commissione Europea ha raccomandato l'adozione del mercato dei CV nei paesi in cui sono stati creati strumenti alternativi a quello dei CV (Commission 2004).

⁶I produttori possono richiedere i certificati verdi per 8 anni per impianti entrati in servizio o revisionati dopo l'aprile del 1999 e per 15 anni per impianti successivi al 31/12/2007 (Legge finanziaria 2008).

immettere nel sistema elettrico nazionale una quota di energia prodotta da fonti rinnovabili pari al 2% dell'energia elettrica prodotta o importata da fonte non rinnovabile nell'anno precedente, quando la loro produzione ecceda i 100 GWh/anno. Qualora i produttori non riescano a rispettare il vincolo, possono accedere al mercato dei certificati verdi ed acquistare i titoli necessari al raggiungimento della soglia del 2%.

Le novità introdotte dal policy maker nel mercato dell'energia, in particolare il meccanismo dei CV per l'energia elettrica, impone il tentativo di quantificarne l'impatto sull'intero sistema economico in ragione dei considerevoli vantaggi che da questi potrebbero derivare anche in termini di obiettivi di politica economica. Accanto ai benefici legati alla progressiva riduzione delle emissioni di CO_2 , infatti, uno sviluppo delle tecniche di produzione di energia da fonti rinnovabili può rappresentare un fattore trainante dello sviluppo economico in termini di crescita del PIL e dell'occupazione.

A questo riguardo, l'analisi multisettoriale consente di valutare l'interdipendenza produttiva e l'importanza dei processi produttivi di energia distinti questi in processi da fonti rinnovabili e non rinnovabili. In particolare, l'impiego di modelli Input-Output ibridi trova un largo consenso nell'analisi degli impatti ambientali (Miller and Blair 1985). La ragione risiede nel fatto che questo tipo di modelli consente di superare le difficoltà connesse all'approccio puramente monetario ogni volta che il prezzo dello stesso bene differisce tra i vari settori, così come tra consumatori finali (Dietzenbacher and Stage 2006). Questo accade prevalentemente nei settori produttivi resource-based, come quello energetico (Lahr 1993). Sostituendo le righe della tavola Input-Output, corrispondenti al settore energia elettrica, con righe dove l'input energetico per le fonti non rinnovabili è misurato in unità fisiche e non monetarie, è possibile verificare l'importanza di tale processo all'interno del sistema produttivo e quantificare gli impatti sulle emissioni di certificati verdi di uno shock sulla domanda finale.

Per questa ragione il lavoro si sviluppa come segue. La sezione seguente descrive le fasi di implementazione del modello multisettoriale ibrido applicato alla tavola I-O simmetrica per l'economia italiana per il 2005 (EUROSTAT 2008) (EUROSTAT 2009). L'integrazione dei dati disponibili con le informazioni sul fabbisogno diretto di energia da fonti rinnovabili (espresso in GWh (ISTAT 2007) ci permette di ottenere la base dati adeguata all'implementazione del modello I-O e all'applicazione dell'approccio dei Macro Moltiplicatori (Ciaschini and Socci 2007). In questo senso, si è scelto di costruire tre scenari di policy che descrivono, nel primo caso, l'impatto sulla sostenibilità ambientale e sul sistema economico di una variazione della domanda finale dello 0.10%, che viene distribuita tra le sue componenti in base alla struttura esistente; nel secondo caso, si valuta l'impatto sulla sostenibilità ambientale di una policy orientata ad ottenere il massimo effetto in termini strettamente economici, quando si ipotizza il medesimo shock di domanda finale; nel terzo caso, si intende quantificare l'impatto economico di una policy orientata al miglioramento della sostenibilità ambientale, considerando ancora una volta lo stesso shock di domanda finale.

2 Il modello e l'approccio dei Macro Moltiplicatori

Il modello utilizzato per valutare l'impatto di shock sulla domanda finale è rappresentato dal modello I-O ibrido (Polenske 1976). L'uso di modelli I-O ibridi permette di valutare allo stesso tempo gli effetti sul consumo di energia e gli effetti sull'attività produttiva (Miller and Blair 1985). E' possibile operare attraverso i flussi espressi in termini fisici e monetari.

Il modello utilizzato in questo lavoro prevede la presenza tra 60 prodotti di un unico bene definito Energia da fonte rinnovabile, espresso in termini fisici. Operando attraverso tale modello è possibile identificare il fabbisogno diretto di energia da fonte rinnovabile all'interno dei processi produttivi, a cui è si aggiunge il fabbisogno di energia attivato indirettamente dagli stessi processi produttivi. Il fabbisogno totale di energia viene definito intensità di energia. Il fabbisogno totale di energia viene determinato allo stesso modo dei modelli I-O tradizionali, con la differenza che in questo caso il prodotto energetico è espresso in termini fisici.

L'analisi si basa quindi sull'uso del modello I-O ibrido di Leontief dove le variabili sono:

$$\mathbf{B}^* = \begin{cases} \mathbf{B}_j & \text{riga per i prodotti non da energia rinnovabile} \\ \mathbf{B}_1 & \text{riga per il prodotto energia da fonte rinnovabile} \end{cases} \quad (1)$$

$$\mathbf{f}^* = \begin{cases} \mathbf{f}_j & \text{riga per i prodotti non da energia rinnovabile} \\ \mathbf{f}_1 & \text{riga per il prodotto energia da fonte rinnovabile} \end{cases} \quad (2)$$

$$\mathbf{x}^* = \begin{cases} \mathbf{x}_j & \text{riga per i prodotti non da energia rinnovabile} \\ \mathbf{x}_1 & \text{riga per il prodotto energia da fonte rinnovabile} \end{cases} \quad (3)$$

I valori all'interno delle matrici sono espressi come segue:

$$\mathbf{B}^* = \begin{bmatrix} Euro & Euro \\ GWh & GWh \end{bmatrix}, \quad \mathbf{f} = \begin{bmatrix} Euro \\ GWh \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}^* = \begin{bmatrix} Euro \\ GWh \end{bmatrix}$$

Il vettore \mathbf{x}^* rappresenta il vettore dell'output al cui interno troviamo una partizione relativa ai prodotti e al prodotto energia da fonte rinnovabile. La stessa partizione vale per la \mathbf{B}^* e il vettore \mathbf{f}^* . E' possibile determinare il fabbisogno diretto per unità di prodotto \mathbf{A}^* come segue:

$$\mathbf{A}^* = \mathbf{B}^* \cdot (\hat{\mathbf{x}}^*)^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{Euro}{Euro} & \frac{Euro}{GWh} \\ \frac{GWh}{Euro} & \frac{GWh}{GWh} \end{bmatrix} \quad (4)$$

L'equazione fondamentale del modello I-O ibrido è:

$$\mathbf{x}^* = \mathbf{B}^* \cdot \mathbf{i} + \mathbf{f}^* \quad (5)$$

Sostituendo la definizione di $\mathbf{B}^* = \mathbf{A}^* \cdot \hat{\mathbf{x}}$ nell'equazione 5 del modello si ottiene:

$$\mathbf{x}^* = [\mathbf{I} - \mathbf{A}^*]^{-1} \cdot \mathbf{f}^* \quad (6)$$

Il modello I-O ibrido espresso in termini di variazioni è rappresentato dalla relazione:

$$\Delta \mathbf{x}^* = [\mathbf{I} - \mathbf{A}^*]^{-1} \cdot \Delta \mathbf{f}^* \quad (7)$$

Definiamo $\mathbf{R} = [\mathbf{I} - \mathbf{A}^*]^{-1}$. La matrice \mathbf{R} rappresenta il fabbisogno totale per unità di prodotto. Attraverso l'approccio dei Macro Moltiplicatori (Ciaschini and Socci 2007) possiamo analizzare le relazioni strutturali e identificare la composizione della variabile di policy in grado di perseguire l'obiettivo stabilito in termini di migliore performance. L'approccio dei MM permette quindi di effettuare un'analisi approfondita delle interrelazioni industriali superando le principali critiche rivolte agli strumenti tradizionali (per un maggiore dettaglio si veda l'appendice A).

3 Le policy e la produzione di energia da fonte rinnovabile: il caso italiano

All'interno del quadro istituzionale appena delineato è possibile analizzare gli effetti che le potenziali variazioni della domanda finale hanno sia sui principali aggregati macroeconomici sia sugli aggregati legati alla produzione di energia da fonte rinnovabile.

L'analisi viene condotta attraverso l'uso della tavola I-O simmetrica (59x59 prodotti) dell'economia italiana costruita per il 2005 (ISTAT 2007) integrati con i dati statistici sugli assorbimenti in termini fisici di energia da fonte rinnovabile. La nuova tavola I-O evidenzia quindi una struttura simmetrica e diventa 60x60, di cui 59 sono prodotti non-energetici e 1 energetico (Energia da fonte rinnovabile). La tavola intersettoriale mette in evidenza le interdipendenza tra i processi produttivi, che definiamo blocco dei beni intermedi. La chiusura del blocco relativo ai beni intermedi è rappresentata dai flussi di beni intermedi relativi al prodotto Energia da fonte rinnovabile e possono essere espressi in Euro e GWh⁷. La tavola, inoltre, presenta un blocco relativo alla domanda finale e anche in questo caso alla sessantesima riga è presente il flusso di energia da fonte rinnovabile impiegato per la domanda finale. Dal lato degli assorbimenti vi è il blocco del valore aggiunto. Chiude lo schema contabile la riga delle importazioni ottenendo l'uguaglianza tra gli impieghi e le risorse. La nuova tavola I-O definita ibrida rappresenta la base dati adeguata all'implementazione del modello I-O ibrido e all'applicazione dell'approccio dei MM.

Dalla tavola I-O vengono ricavati i fabbisogni diretti (\mathbf{B}^*), i quali rapportati all'output per ognuno dei 60 prodotti (\mathbf{x}^*) determinano il fabbisogno per unità di prodotto (\mathbf{A}^*). Il fabbisogno per unità di prodotto concorre a determinare la matrice inversa dell'economia in base all'equazione 7 (\mathbf{R}). La matrice inversa ci mostra il fabbisogno totale necessario per tutte le tipologie di prodotto per una unità domanda finale (esogena).

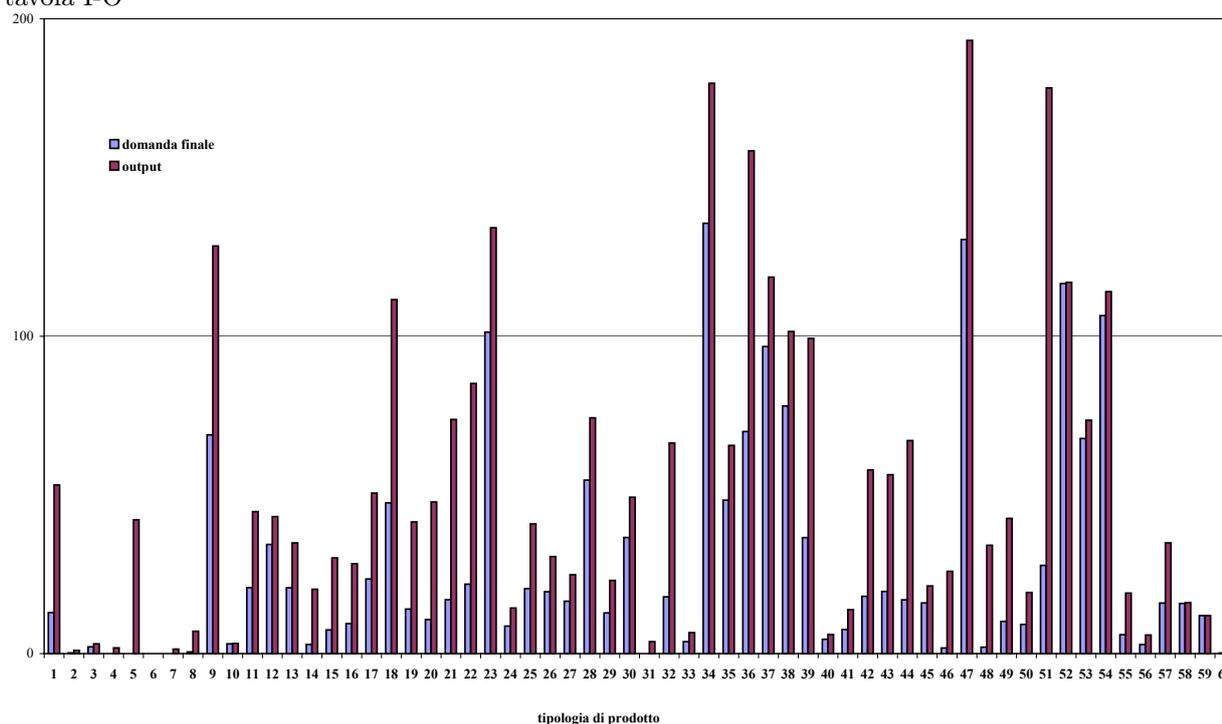
La predisposizione di una base dati ibrida permette quindi di valutare come le policy sulla variabile esogena possono produrre effetti sul lato strettamente economico e sul lato ambientale. In altri termini, è possibile valutare l'importanza delle policy attraverso le gli aggregati eco-

⁷Le statistiche ufficiali hanno permesso di ricostruire il fabbisogno diretto di energia da fonte rinnovabile espresso in termini GWh (ISTAT 2007) di tutti i processi produttivi e la parte relativa alla domanda finale. La produzione di energia da fonte rinnovabile ammonta a 59.600 GWh.

nomici tradizionali senza trascurare la sostenibilità ambientale⁸. Nelle simulazioni che seguono vengono presentati tre casi: i) il primo analizza l'impatto sulla sostenibilità ambientale e sul sistema economico di una variazione della domanda finale dello 0.10% distribuita tra le sue componenti in base alla struttura ricavata dalla tavola I-O; ii) il secondo analizza la sostenibilità ambientale di una policy orientata ad ottenere il massimo effetto in termini strettamente economici, ipotizzando una variazione della domanda finale ancora pari allo 0.10%; iii) il terzo prende in considerazione la situazione opposta, cioè valutare l'impatto economico di una policy prettamente orientata al miglioramento della sostenibilità ambientale, ipotizzando una variazione della domanda finale pari a 0,10%.

i) La prima applicazione effettuata prende in considerazione l'effetto sul sistema produttivo e in particolare sulla produzione di energia da fonte rinnovabile quando si registra un variazione della domanda finale dello 0,10% (1.683 milioni di euro)⁹. La domanda finale presenta in disaggregato la medesima composizione evidenziata all'interno della tavola I-O. Quest'ultima ipotesi è sicuramente realistica, ma potrebbe non essere la modalità ottimale per il sistema produttivo di impiego delle risorse. Dalla figura 1 osserviamo un effetto positivo sull'output in aggregato e in disaggregato. L'effetto maggiore si registra, tra i prodotti non energetici, per il comparto del terziario¹⁰.

Figura 1. Effetti di una variazione della domanda finale (0,10%) con struttura predeterminata dalla tavola I-O



⁸La sostenibilità ambientale può essere misurata in termini di maggiore quota di energia da fonte rinnovabile sul totale della produzione di energia.

⁹La variazione è determinata in base ai valori assoluti degli elementi del vettore. In altri termini si prende in considerazione l'ammontare delle risorse movimentate dalla policy.

¹⁰La denominazione dei prodotti si trova in appendice B tabella B1.

In termini aggregato i principali indicatori, economici e energetici, in questo primo caso sono presentati nella seconda colonna ($\Delta \mathbf{f}$) della tabella 1. Come si può osservare la variazione del 0,10% della domanda finale genera complessivamente un aumento della produzione, a cui è associato un aumento del valore aggiunto del 0,10% (1.284 milioni di euro). Relativamente alla situazione dell'energia da fonte rinnovabile si registra un incremento in termini assoluti della sua produzione (12 GWh)¹¹, ma in termini percentuali la sostenibilità ambientale resta inalterata (16,89% prima dell'incremento)¹².

Tavola 1. Risultati aggregati

	Domanda finale		
	Struttura I-O (\mathbf{f}) $\Delta \mathbf{f} = 0.10\%$	Struttura 1 (\mathbf{f}_1) $\Delta \mathbf{f}_1 = 0.10\%$	Struttura 1 (\mathbf{f}_{51}) $\Delta \mathbf{f}_{51} = 0.01\%$
Moltiplicatore change ^a	1,874	2,005	1,514
Sostenibilità ambientale	16,89%	16,92%	17,05%
Variazione % cv	1,35%	3,32%	11,72%
Variazione del valore aggiunto	0,10%	0,63%	-0,03%

^a Indicatore calcolato come rapporto tra la somma dei valori assoluti del vettore di output e la somma dei valori assoluti del vettore di domanda finale.

La struttura dell'economia quindi nel caso in esame comporta un incremento dei certificati verdi emessi dagli operatori accreditati e dal gestore pari a 1,35%.

Da questa prima simulazione si può quindi affermare che l'adozione di una struttura predefinita della domanda finale dettata dall'attuale situazione produttiva risulta neutrale dal punto di vista della sostenibilità ambientale, mentre evidenzia un lieve incremento dei certificati verdi emessi. I limiti di tali analisi scaturiscono dal fatto che l'intensità dei collegamenti interindustriali è del tutto trascurata dalla composizione della variabile di policy. E' quindi necessario procedere ad un'analisi più approfondita per determinare e disegnare degli scenari in cui la variabile di policy sia favorevole ad un obiettivo complesso, come ad esempio la crescita produttiva oppure la sostenibilità ambientale.

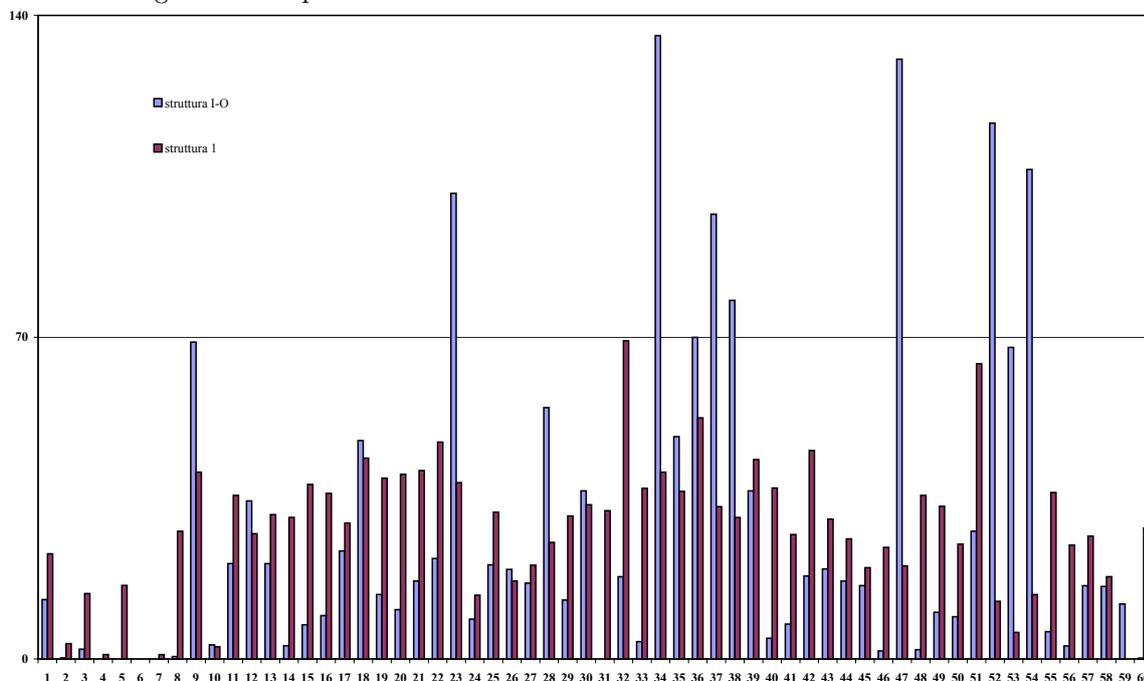
ii) Nel secondo caso si utilizza l'approccio dei Macro Moltiplicatori per determinare la composizione della variabile esogena favorevole al nostro obiettivo. La decomposizione della matrice inversa del modello ci permette di ottenere le strutture chiave in uscita ($m_i \cdot \mathbf{z}_i$) favorevoli alla produzione di nostro interesse. Per raggiungere tale risultato è necessario l'adozione di una determinata struttura della domanda finale (\mathbf{p}_i). L'approccio suggerisce quindi la composizione della domanda finale compatibile con obiettivo della policy. Dalla figura B1 si osserva che, tra le sessanta strutture chiave, la prima è orientata al massimo effetto da un punto di vista strettamente economico. Nella simulazione che segue, utilizzando la prima struttura, si prende in

¹¹Nella figura 1 la variazione della produzione da fonte rinnovabile è evidenziata in colore verde.

¹²La sostenibilità ambientale o energetica legata alle fonte rinnovabili viene misurata come rapporto tra la produzione di energia da fonte rinnovabile e la produzione di energia complessiva.

considerazione una variazione della domanda finale di pari ammontare rispetto alla simulazione precedente (1.683 milioni di euro). La figura 2 riporta una comparazione tra la struttura della domanda finale adottata nella simulazione precedente e quella quella attuale. Si osserva che la distribuzione delle risorse, anche se di pari ammontare, è molto differente. Infatti la composizione della domanda finale suggerita dalla struttura 1 risulta più equilibrata rispetto rispetto a quella desunta dalla tavola I-O.

Figura 2. Comparazione tra la domanda finale con struttura I-O e struttura 1

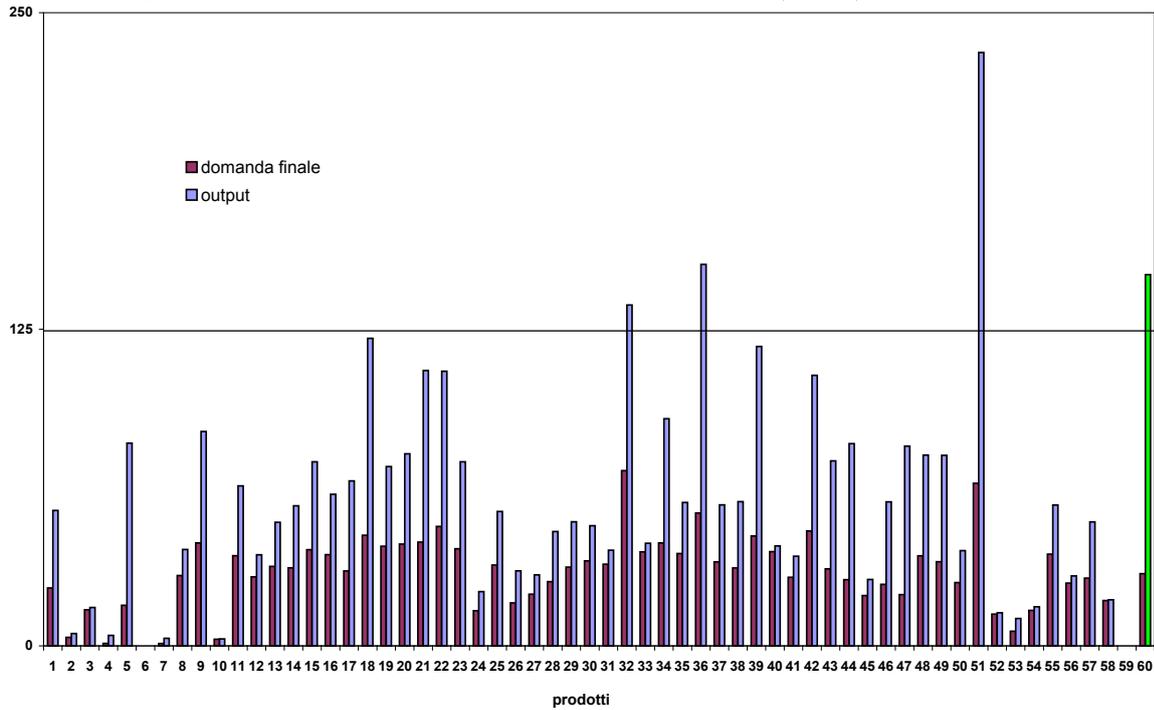


Nella figura 3 sono riportati i risultati in termini disaggregati, mentre quelli aggregato si possono leggere nella terza colonna della tabella 1. La variazione della domanda finale dello 0,10%, distribuita con la struttura 1, genera un effetto moltiplicativo in termini economici più ampio rispetto al precedente (2,001). Il valore aggiunto in questo caso aumenta dell'0,63% (8.109 milioni di euro). La sostenibilità ambientale in questo caso registra una situazione lievemente migliore, infatti la percentuale cresce al 16,92%. Quest'ultimo risultato è dovuto ad un aumento della produzione di energia da fonte rinnovabile pari a 147 GWh. A tutto ciò è associato inoltre, a struttura produttiva invariata, un sostanziale incremento dei certificati verdi emessi (+3,32%).

Questa policy può essere considerata favorevole alla alla variabile valore aggiunto e compatibile con la sostenibilità ambientale, in termini di produzione di energia da fonte rinnovabile e di certificati verdi emessi.

iii) L'ultima simulazione proposta ha come obiettivo di identificare una policy, cioè una composizione della domanda finale, favorevole in via esclusiva alla sostenibilità ambientale. Nel caso in cui l'obiettivo è il massimo valore dell'indicatore di sostenibilità ambientale, compatibile con l'attuale struttura produttiva, allora è necessario identificare tra le sessanta strutture, mostrate nella figura B1, quella favorevole alla produzione di energia da fonte rinnovabile.

Figura 3. Effetti di una variazione della domanda finale (0,10%) con struttura 1



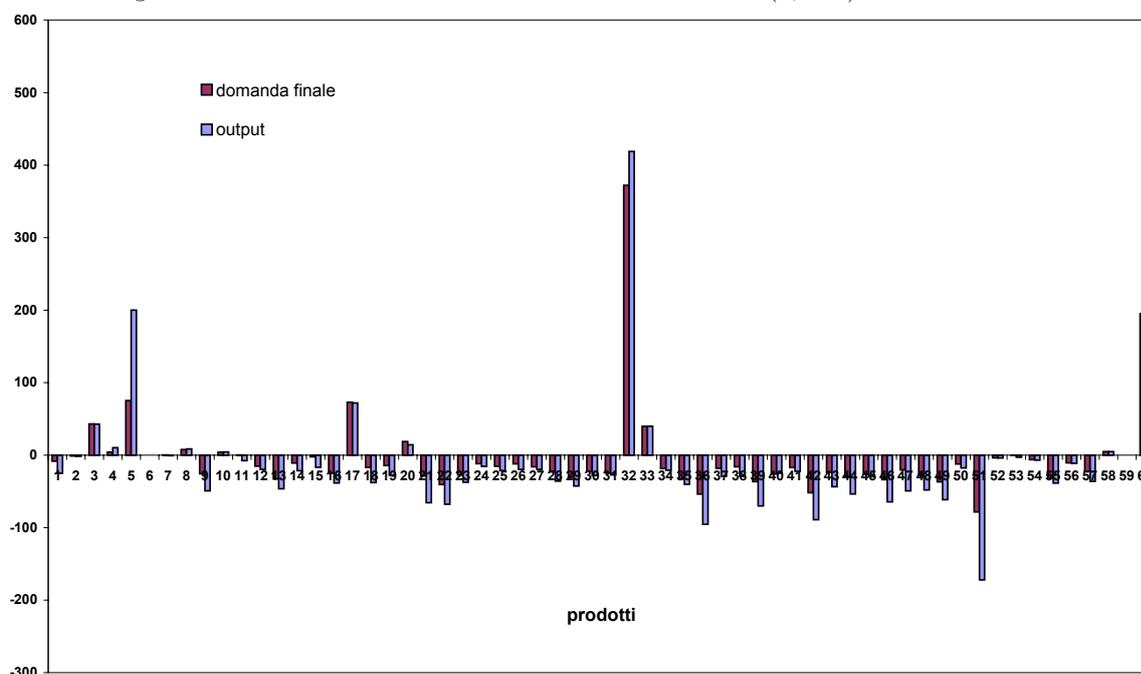
Dalla figura si evince che la struttura 2 è compatibile con tale obiettivo¹³. Identificata la nuova struttura (p_2) secondo cui distribuire la variazione dello 0.10% della domanda finale (1.683 milioni di euro) si possono analizzare i risultati ottenuti¹⁴ dalla figura 4. Il raggiungimento dell'obiettivo ambientale richiede un intervento complesso che si basa su una redistribuzione delle risorse tra le componenti della domanda finale, favorendo alcuni prodotti a scapito di altri. Evidentemente questa tipologia di policy è di difficile attuazione anche da un punto di vista politico.

In aggregato i risultati sono mostrati nella quarta colonna della tabella 1. La politica prettamente ambientale evidenzia esiti non soddisfacenti da un punto di vista economico, dato l'attuale sistema produttivo. Il valore aggiunto si riduce di circa 0,03%. Il lato ambientale mostra invece i risultati attesi, la percentuale relativa alla sostenibilità ambientale passa al 17,05%. La produzione di energia da fonte rinnovabile aumenta di 518 GWh a cui si associa un incremento delle emissioni di certificati verdi pari al 11,72%. Quest'ultima politica che possiamo definire ambientale richiede una ricomposizione della domanda finale a favore di quei prodotti ad uso intensivo di energia da fonte rinnovabile, ma con l'attuale struttura produttiva il lato economico viene penalizzato.

¹³Nella figura B1 la struttura 2 è evidenziata con un colore differente rispetto alle altre.

¹⁴La policy in questo caso richiede un intervento particolare, infatti la somma dei valori assoluti del vettore di domanda finale risulta di molto differente dalla somma dei valori.

Figura 4. Effetti di una variazione della domanda finale (0,10%) con struttura 51



4 Conclusioni

Lo sviluppo di tecnologie per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili ha avuto il suo impulso negli ultimi venti anni sulla scia dell'attenzione recente per la questione ambientale. La preoccupazione per i cambiamenti climatici ha spinto numerosi paesi ad attuare interventi concreti per ridurre le emissioni di gas serra, principali responsabili dell'innalzamento della temperatura terrestre. Tra gli strumenti di politica ambientale proposti dall'Unione Europea per assolvere agli impegni assunti nel contesto internazionale, il ricorso alle fonti di energia rinnovabile per la produzione di energia elettrica ha riscosso notevole consenso da parte di numerosi paesi membri. A tal fine, a partire dalla metà degli anni Novanta sono stati avviati processi di liberalizzazione del mercato elettrico e sono state varate numerose misure volte allo sviluppo delle tecnologie basate sull'impiego di fonti rinnovabili, in particolare fotovoltaico, eolico e geotermico. Gli incentivi sulla produzione da fonte rinnovabile sono stati introdotti in Germania, Francia, Spagna e Portogallo, mentre l'Italia, il Belgio, la Svezia, l'Olanda, la Danimarca ed il Regno Unito hanno optato per una soluzione di mercato che prevede l'introduzione di certificati verdi negoziabili.

La letteratura scientifica non ha ancora espresso una posizione pacifica sull'opportunità di optare per l'uno o l'altro meccanismo, tuttavia, recentemente la Commissione Europea sembra approvare ed incoraggiare l'impiego di certificati verdi in un'ottica di estensione del meccanismo di mercato fra tutti i paesi membri. In Italia l'adozione piuttosto recente del mercato dei certificati verdi non consente ancora di dare una valutazione dell'effettiva efficacia dello strumento in termini di sviluppo ambientale e vantaggio economico. In aggiunta, la produzione lorda da fonti rinnovabili sembra avere un andamento piuttosto incerto anche se si può rilevare che, negli ultimi due anni, il quantitativo di certificati verdi è aumentato.

In questo lavoro si è deciso di utilizzare l'approccio multisettoriale attraverso un modello I-O ibrido che permette di evidenziare l'importanza del processo produttivo di energia da fonti rinnovabili. L'integrazione nella tavola I-O simmetrica per l'economia italiana del 2005 della riga relativa al fabbisogno di energia da fonte rinnovabile, ha permesso di valutare non soltanto gli impatti sui principali aggregati economici dovuto ad uno shock della domanda (0.10%), ma anche gli effetti sulla sostenibilità ambientale e l'andamento dell'offerta dei certificati verdi. L'approccio dei Macro Moltiplicatori poi, ha permesso di individuare la composizione della domanda finale compatibile con l'obiettivo di volta in volta ricercato. In dettaglio, in presenza di strutture produttive inalterate (il primo caso), l'aumento della domanda finale genera un aumento della produzione di energia rinnovabile con il conseguente incremento delle emissioni di certificati verdi. Tuttavia, dal punto di vista della sostenibilità ambientale questa politica può essere considerata neutrale mentre dal punto di vista economico si osserva un lieve incremento del valore aggiunto.

In termini di aumento del valore aggiunto e di maggiore sostenibilità ambientale, la seconda simulazione mostra esiti più incoraggianti. Adottando l'approccio dei Macro Moltiplicatori si è posto l'obiettivo di policy relativo alla migliore performance economica. Una volta evidenziata la struttura più favorevole al raggiungimento di questo obiettivo, si registra un effetto positivo sul valore aggiunto e sulla sostenibilità ambientale, confermato anche dalla crescita del numero di certificati verdi emessi.

Viceversa, quando l'obiettivo di policy è orientato alla maggiore sostenibilità ambientale piuttosto che all'aspetto prettamente economico, la struttura produttiva chiave è quella più favorevole alla produzione di energia da fonte rinnovabile. In questo caso, lo shock sulla domanda finale mette in luce un evidente miglioramento dell'indicatore ambientale ed un deciso aumento delle emissioni di certificati verdi. Tuttavia, l'impatto sul valore aggiunto è negativo. Questo risultato potrebbe essere considerato estremamente significativo in un'ottica di incentivazione della produzione di energia da fonti rinnovabili attraverso il mercato dei certificati verdi. Questi infatti nascono come strumenti di incentivazione che mirano a promuovere un aumento delle quantità prodotte di energia, a differenza degli incentivi alla produzione che diversamente mirano a mantenere un controllo sul prezzo dell'energia elettrica generata da fonte rinnovabile. Tuttavia, la compatibilità tra l'aspetto ambientale e l'aspetto economico risulta cruciale. Non deve essere dimenticato che la ragione più importante dell'utilizzo dei certificati verdi risiede nello stimolo alla produzione di energia da fonti rinnovabili per promuovere uno sviluppo sostenibile. In questo senso, il disegno della politica economica ambientale richiede di individuare la struttura produttiva compatibile con l'obiettivo complesso, rappresentato dalla migliore performance in termini sia ambientali sia economici.

Riferimenti bibliografici

- Bode, S. (2005), "Tenders: An Option for Developing Countries to Support Renewable Energies under the CDM," *Climate Policy*, 23.
- Ciaschini, M., and Socci, C. (2006), "Income distribution and output change: Macro Multiplier

- approach,” in *Economic Growth and Distribution: On the Nature and Cause of the Wealth of Nations* ed. N. Salvadori, Edward Elgar.
- Ciaschini, M., and Socci, C. (2007), “Final demand impact on output: a Macro Multiplier approach,” *Journal of Policy Modeling*, 29, 115–132.
- Commission, E. (2004), “The share of renewable energy in the EU Country profiles. Overview of RES in the enlarged European Union,” *Commission staff working document SEC (2004)*, 547, 26.5.2004.
- Dietzenbacher, E., and Stage, J. (2006), “Mixing Oil and Water? Using Hybrid Input-Output Tables in a Structural Decomposition Analysis,” *Economic Systems Research*, 18.
- EUROSTAT,, *Energy - Yearly statistics 2006*, EUROSTAT - Statistical Book (2008).
- EUROSTAT,, *Panorama of Energy - Energy statistics to support EU policies and solutions*, EUROSTAT - Statistical Book (2009).
- Finon, D. (2006), “The Social Efficiency of Instruments for the Promotion of Renewable Energies in the Liberalised Power Industry,” *Annals of Public and Cooperative Economics*, 77.
- Finon, D. (2007), “Pros and Cons of Alternative Policies Aimed at Promoting Renewables,” *EIB Papers*, 12.
- Finon, D., and Perez, Y. (2006), “The Social Efficiency of Instruments for the Promotion of Renewable Energies: A Transaction-Cost Perspective,” *Ecological Economics*, 62.
- Haug, M. (2007), “Renewable Energy in Future Energy Supply: A Renaissance in Waiting,” *Quarterly Journal of International Agriculture*, 46.
- ISTAT,, *I bilanci energetici*, Roma: ISTAT (2007).
- Jensen, S., and Skytte, K. (2002), “Interactions between the power and green certificate markets,” *Energy Policy*, 30, 425–435.
- Lahr, M.L. (1993), “A Review of the Literature Supporting the Hybrid Approach to Constructing REgional Input-Output Models,” *Economic Systems Research*, 5.
- Lancaster, P., and Tiesmenetsky, M. (1985) *The Theory of Matrices*, second ed., New York: Academic Press.
- Miller, R.E., and Blair, P.D., *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey (1985).
- Polenske, K.R. (1976), “Multiregional interactions between energy and transportation,” in *Advances in Input-Output Analysis* eds. K.R. Polenske and J.V. Skolka, Cambridge, Mass: Ballinger.
- Schaeffer, G., Boots, M., Mitchell, C., Anedersono, T., Timpe, C., and Cames, M. (2000), “Option for design of tradable green certificate systems,” *Report ECN-C-00-032*, Petten.
- Stoutenborough, J.W., and Beverlin, M. (2008), “Encouraging Pollution-Free Energy: The Diffusion of State Net Metering Policies,” *Social Science Quarterly*, 89, 1230–1251.
- Van Dijk, M.e.a. (2003), “Renewable Energy Policies and Market Developments,” *Report ECN-C-99-072*, Petten.

Appendice A: Macro Moltiplicatori

Osservando la struttura produttiva di un paese è possibile ricavare attraverso l'approccio dei Macro Multipliers (Ciaschini and Socci 2006) le strutture chiave delle variabili di policy.

I macro moltiplicatori impliciti nella matrice \mathbf{R} possono essere ricavati attraverso la decomposizione ai valori singolari. Data la matrice \mathbf{R} della forma ridotta di dimensioni $m \times n$ esiste sempre la decomposizione (Lancaster and Tiesmenetsky 1985) $\mathbf{R} = \mathbf{ZMP}^T$. La matrice $\mathbf{Z} = [\mathbf{z}_1 \dots \mathbf{z}_m]$ è una matrice $m \times m$ unitaria, ossia composta da vettori ortonormali, che rappresenta gli "obiettivi chiave"¹⁵ vale a dire le composizioni della variabile obiettivo rispetto alla quale potranno essere determinate tutte le possibili strutture della variabile obiettivo. La matrice $\mathbf{P} = [\mathbf{p}_1 \dots \mathbf{p}_n]$ $n \times n$ unitaria vale a dire composta da vettori ortonormali che rappresenta le "politiche chiave"¹⁶ vale a dire le composizioni della politica rispetto alle quali saranno misurate tutte le possibili strutture della politica. \mathbf{M} matrice $m \times n$ "diagonale" cioè con elementi nulli fuori della diagonale. Gli elementi lungo la diagonale sono ordinati come: $m_1 \geq m_2 \geq \dots \geq m_p \geq 0$ $p = \min[m, n]$.

In generale si può compattare la decomposizione

$$\mathbf{R} = [\mathbf{Z}_1 \mathbf{Z}_2] \begin{bmatrix} M_1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1^T \\ P_2^T \end{bmatrix} \quad (\text{A1})$$

ovvero

$$\mathbf{R} = \mathbf{Z}_1 \cdot \mathbf{M}_1 \cdot \mathbf{P}_1^T \quad (\text{A2})$$

ove \mathbf{M}_1 è una matrice diagonale $r \times r$ se r sono i Macro Moltiplicatori non nulli. \mathbf{Z}_1 $m \times r$ rappresenta le prime r colonne di \mathbf{Z} ed è una base orto-normale nello spazio degli obiettivi $\mathbf{Z}(\mathbf{A})$. \mathbf{P}_1 ($n \times r$) rappresenta le prime r colonne di \mathbf{P} è una base orto-normale nello spazio dei controlli di politica $\mathbf{P}(\mathbf{A})$.

Dalle considerazioni svolte emergono alcune caratteristiche utili della decomposizione proposta. Dato che $\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{A} = (\mathbf{ZMP}^T)^T \cdot (\mathbf{ZMP}^T) = \mathbf{PM}^2\mathbf{P}^T$ i Macro Moltiplicatori non sono che la radice quadrata degli autovalori di $\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{A}$, vale a dire $m_i = \sqrt{\lambda_i(\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{A})}$. Inoltre i vettori delle politiche pure \mathbf{p}_i sono autovettori di $\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{A}$.

Allo stesso modo, considerando che $\mathbf{AA}^T = (\mathbf{ZMP}^T) \cdot (\mathbf{ZMP}^T)^T = \mathbf{ZM}^2\mathbf{Z}^T$ i Macro moltiplicatori non sono che la radice quadrata degli autovalori di \mathbf{AA}^T , e cioè $m_i = \sqrt{\lambda_i(\mathbf{AA}^T)}$. Inoltre i vettori degli obiettivi puri \mathbf{z}_i sono autovettori di \mathbf{AA}^T .

Le direzioni di ingresso e uscita sono diverse quando la matrice \mathbf{A} non è simmetrica. \mathbf{p}_1 è la direzione d'ingresso più sensibile, \mathbf{z}_1 quella di uscita più sensibile:

$$\mathbf{A}\mathbf{p}_1 = m_1\mathbf{z}_1 \quad (\text{A3})$$

¹⁵Vettori singolari sinistri o d'uscita.

¹⁶Vettori singolari destri o d'ingresso.

A fronte di un vettore che rappresenta una variabile macroeconomica si pone anche la questione delicata di definire quale sia il suo valore, vale a dire di definire quale sia lo scalare da associare alle componenti disaggregate della variabile macro. La questione è delicata in quanto coinvolge la possibilità stessa di ottenere risultati compatibili a livelli diversi di disaggregazione.

Il criterio di aggregazione più immediato è costituito dalla somma degli elementi. Tenuto conto che le componenti settoriali possono assumere valori positivi e negativi - o in quanto costituiscono saldi di altre variabili (indebitamento estero) o in quanto il vettore può rappresentare la variazione a partire dalla situazione di riferimento - definiremo tale procedura di aggregazione come saldo: $saldo = \sum p_i$. I vettori che esibiscono lo stesso saldo si disporranno lungo la stessa retta. A proposito di saldo della macrovariabile, nelle applicazioni di politica economica è di sicura rilevanza la manovra a saldo zero vale a dire il controllo di politica che si attua attraverso il controllo di una macrovariabile viene attuato senza spostare il livello aggregato della variabile macro ma attraverso variazioni che si compensano all'interno della stessa variabile controllo. Risulta evidente che il criterio del saldo non è sufficiente a definire la grandezza della variabile in quanto il saldo può naturalmente nascondere manovre di rilevanza molto diversa. Accanto al saldo occorre disporre di un criterio che dia informazione sulla reale portata delle risorse attivate e disattivate. Tale informazione può venire fornita con riferimento alla somma dei valori assoluti delle componenti del vettore che indicheremo con la dizione variazione o valore assoluto: $abs\ change = \sum |p_i|$.

Nel caso ad esempio della redistribuzione del reddito essa indica lo sforzo complessivo di contenimento dei redditi più alti ed di espansione dei redditi più bassi mentre il saldo osservato indicherà la parte non compensata di diretto rilievo per la pubblica amministrazione in quanto richiede nuove risorse.

Essendo interessati ad operare su variabili macroeconomiche a più dimensioni, in particolare volendo agire sulle variabili obiettivo attraverso l'uso degli strumenti di politica, occorre considerare se l'effetto di una rotazione di assi sull'insieme dei vettori politica che hanno variazione assoluta costante. Questo perchè le matrici attraverso le quali si opera sulle macrovariabili hanno l'effetto di comprimere od espandere i vettori su cui operano. Notiamo che una rotazione di assi trasforma naturalmente le coordinate dei vettori. Tuttavia le trasforma in maniera non uniforme. Sarebbe infatti opportuno considerare un criterio di aggregazione che generi un insieme di vettori rispetto ai quali una rotazione di assi non ne modifichi le caratteristiche

In questo caso la trasformazione dell'insieme di vettori che rappresentano la policy in obiettivi sarebbe completamente attribuibile alla trasformazione indotta dalla applicazione della matrice strutturale (dalla matrice della forma ridotta del modello).

Tutti i vettori di policy che hanno lo stesso modulo, descrivendo una circonferenza con raggio pari al modulo, sono invarianti rispetto a rotazioni di assi. Questo indice, anche se meno immediato nella sua interpretazione economica, utilizzato insieme ai due precedenti, vale a dire variazione assoluta e saldo, permettono un interessante sviluppo della analisi, ovviando ai notevoli problemi posti dall'aggregazione. In particolare è di interesse la relazione che intercorre tra la variazione assoluta ed il modulo così come definiti sopra.

Appendice B: Tavole

Tavola B1. Denominazione dei prodotti

1 Prodotti dell'agricoltura, caccia e servizi connessi	31 Materiale da recupero
2 Prodotti della silvicoltura e servizi connessi	32 Energia elettrica, gas e vapore
3 Pesca ed altri prodotti ittici; servizi accessori della pesca	33 Raccolta e distribuzione dell'acqua
4 Carbon fossile	34 Costruzioni
5 Petrolio e gas naturale; servizi accessori all'estrazione di olio e gas	35 Commercio, servizi di manutenzione e riparazione di veicoli a motore e motocicli.
6 Uranio e torio	36 Commercio all'ingrosso, esclusi veicoli a motore e motocicli
7 Estrazione di minerali metalliferi	37 Commercio al dettaglio, esclusi veicoli a motore e motocicli
8 Altri prodotti delle industrie estrattive	38 Alberghi e ristoranti
9 Prodotti alimentari e bevande	39 Trasporti terrestri
10 Industria del tabacco	40 Trasporti marittimi
11 Prodotti tessili	41 Trasporti aerei
12 Vestiario e pellicce	42 Trasporti ausiliari; agenzie di viaggio
13 Cuoio e prodotti in pelle	43 Poste e telecomunicazioni
14 Legno e prodotti del legno e sughero (mobili esclusi)	44 Intermediazione finanziaria, escluso assicurazione e fondi pensione
15 Carta e prodotti della carta	45 Assicurazione e fondi pensione, esclusa previdenza sociale obbligatoria
16 Editoria e stampa	46 Servizi ausiliari di intermediazione finanziaria
17 Coke e prodotti della raffinazione del petrolio	47 Attività immobiliari
18 Prodotti chimici e fibre artificiali	48 Noleggio di macchinari
19 Gomma e prodotti in plastica	49 Computer e servizi connessi
20 Altri minerali non metalliferi	50 Ricerca e sviluppo (R&S)
21 Metalli e leghe	51 Attività professionali
22 Prodotti metallici, eccetto macchine ed apparecchi	52 Pubblica amministrazione e difesa; previdenza sociale obbligatoria
23 Macchine ed apparecchi meccanici	53 Istruzione
24 Macchine per ufficio e computer	54 Sanità e servizi sociali
25 Macchine ed apparecchi elettrici n.a.c.	55 Smaltimento rifiuti, fognature e servizi simili
26 Apparecchi radiotelevisivi	56 Organizzazioni associative
27 Apparecchi medicali, di precisione, strumenti ottici ed orologi	57 Attività ricreative, culturali e sportive
28 Veicoli a motore e rimorchi	58 Altri servizi
29 Altri mezzi di trasporto	59 Servizi domestici
30 Mobili ed altri prodotti manifatturieri	60 Energia da fonte rinnovabile

Figura B1. Strutture chiave per l'obiettivo policy

