

CHIARA MARTINI

Unità Tecnica Efficienza Energetica
Monitoraggio e Supporto alle Politiche
per l'Efficienza Energetica
Sede Centrale, Roma

**VALUTAZIONE MACROECONOMICA
DELLO SCENARIO INTERMEDIO ELABORATO
PER LA STRATEGIA ENERGETICA NAZIONALE 2017**

RT/2017/29/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

CHIARA MARTINI

Unità Tecnica Efficienza Energetica
Monitoraggio e Supporto alle Politiche
per l'Efficienza Energetica
Sede Centrale, Roma

VALUTAZIONE MACROECONOMICA DELLO SCENARIO INTERMEDIO ELABORATO PER LA STRATEGIA ENERGETICA NAZIONALE 2017

RT/2017/29/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

I rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina <http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/rapporti-tecnici>

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

VALUTAZIONE MACROECONOMICA DELLO SCENARIO INTERMEDIO ELABORATO PER LA STRATEGIA ENERGETICA NAZIONALE 2017

Chiara Martini

Riassunto

Questo lavoro è dedicato a proporre una valutazione macroeconomica di uno scenario energetico, denominato Scenario Intermedio, elaborato con il modello TIMES-Italia per la Strategia Energetica Nazionale 2017.

La stima preliminare delle implicazioni sull'economia italiana dello Scenario Intermedio è fornita dal modello GDyn-E, una versione energetica dinamico-ricorsiva del modello GTAP, comprensiva dell'elettricità generata dalle fonti energetiche rinnovabili.

Secondo l'approccio di uso congiunto tra TIMES-Italia e GDyn-E, i due modelli sono allineati per la parte emissiva e TIMES-Italia è usato come fornitore di input sia nello scenario di riferimento che in quello di policy.

Gli impatti macroeconomici dello scenario energetico sono sintetizzabili in una momentanea contrazione del tasso di crescita del PIL, che poi torna a crescere, e in una perdita di competitività internazionale relativamente ad alcuni settori industriali.

Parole chiave: GTAP, rinnovabili, scenario energetico, impatti macroeconomici

Abstract

This work is devoted to a macroeconomic assessment of an energy scenario, the Intermediate Scenario, elaborated by TIMES-Italy model for the National Energy Strategy 2017.

The preliminary evaluation of the impacts on the Italian economy of Intermediate Scenario is provided by GDyn-E model, an energy dynamic-recursive version of GTAP model, including electricity generated by renewable energy sources.

According to the soft-linkage approach between TIMES-Italy and GDyn-E, the two models are aligned for emission dimension and results from Times-Italy are used as input both in reference and policy scenarios.

The macroeconomic impacts can be summarised in a temporary reduction of GDP annual growth rate, which then returns to increase, and in an international competitiveness loss for certain industrial sectors.

Keywords: GTAP, renewables, energy scenario, macroeconomic impacts

INDICE

1 Introduzione	7
2 Il modello GDyn-E	7
La struttura teorica	7
La versione utilizzata	11
3 Risultati della simulazione	14
Caratterizzazione degli scenari di riferimento e di policy	14
Emissioni di CO ₂	16
Consumi primari e finali	18
Prodotto Interno Lordo	20
Valore aggiunto	22
Occupazione	24
Commercio internazionale	26
4 Conclusioni	30
Bibliografia	31
Appendice	33

1 Introduzione

Il modello GDyn-E è usato in questo lavoro nella sua versione inclusiva dell'elettricità da fonti energetiche rinnovabili (Martini, 2016b) per la valutazione di uno scenario energetico elaborato da ENEA per la Strategia Energetica Nazionale (SEN), in consultazione pubblica da metà Giugno a metà Settembre.

Il modello GDyn-E è una versione dinamica del modello GTAP-E, caratterizzato dalla modellazione delle emissioni di CO₂ e dalla sostituibilità tra prodotti energetici nei diversi settori di consumo finale. I risultati saranno analizzati in termini di impatti sulle variabili macroeconomiche chiave, come il GDP, il valore aggiunto, l'occupazione e il commercio internazionale.

Lo scenario energetico di riferimento è stato elaborato con il modello TIMES-Italia nell'ambito del tavolo decarbonizzazione, organizzato nel periodo dicembre 2015 - dicembre 2016 dal Vice Segretario Generale della Presidenza del Consiglio dei Ministri Raffaele Tiscar¹. Nell'ambito di questo tavolo di lavoro è stato anche elaborato un analogo scenario di riferimento con il modello GDyn-E.

Lo scenario energetico di policy, elaborato con il modello TIMES-Italia per la SEN e denominato Scenario Intermedio, è invece coerente con quanto introdotto a livello di obiettivi di efficienza energetica dal Winter Package² e con gli obiettivi di riduzione delle emissioni di CO₂, definiti per i settori non ETS nell'ambito dell'Effort Sharing, proposto dalla Commissione a luglio 2016 e dalla revisione della Direttiva ETS, attualmente in negoziazione. Lo scenario energetico di policy è trasferito nel modello GDyn-E con un approccio di *soft linkage*, utilizzando le emissioni di CO₂ e i consumi primari e finali, come sarà approfondito in seguito.

2 Il modello GDyn-E

La struttura teorica

Il modello GTAP è un modello di equilibrio economico generale calcolabile, in cui sono inclusi come agenti rappresentativi le imprese e famiglie, e sono modellati i mercati settoriali e quelli dei fattori produttivi. Tutti i mercati sono in equilibrio, cioè a dire i prezzi variano finché la domanda non uguaglia l'offerta. Ciò implica l'esistenza di piena occupazione nel modello; la forza lavoro subisce riallocazioni in seguito agli scenari modellati, ad esempio come conseguenza di specifiche politiche energetiche.

Il modello verrà ora descritto più nel dettaglio relativamente ai suoi aspetti che influenzano gli impatti delle politiche energetiche sulla competitività internazionale. In particolare, l'attenzione sarà focalizzata sulla rappresentazione del mercato internazionale dei capitali e sulle assunzioni nella struttura dei processi produttivi e di consumo privato.

Per modellare la mobilità internazionale dei capitali sono introdotti i prodotti finanziari, che rappresentano diritti sul capitale, il quale può essere spostato a livello internazionale. Tra i fattori primari diversi dal lavoro presenti nel modello, cioè capitale, terra e altre risorse naturali (risorse minerarie, risorse ittiche e foreste),

¹ Per maggiori approfondimenti si veda il documento "Decarbonizzazione dell'Economia Italiana – Scenari di sviluppo del sistema energetico nazionale", attualmente in pubblicazione.

² Tutti i materiali del Winter Package sono reperibili al seguente link <http://ec.europa.eu/energy/en/news/commission-proposes-new-rules-consumer-centred-clean-energy-transition>

soltanto il capitale è associato ai prodotti finanziari. Le imprese non hanno passività nel modello, ma sono in possesso di capitale fisico (associabile al prodotto finanziario *equity*), il cui deprezzamento è stimato al 4%³. Le imprese utilizzano terra e risorse naturali messe a disposizione dal paese dove risiedono, mentre i paesi⁴ investono in prodotti finanziari. Per modellare la possibilità per i paesi di investire nelle imprese di tutti gli altri, si ricorre all'artificio modellistico di un fondo fiduciario globale come intermediario finanziario per gli investimenti all'estero. Il mercato dei capitali ipotizza perfetta mobilità dei capitali nel lungo periodo, e funziona con aspettative adattive sui tassi di ritorno, che convergono gradualmente verso un valore comune attraverso una graduale correzione degli errori nelle aspettative. Sulla base della stima dei tassi di ritorno futuri, gli investitori aumentano lo stock di capitale a un tasso di crescita che aggiustano gradualmente nel tempo.

In ogni periodo, la rigidità nella composizione del capitale e l'allocazione della ricchezza in una regione sono influenzate dai parametri che regolano le decisioni di investimento e risparmio. I parametri inclusi nel modello derivano da una stima basata su dati relativi ai portafogli di investimento nazionali (Golub, 2006). Chiaramente un'analisi di sensitività rispetto a questi parametri potrebbe fornire maggiori dettagli rispetto al range di variabilità dei risultati associati a politiche di riduzione delle emissioni, in termini di impatti sul PIL e sulla competitività internazionale.

Appare importante sottolineare due peculiarità della modellazione del mercato dei capitali. In primo luogo, GDyn-E è un modello dipendente dal percorso (*path-dependent*): gli effetti di cambiamenti in variabili come accumulazione della ricchezza, stock di capitale e tasso di ritorno dipendono non solo dall'entità degli shock esogeni ma anche dalla loro tempistica. In secondo luogo, la propensione al risparmio è fissa, quindi il risparmio è una proporzione fissa del reddito nazionale. Di conseguenza, il capitale e gli investimenti esteri sono altamente volatili nel modello, diversamente dal mondo reale dove investimenti e risparmi sono altamente correlati e i flussi internazionali di capitale sono generalmente più stabili. Questa peculiarità può essere associata all'emergere di fenomeni di *carbon leakage* a valle di politiche di riduzione delle emissioni adottate a livello unilaterale da alcuni paesi. Anche in questo caso può essere realizzata un'analisi di sensitività, in particolare rispetto a una variazione del parametro di propensione al risparmio.

Nel modello GDyn-E è adottata una funzione di produzione a elasticità costante (CES, *Constant Elasticity of Substitution*) ramificata (*nested*). Nella struttura di produzione vi sono diversi livelli (*nest*), dove è possibile la sostituzione tra i diversi input, come beni domestici e importati o input individuali e composti. Gli input composti sono una combinazione di input individuali appartenenti al livello inferiore della funzione, come nel caso dell'input composto capitale-energia mostrato in Figura 1.

Nel livello superiore della funzione, le imprese producono il loro output combinando beni intermedi non energetici con un input composto di fattori di produzione primari, e l'elasticità di sostituzione è assunta pari a zero (funzione Leontief). I beni intermedi non energetici possono essere domestici o importati, come

³ Per maggiori dettagli può essere consultato Aguiar (2015).

⁴ Attraverso la rappresentazione semplificata di una *regional households*.

mostrato dal relativo livello⁵. Il livello sottostante all'input composto di fattori primari include forza lavoro, qualificata e non, terra, risorse naturali e input composto capitale-energia. La funzione prosegue con gli input individuali capitale ed energia, e successivamente con le ulteriori possibilità di sostituzione tra input energetici. Questa struttura consente di catturare le scelte di sostituzione operate dalle imprese al variare dei prezzi relativi⁶.

La Figura 1 mostra, a titolo di esempio, i parametri del settore siderurgico; si vuole sottolineare che i parametri hanno un range di variabilità a seconda del settore considerato, offrendo una rappresentazione semplificata delle opzioni tecnologiche disponibili. In particolare, l'elasticità settoriale di sostituzione tra capitale ed energia varia tra un valore minimo di 0,24 a un valore massimo di 0,45, mentre quella tra energia elettrica e non elettrica varia tra un minimo di 0,48 a un massimo di 0,9. Analogamente esiste una variabilità dell'elasticità tra prodotti domestici e importati per ogni bene intermedio, e una dell'elasticità tra due diversi importatori.

⁵ Si precisa come anche per gli input energetici è possibile la sostituzione tra prodotto domestico e importato, che è omessa in figura ma è collocata in corrispondenza dell'ultimo ramo dove compare ogni singolo prodotto energetico.

⁶ I parametri riportati in Figura vanno interpretati in questo modo: a una variazione dell'1% del prezzo dell'energia, corrisponde una variazione dello 0,24% della domanda di capitale, oppure a un aumento dell'1% del prezzo di un certo bene intermedio di provenienza domestica corrisponde un aumento del 2.95% della domanda dell'analogo bene di importazione.

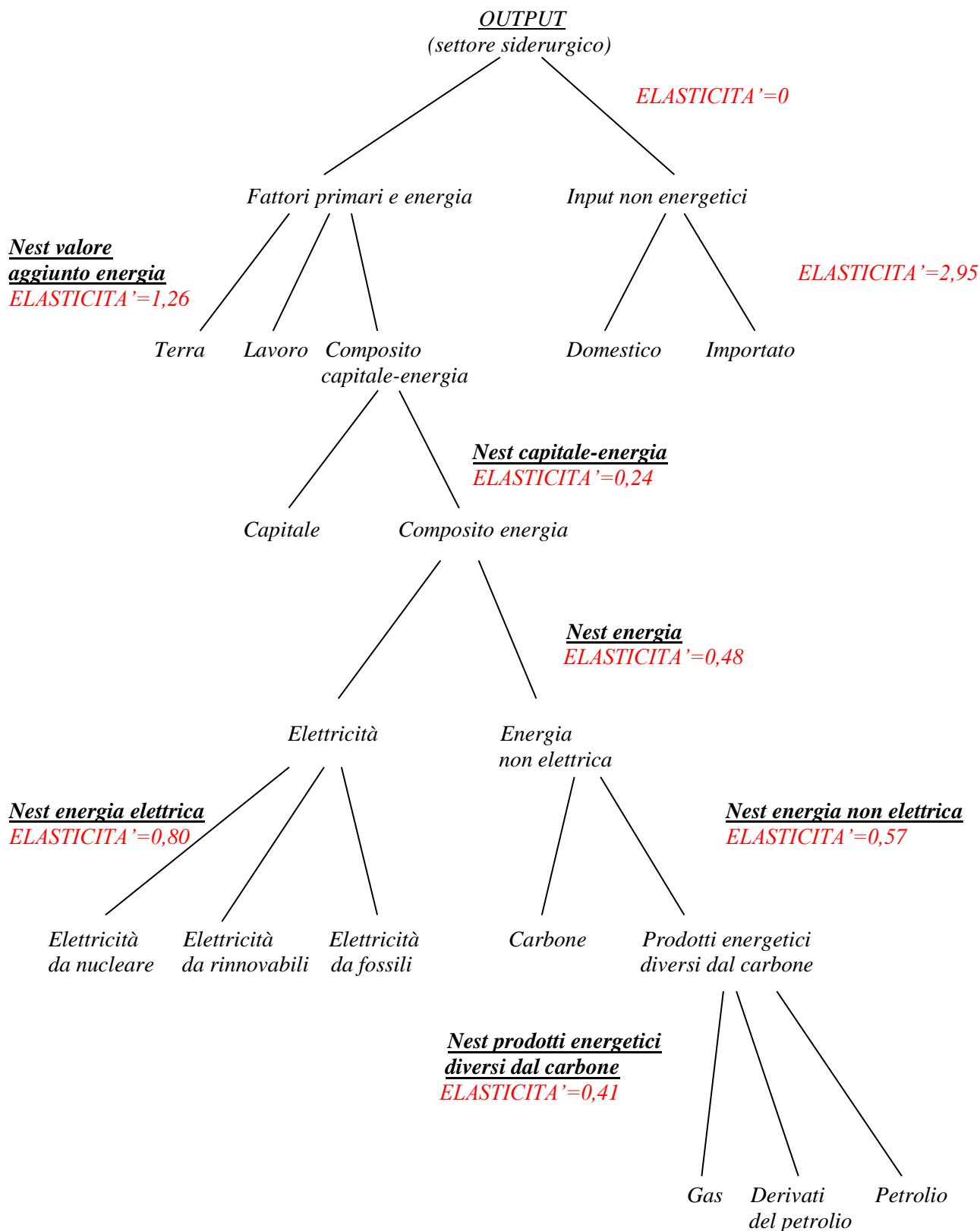


Figura 1 – Funzione di produzione a struttura ramificata: l’esempio del settore siderurgico

La struttura di consumo del settore residenziale è più semplificata, offrendo la possibilità di sostituire tra beni non energetici ed energetici in un primo livello, mentre in un secondo livello tra i diversi beni energetici. In entrambi i livelli è inoltre possibile scegliere tra prodotti di provenienza domestica o importata. Un ulteriore parametro rilevante è in questo caso anche l'elasticità rispetto al reddito dei diversi beni di consumo.

Poiché l'elasticità di sostituzione tra capitale ed energia è relativamente bassa, le politiche di riduzione delle emissioni avranno l'effetto di ridurre il costo e il tasso di ritorno del capitale nei paesi dove sono in vigore, creando opportunità di profitto negli altri paesi. Di conseguenza, gli investitori riallocheranno gradualmente i capitali nei paesi dove stimano più elevati tassi di ritorno, in altri termini quelli dove gli obiettivi di riduzione delle emissioni sono meno elevati o assenti. Le politiche di riduzione delle emissioni implicheranno quindi una riallocazione internazionale dei capitali e conseguenti effetti di *carbon leakage*.

In particolare, gli effetti associati ai meccanismi legati alla mobilità internazionale dei capitali sono aggiuntivi rispetto al *carbon leakage* indotto dai canali strutturale ed energetico. Nel primo caso, il *carbon leakage* deriva dall'aumento dei costi di produzione dei settori ad alta intensità energetica nei paesi che adottano obiettivi di riduzione, e dall'associata perdita di competitività. Nel caso del canale energetico, il *carbon leakage* è associato all'elasticità di offerta dei produttori di combustibili fossili e alla flessibilità tecnologica dei processi produttivi, espressa dal parametro di elasticità di sostituzione tra prodotti energetici a diverso contenuto carbonico. Analisi di sensitività (Golub, 2013) hanno confermato questo fenomeno: più elastica al prezzo è l'offerta di combustibili fossili, in particolare quella del carbone, minore è il tasso di *carbon leakage*. Inoltre, maggiore è l'elasticità di sostituzione ai diversi livelli della funzione di produzione – quindi ad esempio tra energia elettrica e non elettrica ma anche tra capitale ed energia – minore è il tasso di *carbon leakage*.

La versione utilizzata

Il primo database GTAP è stato rilasciato nel 1993, per la costruzione di un modello statico (Hertel e Tsigas, 1997). Le versioni dinamica (Ianchovichina e McDougall, 2001) ed energetica (Burniaux e Truong, 2002; McDougall e Golub, 2009) sono state elaborate successivamente. Diverse versioni per il nostro paese, non ancora inclusive delle rinnovabili, sono state elaborate congiuntamente da ENEA (Unità Studi e Strategie e Unità Efficienza Energetica), Dipartimento di Economia dell'Università di Roma Tre e Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria (CREA) e utilizzate in diversi lavori.

In questo lavoro viene utilizzata una versione modificata del modello dinamico ed energetico GDyn-E (Golub, 2013), che include l'elettricità prodotta da fonti energetiche rinnovabili (Martini, 2016b). Questa versione utilizza i dati GTAP-Power, inclusi come base dati satellite nel GTAP Data Base 9⁷. La Tabella 1 indica il livello di disaggregazione regionale scelto per l'analisi svolta in questo lavoro.

⁷ Per maggiori dettagli può essere consultata la documentazione della Base Dati 9 del GTAP, disponibile al seguente link https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v9/v9_doco.asp. Nel database sono incluse le emissioni di CO₂ in modo proporzionale al contenuto carbonico dei diversi prodotti energetici, di provenienza domestica e importata, consumati da industrie, famiglie e settore pubblico. La Base Dati GTAP-Power è fornita senza costi aggiuntivi per i sottoscrittori della Base Dati 9. Le emissioni degli gas serra diversi dalla CO₂ sono disponibili come database satellite ma non inclusi nella versione del modello utilizzata in questo studio.

Regioni	Paesi	Composizione regionale
Unione Europea	Italia	
	Francia	
	Germania	
	Regno Unito	
	Spagna	
	Resto dell'UE15	<i>Austria, Belgium, Denmark, Finland, Greece, Ireland, Luxembourg, the Netherlands, Portugal, Spain, Sweden</i>
	UE13	<i>Cipro, Repubblica Ceca, Estonia, Ungheria, Lettonia, Lituania, Malta, Polonia, Slovacchia, Slovenia, Bulgaria, Croazia, Romania</i>
Resto dell'OCSE	USA	
	Messico	
	Resto dell'OCSE:	<i>Australia, New Zealand, Japan Korea, Canada, Chile, Switzerland, Norway, Turkey</i>
Resto del mondo	Cina	
	India	
	Brasile	
	Sud Africa	
	ASEAN	<i>Brunei Darusslam, Cambodia, Lao People's Democratic Republic, Malaysia, Philippines, Singapore, Thailand, Viet Nam</i>
	OPEC	<i>Ecuador, Indonesia, Iran, Kuwait, Libya, Nigeria, Qatar, Saudi Arabia, United Arab Emirates, Venezuela</i>
	Federazione Russa	
	Resto del mondo	<i>Albania, Argentina, Armenia, Australia, Azerbaijan, Bangladesh, Belarus, Benin, Bahrain, Bolivia, Botswana, Brazil, Burkina Faso, Cameroon, Canada, Caribbean, Central Africa, Chile, Colombia, Costa Rica, Cote d'Ivoire, Egypt, El Salvador, Ethiopia, Georgia, Ghana, Guatemala, Guinea, Honduras, Israel, Japan, Kazakhstan, Kenya, Kyrgyzstan, Madagascar, Malawi, Mauritius, Mexico, Mongolia, Morocco, Mozambique, Namibia, Nepal, New Zealand, Nicaragua, Oman, Pakistan, Panama, Paraguay, Peru, Rest of Central America, Rest of East Asia, Rest of Eastern Africa, Rest of Eastern Europe, Rest of EFTA, Rest of Europe, Rest of Former Soviet, Rest of North Africa, Rest of North America, Rest of Oceania, Rest of South African, Rest of South America, Rest of South Asia, Rest of Southeast Asia, Rest of the world, Rest of Western Africa, Rest of Western Asia, Rwanda, Senegal, South Africa, South Central Africa, South Korea, Sri Lanka, Switzerland, Taiwan, Tanzania, Togo, Tunisia, Turkey, Uganda, Ukraine, Uruguay, Zambia, Zimbabwe</i>

Tabella 1 – Paesi e regioni incluse nel modello

La Tabella 2 mostra invece la disaggregazione settoriale, secondo cui tutta l'elettricità prodotta attraverso le fonti energetiche rinnovabili è stata aggregata nel settore "elettricità da fe rinnovabili". L'elettricità prodotta

da fonti fossili è stata anch'essa aggregata, ed esiste un settore specifico anche per quella prodotta da fonte nucleare. Per le fonti energetiche carbone e petrolio, il settore è costituito dall'estrazione, mentre per i derivati del petrolio e carbone dalla produzione e per il gas naturale da estrazione e distribuzione.

Macro- settori	Settori	Composizione settoriale
Energia	Carbone	
	Petrolio	
	Derivati petrolio e carbone	
	Gas naturale	
	Elettricità da fe fossili	<i>Nuclear power; Coal-fired power; Gas-fired power (base load); Oil-fired power (base load); Other power (base load); Gas-fired power (peak load); Oil-fired power (peak load)</i>
	Elettricità da fe rinnovabili	<i>Wind power; Hydroelectric power (base load); Hydroelectric power (peak load); Solar power</i>
	Elettricità da nucleare	
	Tramissione e distribuzione	
Industria	Agricoltura	<i>Paddy rice; Wheat; Cereal grains nec; Vegetables, fruit, nuts Oil seeds; Sugar cane, sugar beet; Plant-based fibers Crops nec; Bovine cattle, sheep and goats, horses; Animal products nec; Raw milk; Wool, silk-worm cocoons; fishing; forestry.</i>
	Chimico e petrolchimico	<i>Fertilisers/inorganic chemicals; petrochemicals; other chemicals/cosmetics; pharmaceuticals</i>
	Siderurgia	<i>Iron and steel</i>
	Metalli non ferrosi	<i>Copper; lead; zinc; aluminum</i>
	Minerali non metallici	<i>Cement and derived products; Ceramics, bricks, etc.; Glass production; Other non metallic minerals</i>
	Cartario	
	Alimentare	<i>Bovine cattle, sheep and goat meat products; meat products; vegetable oils and fats; dairy products; processed rice; sugar; food products nec; beverages and tobacco products</i>
	Tessile	<i>Textiles; wearing apparel; leather products</i>
	Metalmeccanico	<i>Metal products; motor vehicles and parts; transport equipment nec; electronic equipment; machinery and equipment</i>
	Altri settori industriali	<i>Minerals; wood products; manufacturing nec</i>
Servizi	Aviazione	
	Trasporto marittimo	
	Altri trasporti	
	Costruzioni	
	Servizi	<i>Water; retail; communication; financial services nec; insurance; business services nec; recreational and other; public administration and defence, education, health; ownership of dwellings</i>

Tabella 2 – Settori inclusi nel modello

L'uso congiunto del modello GDyn-E con il modello energetico TIMES-Italia (Gaeta e Baldissara, 2009), secondo un approccio di soft-linkage, è stato sviluppato per la prima volta nell'ambito del Deep Decarbonisation Pathways Project (Viridis et al., 2015). Secondo questo approccio, gli obiettivi di

decarbonizzazione modellati in TIMES-Italia sono introdotti anche nel modello macroeconomico GDyn-E, consentendo così la valutazione delle loro implicazioni macroeconomiche.

3 Risultati della simulazione

Caratterizzazione degli scenari di riferimento e di policy

Lo scenario di riferimento utilizzato in questo lavoro è stato elaborato nell’ambito del Tavolo Decarbonizzazione della Presidenza del Consiglio. Lo scenario di policy è invece riferito ad una prima versione dello scenario energetico elaborato dall’Unità Studi e Strategie per la SEN 2017. E’ importante sottolineare che lo scenario macroeconomico di policy vuole essere una prima valutazione e non riflette una posizione ufficiale in merito agli impatti macroeconomici dello scenario energetico SEN.

GDyn-E è usato in “allineamento con TIMES”, prendendo a riferimento una serie di variabili. Per quanto riguarda lo scenario di riferimento, alcune variabili, socio-demografiche, ambientali ed energetiche, sono state utilizzate come input nel modello CGE, armonizzandolo quindi con i trend ipotizzati in TIMES. Si tratta, in particolare, di: popolazione, forza lavoro, PIL, prezzi delle fonti fossili ed emissioni totali di CO₂. Altre variabili, come emissioni settoriali e consumi finali, sono utilizzate come variabili di controllo, in quanto per la natura dei modelli CGE non sarebbe stato appropriato allinearle in modo esogeno (Figura 2).

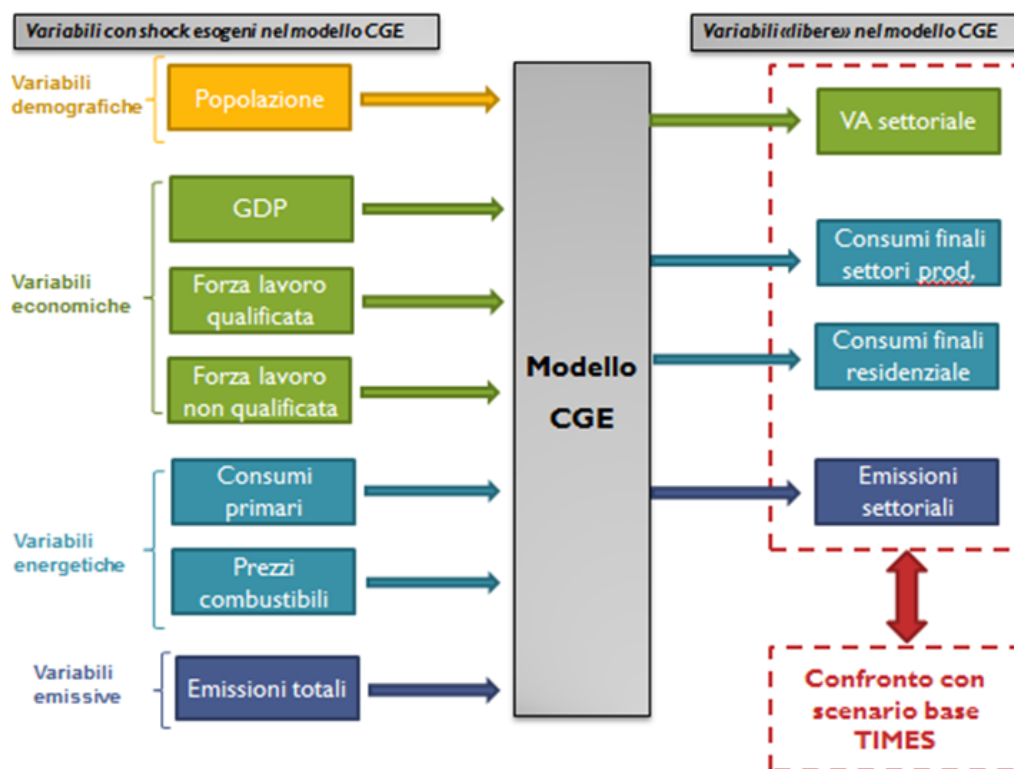


Figura 2 - Costruzione dello scenario di riferimento

Lo scenario di riferimento è stato costruito utilizzando informazioni sulle variabili di input – anche dette driver della domanda di prodotti energetici – fornite da rilevanti istituzioni e organizzazioni internazionali

(Tabella 3), come la Commissione Europea (EC), l’Agenzia Internazionale dell’Energia (AIE) e l’Organizzazione Internazionale del Lavoro (ILO).

	Emissioni totali CO₂	GDP	POP	Forza lavoro	Prezzi dei combustibili
Italia	TIMES - Italia	EC	EC	ILO	EC
Resto dell’Unione Europea	EC	EC	EC	ILO	EC
Resto del mondo	AIE (ETP 2016, scenario 4DS)	AIE (ETP 2016, scenario 4DS)	Banca Mondiale	ILO	EC

Tabella 3 – Input allo scenario di riferimento

In particolare, per l’Italia ci si allinea a un scenario di riferimento nel modello TIMES-Italia che ipotizza vengano traguardati gli obiettivi previsti dalla SEN 2013 per il 2020, in particolare con una riduzione del 21% delle emissioni rispetto al 2005 (associata a una riduzione dei consumi finali previsti del 24% e a un incremento del 21% delle fonti rinnovabili sul consumo finale).

Nello scenario di policy, le emissioni totali di CO₂ calcolate dal modello TIMES-Italy rappresentano la variabile impiegata per trasferire l’obiettivo di decarbonizzazione dal modello energetico a quello CGE, mentre le emissioni settoriali e i consumi primari e finali – sempre provenienti dal modello TIMES-Italia – sono utilizzati come variabili di controllo. Ciò implica che i relativi risultati sono confrontati tra i due modelli e resi il più possibile coerenti, ma non sono allineati in modo esogeno, in quanto questo non sarebbe appropriato in un modello di equilibrio economico generale come GDyn-E.

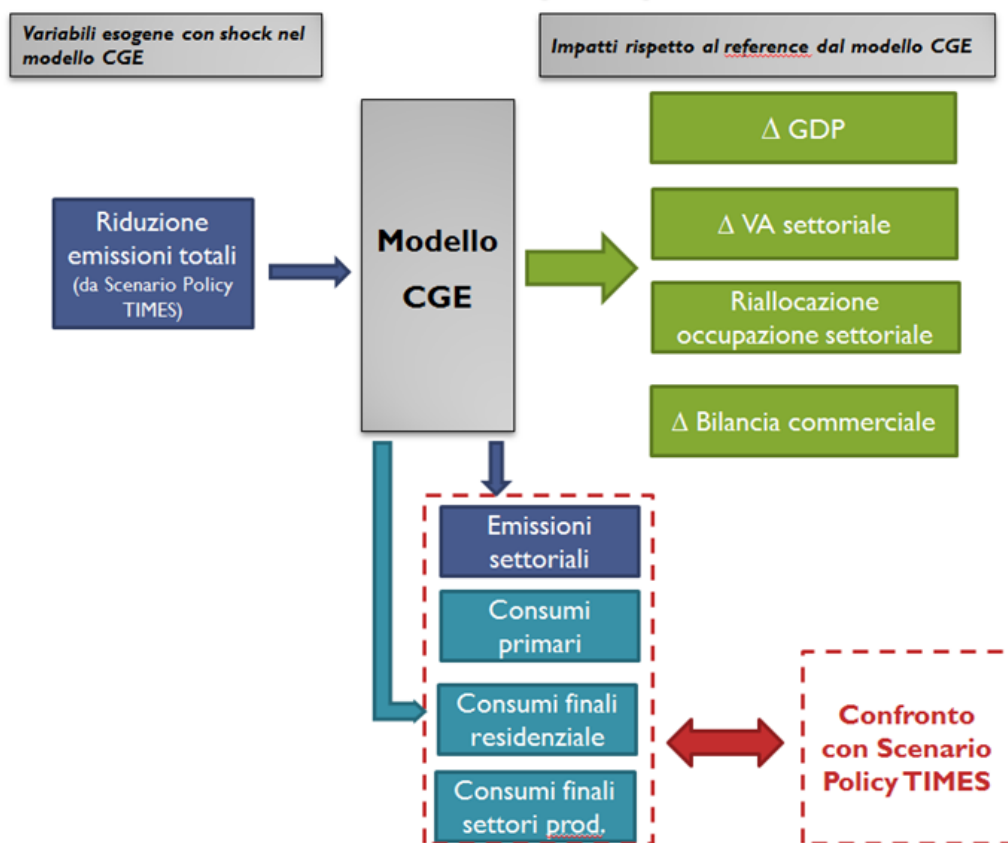


Figura 3 - Costruzione dello scenario di policy

Il modello TIMES-Italia costruisce lo scenario di policy denominato Scenario Intermedio basandosi su due obiettivi comunitari vincolanti per il sistema energetico italiano: la riduzione delle emissioni di GHG del settore non-ETS nel 2030 del -33% rispetto al 2005, come da proposta di Effort Sharing della Commissione di luglio 2016 (COM/2016/0482 final); la riduzione dei consumi finali di energia 2020-30 dell'1,5% annuo secondo la proposta di revisione della Energy Efficiency Directive (COM(2016)761 final) inclusa nel Winter Package, obiettivo annuo che implicherebbe 9 Mtep di riduzione dei consumi finali nel 2030 rispetto allo scenario di riferimento.

Emissioni di CO₂

Le emissioni mostrate in Figura 4 risultano, come spiegato in precedenza, allineate al modello Times-Italia, rappresentando la variabile con la quale è realizzato il *soft linkage* tra i due modelli. Al 2030 nello scenario di riferimento le emissioni si ridurrebbero del 27% rispetto ai livelli del 1990 (e del 21% rispetto al 2005, come da obiettivo imposto), e la riduzione nello scenario di policy corrisponderebbe al -13% rispetto al 2030 di riferimento.

Questa riduzione di emissioni nel nostro Paese, in linea con gli impegni nazionali di mitigazione del cambiamento climatico, sarebbe accompagnata da analoghi obiettivi di riduzione nei rimanenti paesi membri

UE, e negli altri paesi industrializzati. Le economie emergenti e i paesi in via di sviluppo hanno, coerentemente con lo scenario 2DS dell'Energy Technology Perspectives 2016 dell'AIE, i propri obiettivi di mitigazione, di entità più contenuta, coerentemente con l'Accordo di Parigi. Data questa configurazione per la riduzione delle emissioni di CO₂ nei paesi o regioni rappresentati nel modello non possono essere esclusi fenomeni di *carbon leakage*, ovvero di perdita di competitività dei settori industriali operanti nei paesi con politiche di decarbonizzazione più stringenti.

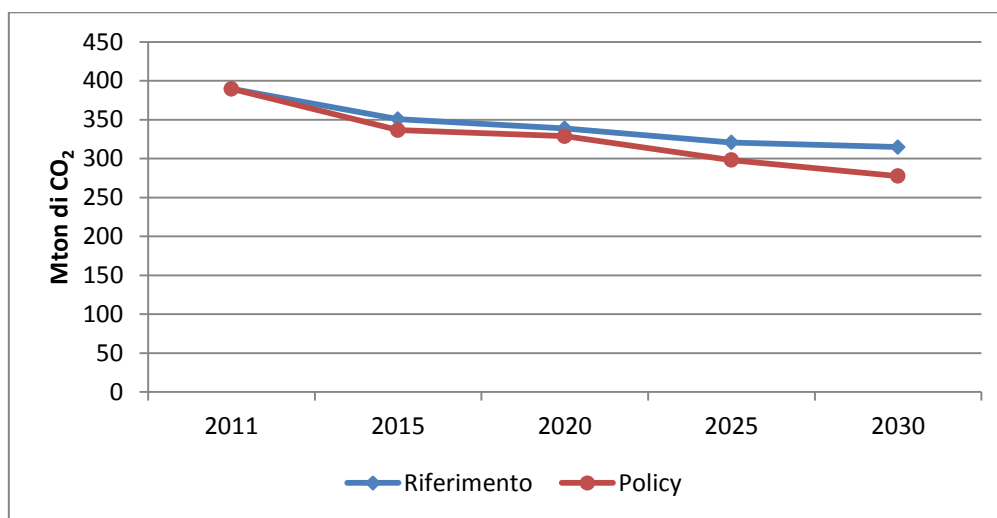


Figura 4 - Emissioni totali di CO₂ (Mton di CO₂)

Come mostrato in Figura 5, lo scenario di policy determinerebbe riduzioni in tutti i settori rispetto a quello di riferimento, più pronunciate nell'industria e nel terziario con, rispettivamente, -14% e -10%. Occorre specificare che nel modello GDyn-E non è possibile distinguere, all'interno del settore industriale, tutte le imprese ricadenti nell'ETS, in quanto non si dispone del dato di dettaglio per il singolo stabilimento ma solo del totale delle emissioni settoriali. La Tabella A1 in appendice riporta le emissioni dei diversi comparti industriali, riportando la classificazione ETS e non-ETS che si è scelto di attribuire a ognuno⁸.

⁸ Un caso dove, nel nostro Paese, sarebbe stato necessario applicare una distinzione a livello di stabilimento per includere o meno le relative emissioni all'interno del settore alimentare; diverso è il caso di altri paesi europei, dove per la maggiore dimensione dei siti produttivi, la quasi totalità delle emissioni in questo comparto ricade nell'ETS.

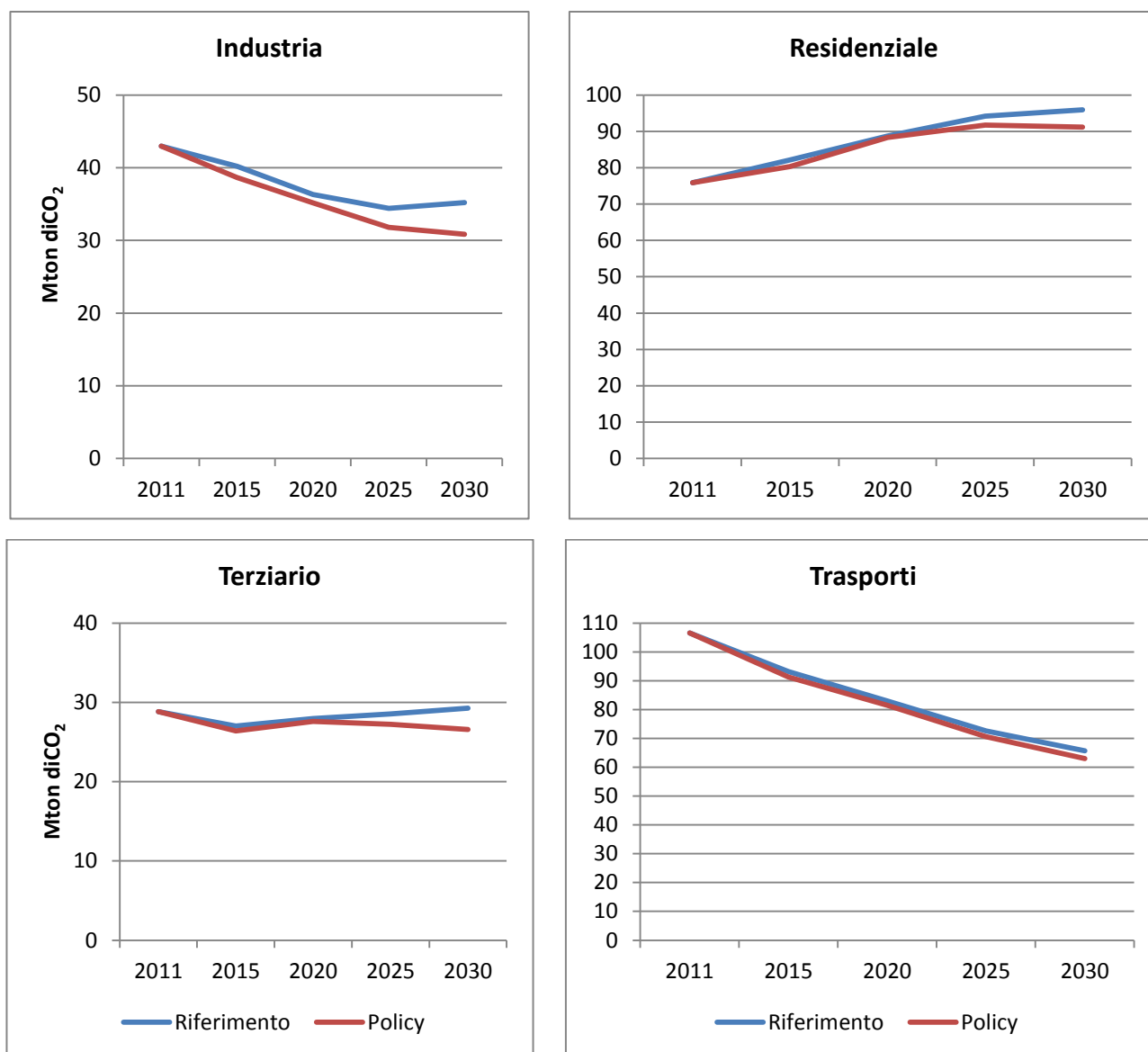
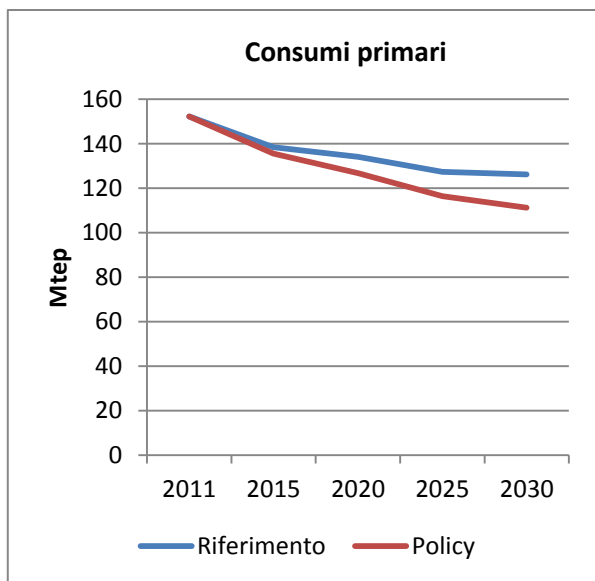


Figura 5 - Emissioni di CO₂ settoriali (Mton di CO₂)

Consumi primari e finali

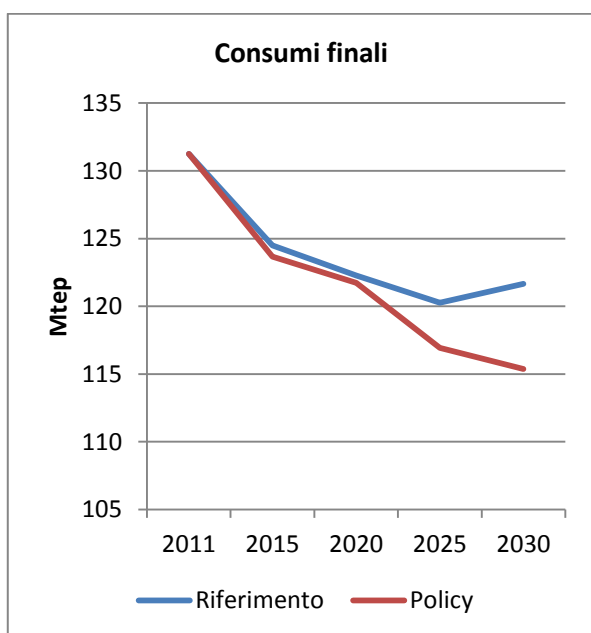
In linea con i risultati del modello TIMES-Italia, al 2030 i consumi primari dovrebbero ridursi del 12% rispetto allo scenario di riferimento (Figura 6). La tabella affiancata alla figura mostra i cambiamenti rispetto al 2011 nelle quote delle singole fonti del 2030 di riferimento e di policy, confrontando quest'ultimo anche con i valori elaborati dal modello TIMES. Le quote nei due scenari di policy non sono perfettamente allineate, probabilmente a causa una diversa contabilizzazione dei flussi di consumo tra GDyn-E e TIMES presente già al 2011. È importante comunque precisare che rimarrebbe comunque rispettato l'ordine di importanza delle diverse fonti nel mix di consumo.



	2011	2030 riferimento	2030 policy	2030 policy TIMES
Petrolio	44%	42%	44%	40%
Carbone	11%	8%	7%	10%
Gas naturale	43%	46%	45%	48%
Elettricità	3%	4%	5%	3%

Figura 6 - Consumi primari (Mtep) e dettaglio per fonte (%)

Al 2030 i consumi finali si ridurrebbero del 5% rispetto allo scenario di riferimento (Figura 7). Anche in questo caso le quote delle diverse fonti energetiche non appaiono perfettamente allineate con il modello TIMES, probabilmente a causa delle differenze di contabilizzazione già menzionate e anche della diversa risposta di GDyn-E in termini di possibilità di sostituzione tra fonti, riconducibile alla modellazione molto semplificata delle diverse tecnologie. In ogni caso, poiché i consumi finali rappresentano una variabile di controllo allo scenario di policy, non è esclusa la possibilità di ulteriori interventi per allinearli maggiormente al modello TIMES.



	2011	2030 riferimento	2030 policy	2030 policy TIMES
Petrolio	48%	47%	44%	39%
Carbone	1%	1%	1%	2%
Gas naturale	28%	29%	30%	28%
Elettricità	23%	23%	25%	31%
di cui da rinnovabili	28%	26%	32%	41%

Figura 7 - Consumi finali (Mtep) e dettaglio per fonte (%)

Anche a livello settoriale si osservano delle riduzioni nello scenario di policy rispetto a quello di riferimento, di maggiore importanza per il settore industriale e terziario, rispettivamente con -9% e -6% (Figura 8).

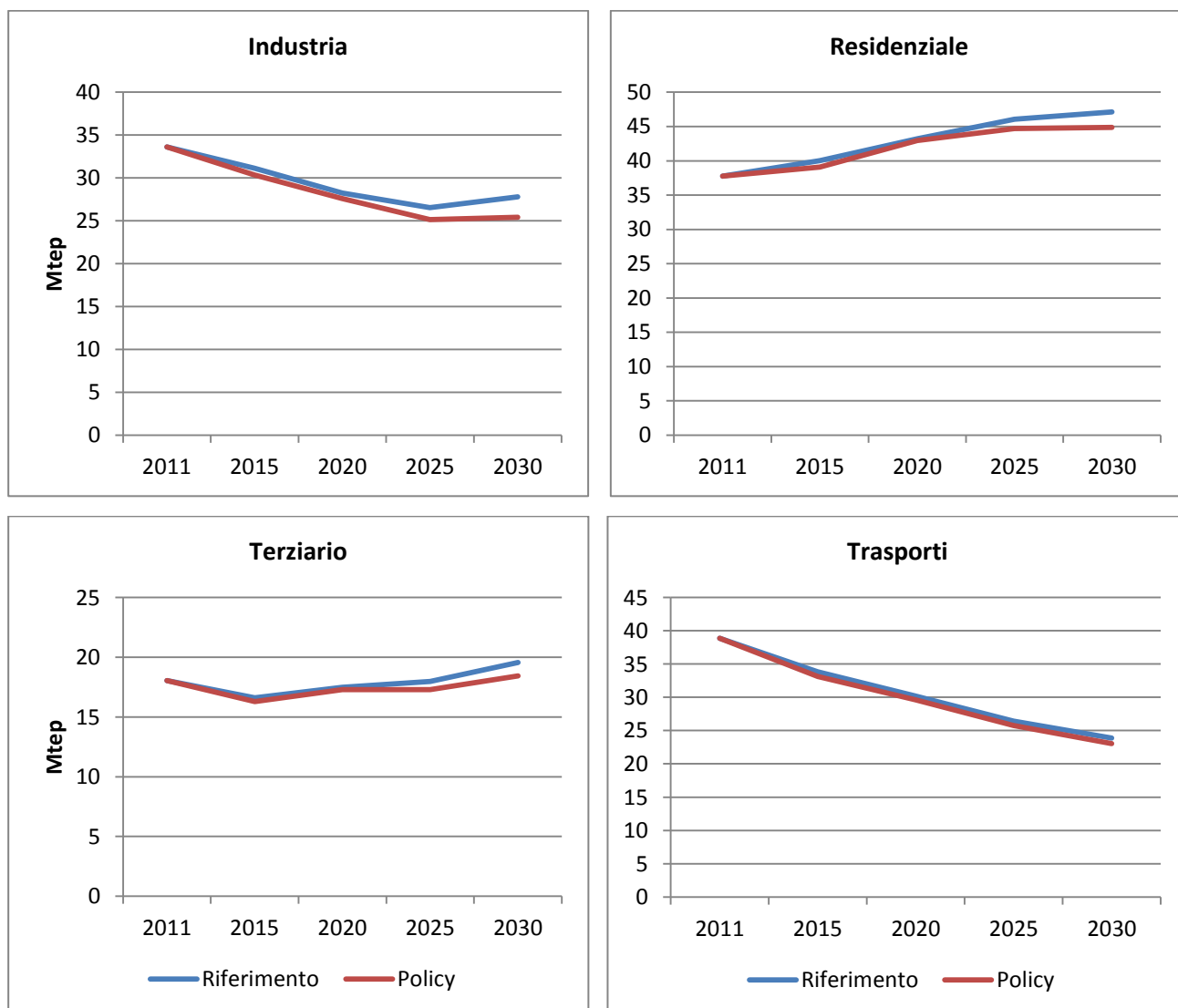


Figura 8 - Consumi finali settoriali (Mtep)

Prodotto Interno Lordo

Si evidenzia che la modellazione adottata in questo lavoro non introduce aggiustamenti tariffari in senso protezionistico, nonostante gli obiettivi di decarbonizzazione potrebbero comportare perdite di competitività e fenomeni di *carbon leakage*⁹. Nel caso venissero attuate politiche di sostegno alle industrie nazionali, il nostro Paese potrebbe cogliere in misura maggiore i benefici derivanti dalla sfida ambientale ed ottenere incrementi più robusti di PIL.

⁹ Per una trattazione di diverse possibilità di aggiustamenti tariffari con il modello GTAP, può essere consultato Antimiani et al. (2013).

I risultati indicano un incremento del PIL nazionale nello scenario di policy più basso rispetto a quello risultante nello scenario di riferimento fino al 2020, con un'inversione di tendenza al 2030: nell'ultimo quinquennio la crescita del PIL dovrebbe essere di più del 2% superiore nello scenario di policy (Figura 9).

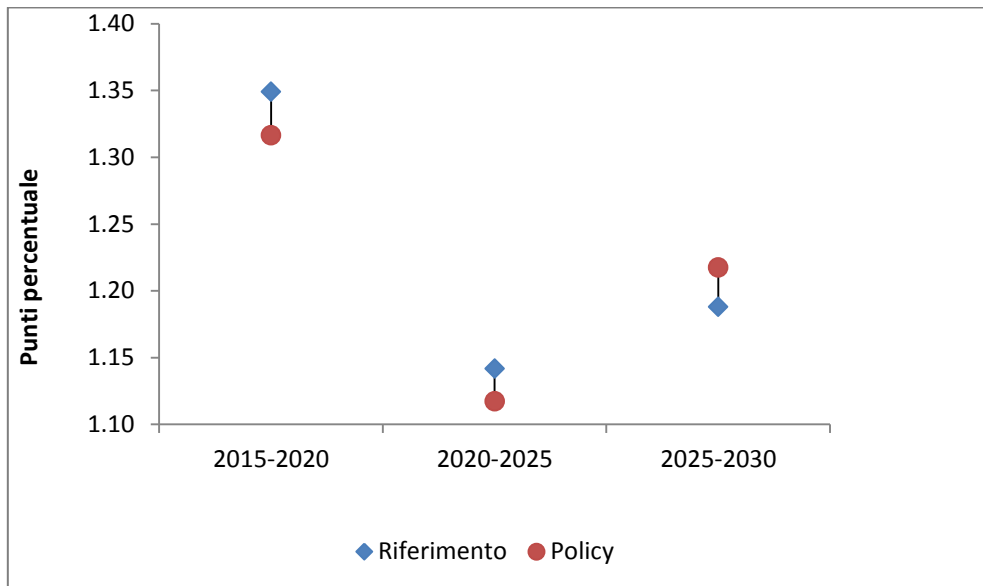


Figura 9 – Tasso medio annuo di crescita del PIL (%)

Un simile risultato potrebbe essere connesso al fatto che l'intensità energetica del PIL, calcolata come consumi primari/PIL, al 2030 si ridurrebbe del 36% nello scenario di policy rispetto al 2011, rendendo così possibile un *decoupling* della crescita economica da consumi energetici ed emissioni di CO₂ (Figura 10).

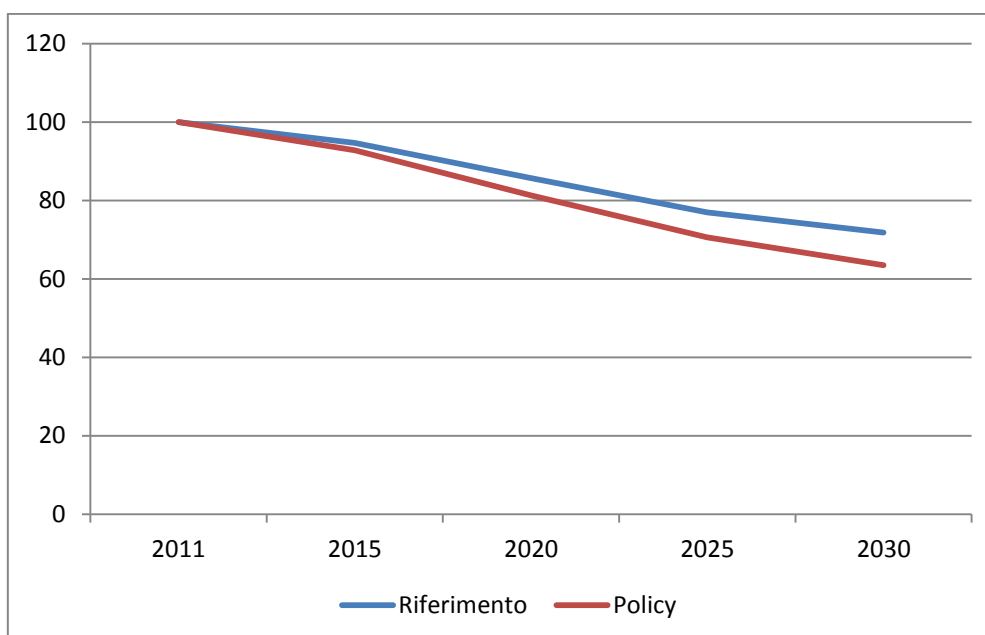


Figura 10 – Intensità energetica del PIL (tep/mln 2011 USD, 2011=100)

Valore aggiunto

Il valore aggiunto sarebbe in crescita rispetto al 2011 in oltre metà dei settori considerati, sia nello scenario di riferimento che in quello di policy. In particolare, nel 2030 il valore aggiunto crescerebbe dello 0,1% rispetto al riferimento, con impatti differenziati a seconda del settore. Si evidenzia una pronunciata crescita del settore delle costruzioni, che potrebbe essere riconducibile, come mostrato anche dai recenti trend, non soltanto al nuovo edificato ma anche a interventi di riqualificazione energetica. Riduzioni sarebbero invece osservate nei settori ad alta intensità energetica, in particolare e in ordine d'importanza, nei settori dei metalli non ferrosi e della siderurgia.

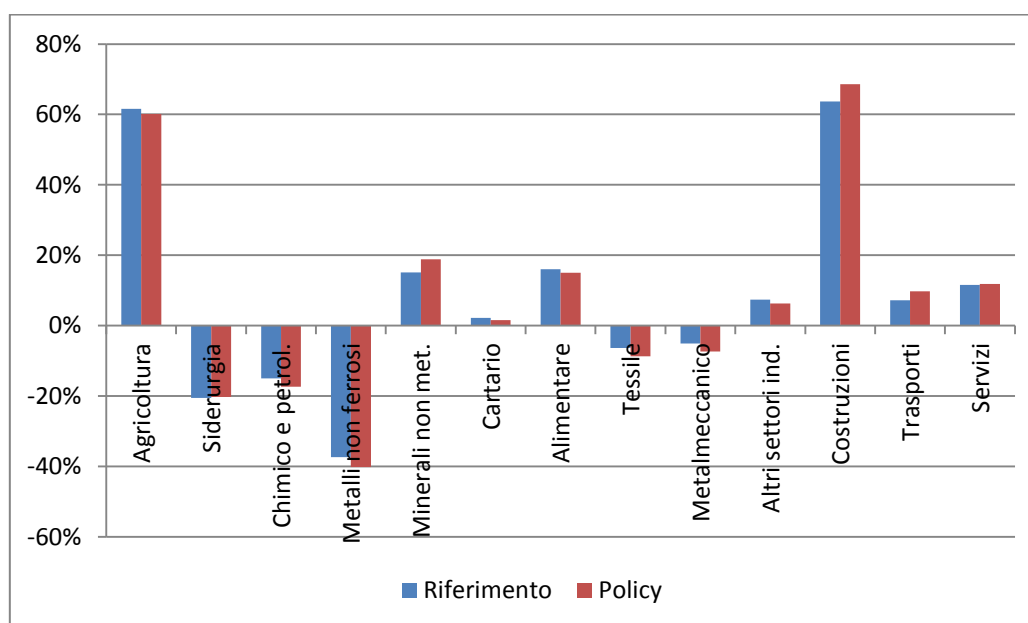


Figura 11 – Variazioni % VA settoriale al 2030 (mln 2011 USD, 2011=100)

La Figura 12 mostra la composizione del valore aggiunto del settore industriale nel 2030, che non subisce variazioni sostanziali rispetto al riferimento ma mostra invece rilevanti cambiamenti rispetto al 2011, in particolare in termini di crescita del settore dei servizi (71% nel 2011) e di contrazione del settore metalmeccanico (quasi 10% nel 2011) ed, in minor misura, del settore chimico e petrolchimico (3% nel 2011).

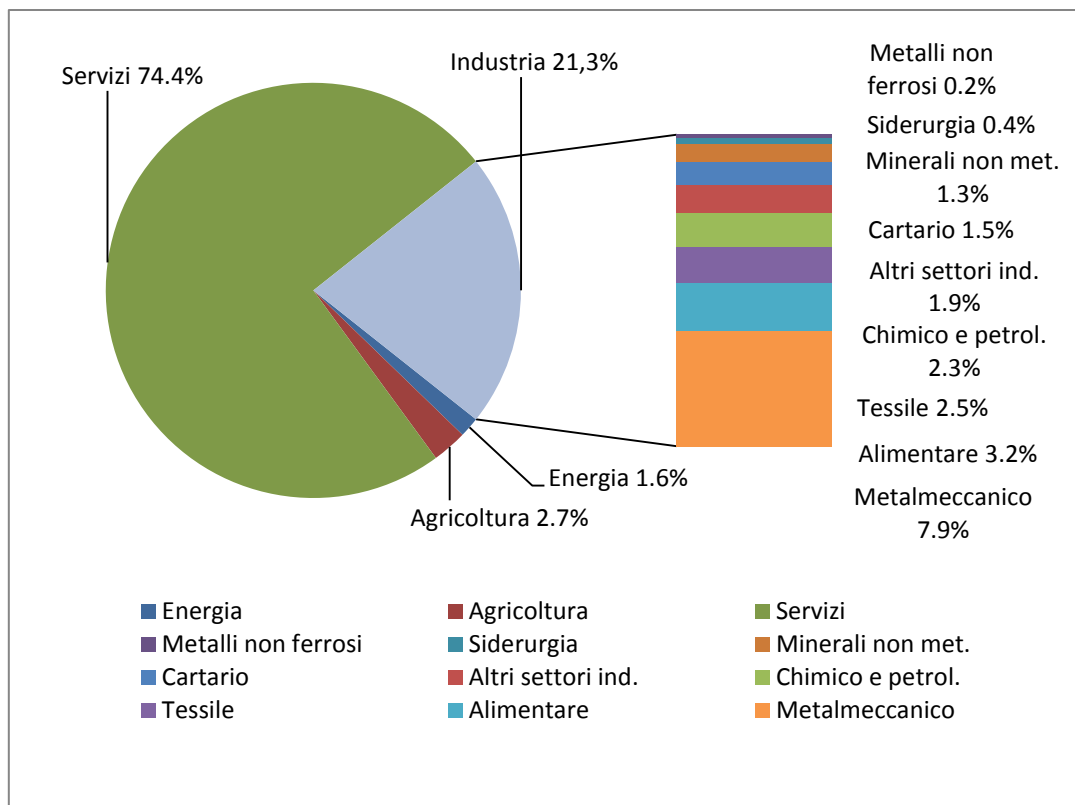


Figura 12 – Composizione del VA al 2030 nello scenario di policy (%)

A fianco di queste informazioni sul valore aggiunto, è interessante analizzare le variazioni dell'intensità energetica settoriale, riportate in Tabella 4. Analogamente a quanto osservato per il PIL, anche per quanto riguarda le intensità settoriali (calcolate come consumi finali/valore aggiunto) lo scenario di policy implicherebbe una riduzione al 2030, particolarmente pronunciata in settori quali metalli non ferrosi, tessile e servizi.

	2020	2030
Agricoltura	83,3	66,6
Siderurgia	88,1	74,5
Chimico e petrol.	84,8	73,3
Metalli non ferrosi	82,3	71,3
Minerali non metalliferi	90,2	75,8
Cartario	90,0	85,6
Alimentare	92,3	83,7
Tessile	82,8	71,2
Metalmecchanico	90,3	86,1
Trasporti	80,5	70,6
Servizi	82,0	71,9

Tabella 4 – Intensità energetiche settoriali (tep/mln 2011 USD, 2011=100))

Infine, è possibile guardare al contributo delle spese energetiche sul totale delle spese di produzione nei diversi settori, andando a evidenziare le possibili ragioni sottostanti agli andamenti del valore aggiunto ed a eventuali perdite di competitività delle imprese italiane. Un maggior peso delle spese energetiche sul totale delle spese di produzione può, infatti, essere indice di una maggiore esposizione agli impatti delle politiche energetiche. La quota delle spese energetiche sui costi di produzione settoriali si assottiglierebbe al 2030 nello scenario di policy rispetto al 2011 in tutti i settori, in particolare per chimico e petrolchimico e minerali non metalliferi, con l'unica eccezione rappresentata dai servizi.

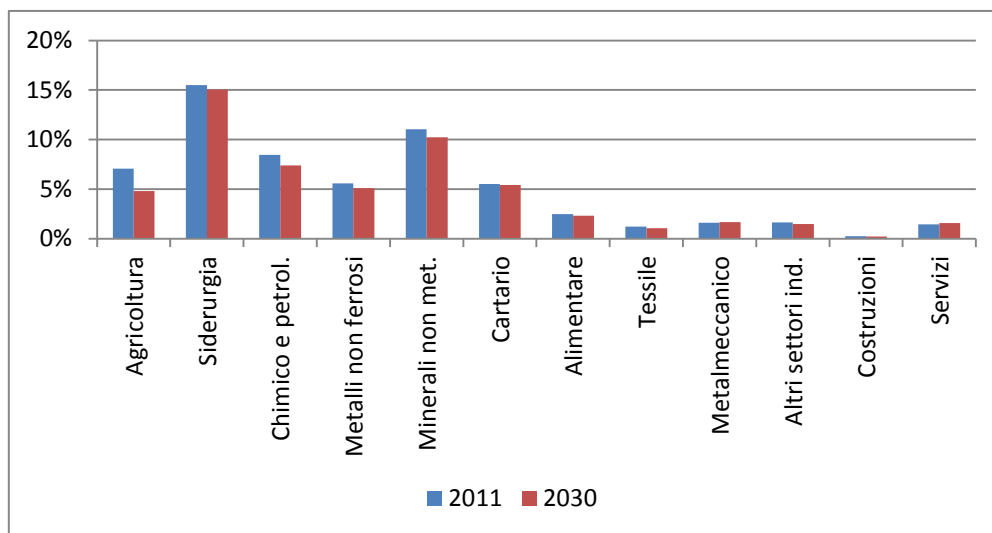


Figura 13 - Contributo delle spese energetiche al totale costi di produzione (Mln USD 2011, %)

Occupazione

Il modello GDyn-E è basato sull'ipotesi di piena occupazione, quindi in seguito alle politiche di decarbonizzazione si osserva una riallocazione settoriale della forza lavoro. In particolare, il settore dell'estrazione, raffinazione e commercializzazione di combustibili fossili dovrebbe subire un ridimensionamento dell'attività e quindi anche della relativa occupazione, che sarebbe riallocata negli altri settori.

Nel seguito, gli impatti occupazionali saranno commentati con riferimento alla forza lavoro totale, senza distinguere per forza lavoro qualificata e non qualificata. Gli impatti relativi alle due tipologie di forza lavoro sono analoghi rispetto alla direzione del cambiamento, mentre possono avere una differenziazione in termini quantitativi.

In modo analogo al valore aggiunto, anche per l'occupazione nello scenario di policy si avrebbe un lieve aumento nel 2030 (0,05%) rispetto al riferimento. In metà dei settori considerati al 2030 si osserverebbe un aumento rispetto al 2011, che nel caso delle costruzioni e dei minerali non metalliferi sarebbe più pronunciato nello scenario di policy (Figura 14). Parallelamente, l'occupazione si ridurrebbe nel comparto energia fossile e nella maggioranza dei settori *energy-intensive*. Tra i settori dove si osservano riduzioni, queste sarebbero di minore entità nello scenario di policy per siderurgia e trasporti. In generale, si può dire

che nello scenario di policy la riallocazione del lavoro favorirebbe i servizi, comprensivi di costruzioni e trasporti.

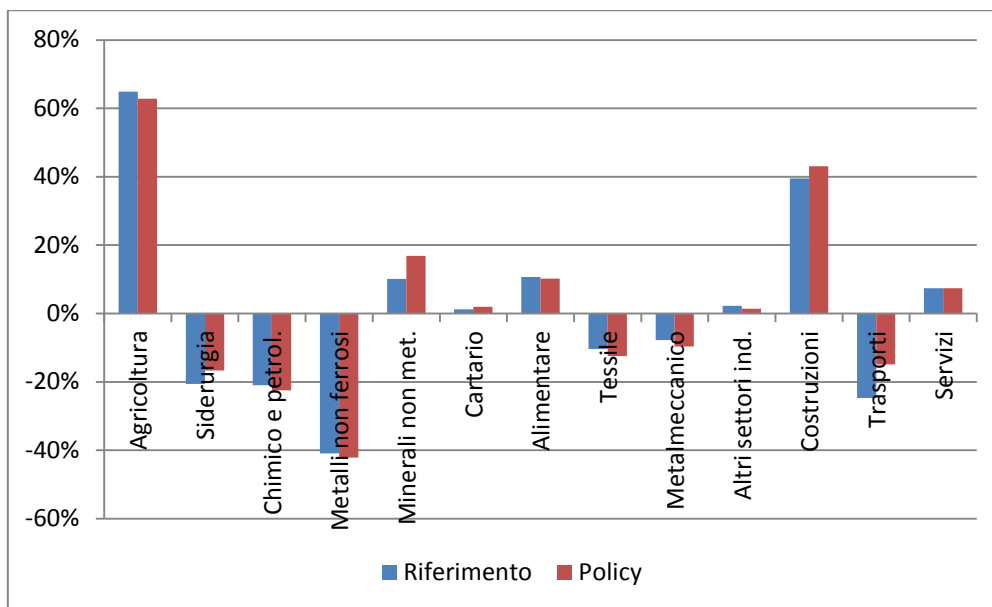


Figura 14 – Variazioni % occupazione settoriale al 2030 (mln 2011 USD, 2011=100)

La Figura 15 riporta la composizione dell'occupazione al 2030 nello scenario di policy, che rispetto al 2011 mostrerebbe un rilevante aumento nel settore servizi (61% del totale nel 2011) e, in minor misura, nell'agricoltura (2% nel 2011), mentre dovrebbe contrarsi nei settori metalmeccanico e chimico e petrolchimico (rispettivamente 12% e 3% nel 2011). Il dato quindi, ad eccezione del trend nell'agricoltura, è in linea con quanto già osservato per il valore aggiunto.

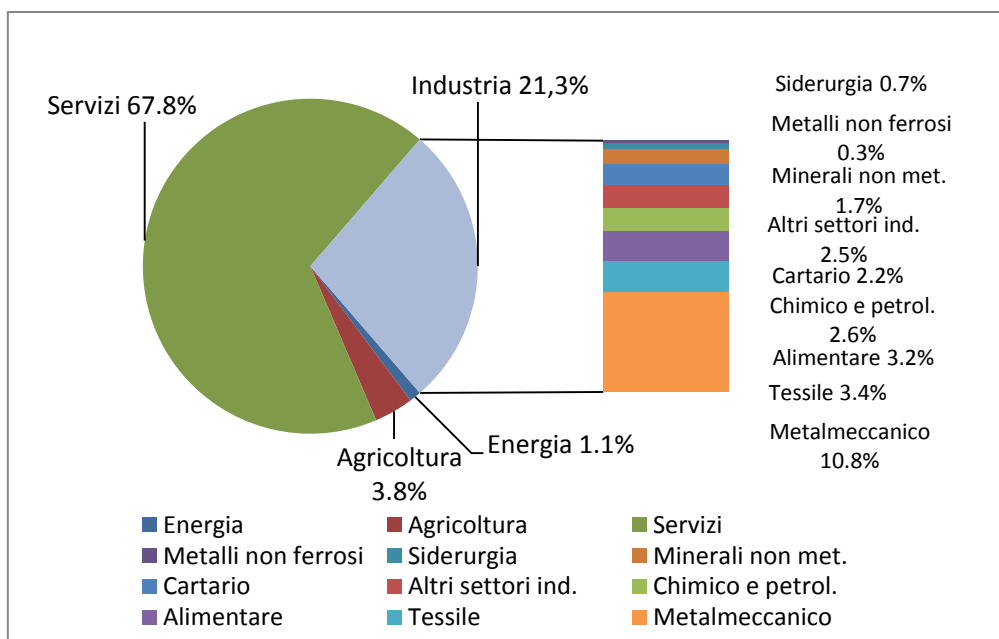


Figura 15 – Composizione dell'occupazione al 2030 nello scenario di policy (%)

Commercio internazionale

Nel modello GDyn-E i flussi commerciali sono determinati dal meccanismo dei vantaggi comparati, e la diversa intensità degli obiettivi di decarbonizzazione, in particolare tra il nostro Paese – e l’UE in generale – ed economie emergenti come la Cina, può dare luogo a fenomeni di perdita di competitività. E’ necessario inoltre tener conto del fatto che il modello macroeconomico, per come è strutturato, non è adatto a fornire una rappresentazione dettagliata della penetrazione delle diverse tecnologie energetiche, e per questa ragione potrebbe sovrastimare i potenziali impatti negativi sulla competitività nazionale.

La Figura 16 mostra, infatti, come nello scenario di policy le esportazioni italiane dovrebbero contrarsi, rispetto al livello del 2011, ad eccezione dell’agricoltura e dell’alimentare (in media il calo è del 20%). L’andamento dell’import nello scenario di policy risulterebbe invece crescente in tutti i settori, eccezion fatta per l’agricoltura (Figura 17).

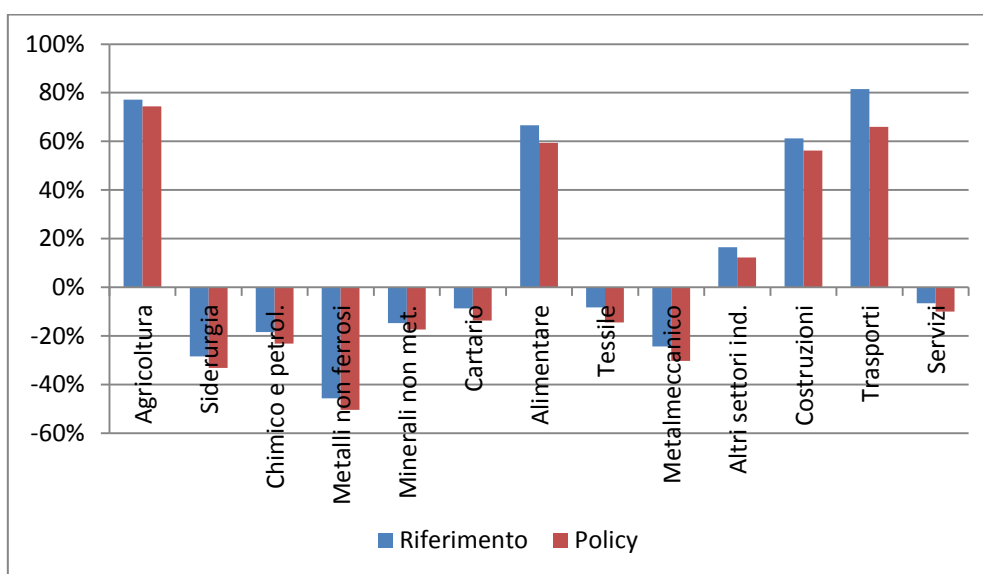


Figura 16 – Variazioni % export settoriale al 2030 (mln 2011 USD, 2011=100)

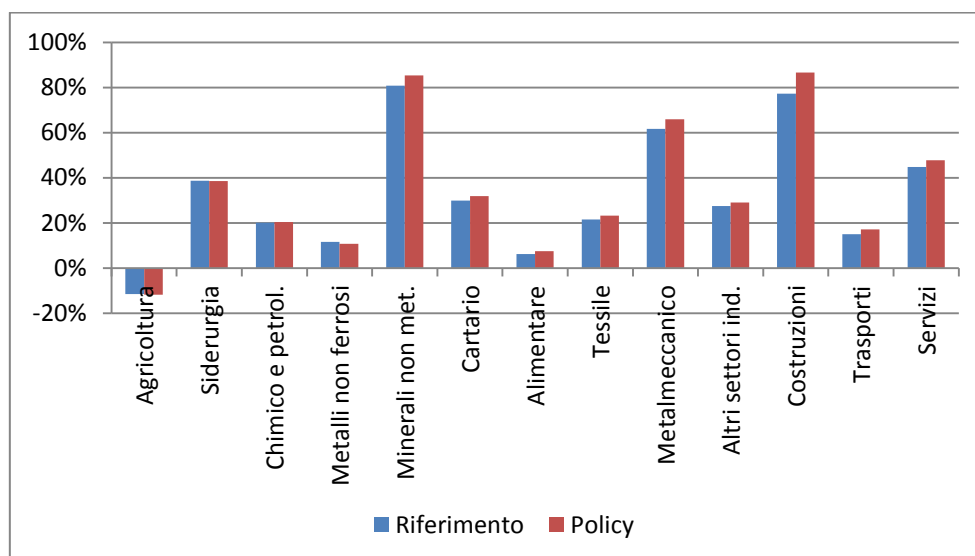


Figura 17 – Variazioni % import settoriale al 2030 (mln 2011 USD, 2011=100)

Una visione più completa degli impatti sul commercio internazionale è fornita dall'esame della bilancia commerciale, il cui saldo risulta negativo sia nello scenario di riferimento che in quello di policy nei tre quinquenni considerati (Figura 18). Il peggioramento osservabile nello scenario di policy è riconducibile agli impatti appena descritti su import ed export, e sintetizza la perdita di competitività internazionale che investe alcuni settori industriali della nostra economia.

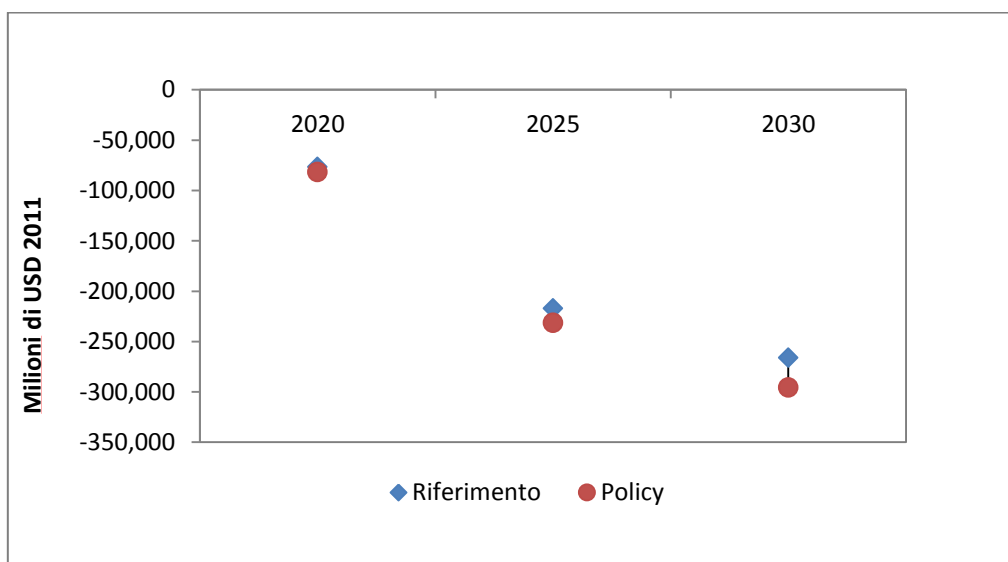


Figura 18 – Saldo netto della bilancia commerciale (Milioni di USD 2011)

In particolare, esaminando le esportazioni nette settoriali esse appaiono interessate da variazioni negativo nello scenario di policy rispetto a quello di riferimento, con una diminuzione più rilevante nei settori tessile, cartario, minerali non metalliferi e metalmeccanico (Figura 19). Le esportazioni nette settoriali possono essere esaminate anche verso i specifici partner commerciali, rilevanti per il nostro Paese: guardando al resto dell'UE, alla Cina e agli USA, esse mostrerebbero un trend in generale contrazione.

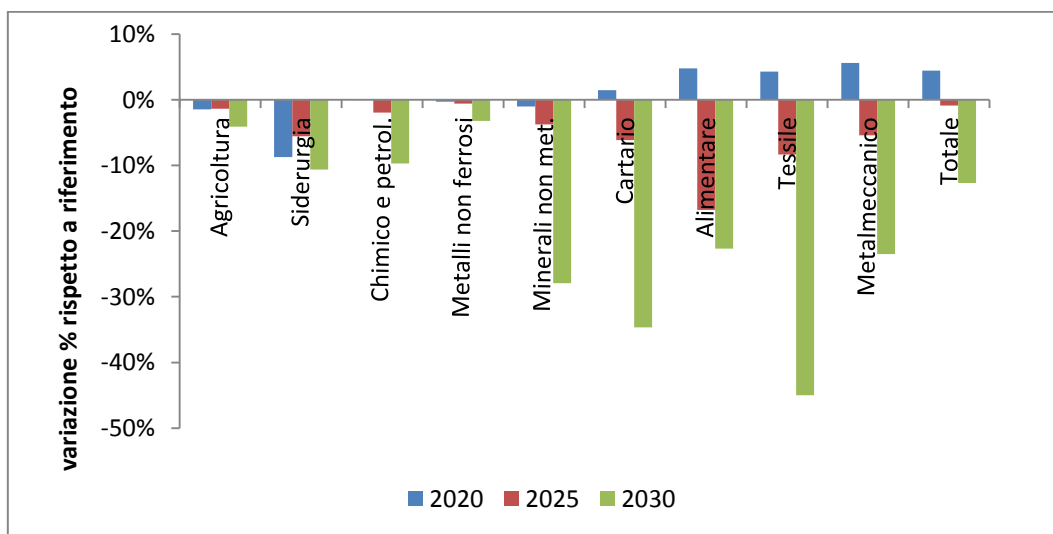


Figura 19 – Variazione % esportazioni nette settoriali (mln USD 2011)

Nella Tabella 5 si analizzano le variazioni dei principali partner in import e export del nostro Paese nello scenario di policy rispetto a quello di riferimento. Esaminando i principali Paesi partner dell'Italia per provenienza delle importazioni, emerge un progressivo migliore posizionamento della Cina, a spese di Germania e resto dell'UE15. Diversamente, i principali paesi partner in export, mostrerebbero l'assenza di sostanziali variazioni per quanto riguarda il resto dell'UE15 in prima posizione, e alcuni riposizionamenti tra Germania, resto dell'OCSE, Francia ed EU13.

IMPORT					
	2011	2020		2030	
		<u>Riferimento</u>	<u>Policy</u>	<u>Riferimento</u>	<u>Policy</u>
1°	REU15	REU15	REU15	Cina	Cina
2°	Germania	Germania	Germania	Resto del Mondo	REU15
3°	Resto del Mondo	Cina	Cina	REU15	Germania
4°	Francia	Resto del mondo	Francia	Germania	EU13
5°	EU13	Francia	EU13	EU13	ROECD

EXPORT					
	2011	2020		2030	
		<u>Riferimento</u>	<u>Policy</u>	<u>Riferimento</u>	<u>Policy</u>
1°	REU15	REU15	REU15	REU15	REU15
2°	Germania	Germania	Resto dell'OCSE	Resto del Mondo	Resto dell'OCSE
3°	FRA	Resto del Mondo	Germania	Germania	Germania
4°	EU13	EU13	EU13	Francia	Francia
5°	USA	Francia	Francia	EU13	EU13

Tabella 5 – Principali partner italiani in import ed export

Può infine essere esaminato il ranking tra i Paesi esportatori per i cinque settori chiave italiani, nell'ordine rappresentati da: metalmeccanico, servizi, chimico e petrolchimico, tessile e alimentare (Tabella 6). Per effetto degli obiettivi di decarbonizzazione, il nostro paese rischierebbe una perdita di posizione nel tranne che nell'alimentare, dove tra 2011 e 2030 recupererebbe due posizioni (da 12° a 10°).

Ranking mondiale export metalmeccanico			
	2011	2020	2030
1°	Resto dell'OCSE	Cina	Cina
2°	Cina	Resto dell'OCSE	Resto dell'OCSE
3°	Germania	USA	USA
4°	USA	Germania	ASEAN
5°	Resto dell'UE15	ASEAN	Resto del mondo
6°	ASEAN	Resto del mondo	Germania
7°	Resto del mondo	Resto dell'UE15	Messico
8°	UE13	UE13	UE13
9°	Francia	Francia	Resto dell'UE15
10°	Italia	Italia	India
11°	Messico	Regno Unito	OPEC
12°	Regno Unito	India	Francia
13°	Spagna	Messico	Regno Unito
14°	OPEC	OPEC	Italia
15°	India	Spagna	Spagna
16°	Brasile	Brasile	Brasile
17°	Sudafrica	Russia	Sudafrica
18°	Russia	Sudafrica	Russia

Ranking mondiale export chimico e petrolchimico			
	2011	2020	2030
1°	Resto dell'UE15	Resto dell'OCSE	Resto dell'OCSE
2°	Resto dell'OCSE	Resto dell'UE15	Resto del mondo
3°	USA	USA	Resto dell'UE15
4°	Germania	Germania	Cina
5°	Cina	Cina	USA
6°	Resto del mondo	Resto del mondo	ASEAN
7°	ASEAN	ASEAN	OPEC
8°	Francia	OPEC	Germania
9°	OPEC	Francia	India
10°	Regno Unito	Regno Unito	UE13
11°	UE13	UE13	Francia
12°	Italia	India	Regno Unito
13°	Spagna	Italia	Italia
14°	India	Russia	Spagna
15°	Russia	Spagna	Russia
16°	Messico	Brasile	Messico
17°	Brasile	Messico	Sudafrica
18°	Sudafrica	Sudafrica	Brasile

Ranking mondiale export tessile			
	2011	2020	2030
1°	Cina	Cina	Cina
2°	Resto del mondo	Resto del mondo	Resto del mondo
3°	Resto dell'OCSE	Resto dell'OCSE	ASEAN
4°	Italia	ASEAN	Resto dell'OCSE
5°	ASEAN	Italia	Italia
6°	Resto dell'UE15	Resto dell'UE15	Resto dell'UE15
7°	Germania	Germania	Germania
8°	India	India	India
9°	UE13	USA	USA
10°	OPEC	UE13	OPEC
11°	USA	Francia	UE13
12°	Francia	OPEC	Francia
13°	Spagna	Spagna	Spagna
14°	Regno Unito	Regno Unito	Regno Unito
15°	Messico	Brasile	Messico
16°	Brasile	Messico	Brasile
17°	Sudafrica	Russia	Russia
18°	Russia	Sudafrica	Sudafrica

Ranking mondiale export alimentare			
	2011	2020	2030
1°	Resto dell'UE15	Resto dell'UE15	Resto dell'OCSE
2°	Resto del mondo	Resto dell'OCSE	Resto dell'UE15
3°	Resto dell'OCSE	Resto del mondo	Resto del mondo
4°	ASEAN	USA	USA
5°	USA	Francia	Germania
6°	Germania	ASEAN	Francia
7°	Francia	Germania	ASEAN
8°	Brasile	Brasile	Cina
9°	UE13	UE13	UE13
10°	Cina	Cina	Brasile
11°	OPEC	Italia	Regno Unito
12°	Italia	Regno Unito	Italia
13°	Spagna	Spagna	Spagna
14°	Regno Unito	OPEC	OPEC
15°	India	Russia	Russia
16°	Messico	India	Messico
17°	Russia	Messico	India
18°	Sudafrica	Sudafrica	Sudafrica

Tabella 6 – Ranking rispetto ai suoi principali settori di export nazionale

Guardando all'andamento delle importazioni energetiche (Figura 20), nello scenario di policy si osserva una riduzione rispetto allo scenario di riferimento (11% in termini fisici e 9% in valore), pari al 4% per il petrolio e al 15% per il gas al 2030 in termini fisici. Tali riduzioni però non si tradurrebbero in un miglioramento dell'indicatore di dipendenza energetica fossile, in quanto la diminuzione dei consumi primari osservabile nel 2030 - indotta dal contenimento delle emissioni e dall'efficienza energetica - è superiore a quella delle importazioni di prodotti energetici.

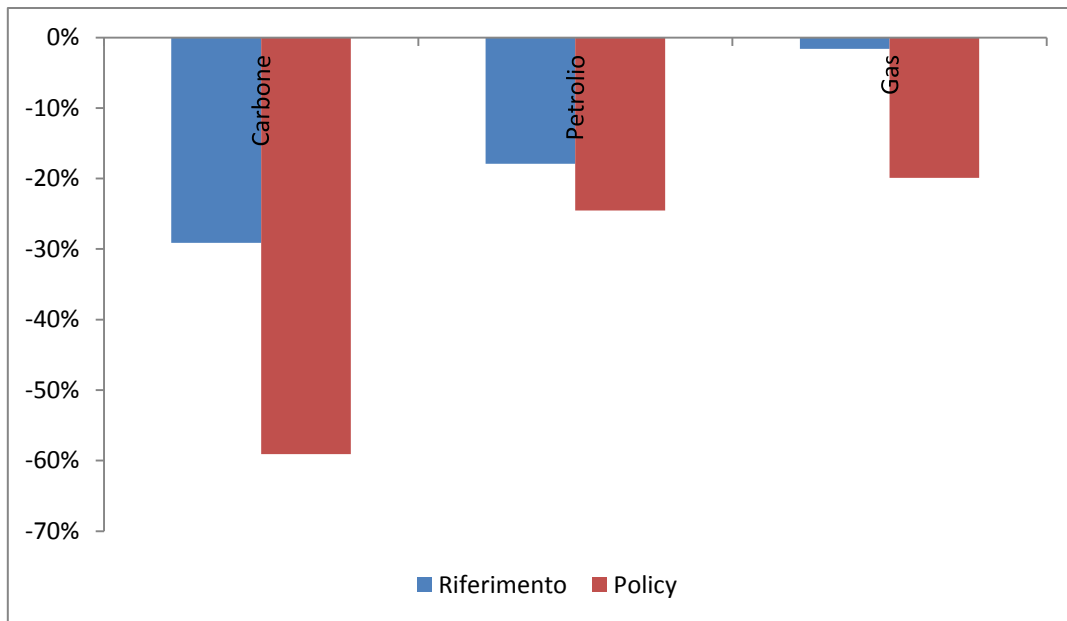


Figura 20 - Variazioni % import energia al 2030 (mln 2011 USD, 2011=100)

4 Conclusioni

Il modello GDyn-E, nella sua attuale configurazione (Martini, 2016b) fornisce una buona soluzione per l'analisi macroeconomica di scenari elaborati con il modello energetico TIMES-Italia, secondo un approccio di uso congiunto o *soft linkage*.

I risultati del modello GDyn-E devono sempre essere considerati come estremi di un range che definisce i possibili impatti. Un'analisi di sensitività ad alcuni parametri chiave, come ad esempio l'elasticità di sostituzione tra capitale ed energia o tra diverse fonti energetiche, potrebbe in questo senso fornire utili spunti e migliorare l'affidabilità dei risultati.

Occorre precisare come nell'analisi con GDyn-E permangano alcuni limiti. Il principale, per quanto riguarda la modellazione macroeconomica, è forse rappresentato dall'ipotesi di piena occupazione, che potrebbe essere rimossa opportunamente modificando la struttura in termini di variabili esogene ed endogene del modello. Dal punto di vista della modellazione energetica, i limiti più consistenti sembrano essere costituiti dall'incompleta rappresentazione delle fonti energetiche rinnovabili, con l'esclusione dell'energia prodotta dalle rinnovabili termiche, e dalla possibilità di rappresentare le politiche energetiche soltanto in modo stilizzato. Infine, relativamente alla metodologia, si potrebbe migliorare l'approccio attuale di uso congiunto tra il modello energetico e macroeconomico chiudendo il *feedback loop* tra TIMES-Italia e GDyn-E e arrivando così a un vero e proprio *linkage* tra i due.

Bibliografia

- Agenzia Internazionale dell'Energia (2016) "Energy Technology Perspectives", <http://www.iea.org/etp2016/>
- Aguilar, A. (2015) "Chapter 6 – Macroeconomic Data" in GTAP 9 Data Base Documentation, https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=4823
- Antimiani, A., Costantini, V., Martini, C., Salvatici, L., Tommasino M. C. (2013) "Assessing alternative solutions to carbon leakage," *Energy Economics*, 36, p. 299-311.
- Antimiani, A., Costantini, V., Martini, C., Palma, A. Tommasino, M. C. (2013), "The GTAP-E: Model Description and Improvements", in *The Dynamics of Environmental and Economic Systems. Innovation, Environmental - - Policy and Competitiveness*. (Eds) Costantini V. and Mazzanti, pp. 3-24. Springer Book, Netherlands.
- Burniaux, J.-M., Truong, T.P., (2002), "GTAP-E an energy-environmental version of the GTAP model", GTAP Technical Papers, No. 16. Center for Global Trade Analysis, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA 47907-1145.
- CNR, ENEA, FEEM, ISPRA, SNPA, PoliMi, RSE (2017), "Decarbonizzazione dell'Economia Italiana – Scenari di sviluppo del sistema energetico nazionale", *in pubblicazione*.
- Costantini, V., Paglialunga, E. (2014) "Elasticity of substitution in capital-energy relationships: how central is a sector-based panel estimation approach?", SEEDS Working Paper Series, 13/2014.
- Commissione Europea (2016), Winter Package, <http://ec.europa.eu/energy/en/news/commission-proposes-new-rules-consumer-centred-clean-energy-transition>
- Commissione Europea (2016), Proposta di revisione della Direttiva Efficienza Energetica, COM(2016)761 final, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1485938766830&uri=CELEX:52016PC0761>
- Commissione Europea (2016), Proposta di revisione della Direttiva ETS, COM/2016/0482 final, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52016PC0482>
- Gaeta, M., Baldissara, B. (2011), "Il modello energetico Times-Italia. struttura e dati versione 2010", ENEA-RT-2011-09, http://opac22.bologna.enea.it/RT/2011/2011_9_ENEA.pdf
- Golub, A. (2013), "Analysis of climate policies with GDyn-E", GTAP Technical Paper 4292, Center for Global Trade Analysis, Department of Agricultural Economics, Purdue University, <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/6632.pdf>
- Golub, A. (2006) "Projecting the Global Economy to 2025: A Dynamic General Equilibrium Approach" Ph.D. dissertation, Purdue University,
- Hertel, T. W., e Tsigas, M. E. (1997), "Structure of GTAP", https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=413
- Hertel, T.W. (1997), "Global Trade Analysis: Modeling and applications", Cambridge University Press, Cambridge, https://www.gtap.agecon.purdue.edu/products/gtap_book.asp
- Ianchovichina, E., McDougall, R. (2001), "Theoretical Structure of Dynamic GTAP", GTAP Technical Paper No. 17, Center for Global Trade Analysis, Department of Agricultural Economics, Purdue University, https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=480

- Markandya, A., Antimiani A., Costantini V., Martini C., Palma, A., Tommasino M.C. (2015), “Analyzing Trade-offs in International Climate Policy Options: The Case of the Green Climate Fund”, *World Development*, 74, 93–107.
- Martini, C. (2016a) “A Macroeconomic evaluation of energy efficiency objectives using GDyn-E ITA model”, Rapporto Tecnico Enea 2/2016, <http://openarchive.enea.it/bitstream/handle/10840/7376/RT-2016-02-ENEA.pdf?sequence=1>
- Martini, C. (2016b) Building a new version of GDyn-E ITA including renewable electricity”, 2016, Rapporto Tecnico Enea 19/2016, <http://openarchive.enea.it/bitstream/handle/10840/7890/RT-2016-19-ENEA.pdf?sequence=1>
- Martini, C., Tommasino, M.C. (2011), “GTAP-DYN drivers for the EFDA-TIMES Model”, Final Report EFDA Reference: WP 10-SER-ETM-7, <https://www.euro-fusion.org/wpcms/wp-content/uploads/2014/12/WP10-SER-ETM-7.pdf>
- Martini, C., Tommasino, M.C. (2010) “General equilibrium modelling for energy policies evaluation: the GTAP-E ITA model”, ENEA-RT-2010-10, http://opac22.bologna.enea.it/RT/2010/2010_10_ENEA.pdf.
- McDougall, R, Golub, A, (2009), “GTAP-E: A Revised Energy-Environmental Version of the GTAP Model”, GTAP Research Memorandum 15, https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=2959
- Narayanan, G., B., Aguiar, A., McDougall, R. (2012), “Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 8 Data Base”, Center for Global Trade Analysis, Purdue University, https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v8/v8_doco.asp
- Narayanan, B., Dimaran, B., McDougall, R. (2012), “GTAP 8 Data Base Documentation - Chapter 2: Guide to the GTAP Data Base”, https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=3777
- Peters, J. C. (2015), “The GTAP-Power Data Base: Disaggregating the Electricity Sector in the GTAP Data Base”, *Journal of Global Economic Analysis*, 1, 209-250.
- Peters, J. C. (2016), “GTAP-E-Power: An electricity-detailed extension of the GTAP-E model”, GTAP 2016 Conference Paper, GTAP Resource #4891, https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=4891
- Truong, P. T., Lee, H.-L. (2003), “GTAP-E Model and the ‘new’ CO₂ Emissions Data in the GTAP/EPA Integrated Data Base – Some Comparative Results”, GTAP Resource #1296, Center for Global Trade Analysis, Purdue University, https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=1296
- Viridis, M. R., Alloisio, I., Borghesi, S., De Cian, E., Gaeta, M., Martini, C., Parrado, R., Tommasino, M. C., Verdolini, E. (2015), “Pathways to Deep Decarbonisation in Italy”, <http://deepdecarbonization.org/countries/#italy>
- Walmsley, T. L., Anguiar, A.H., Narayanan B. (2012), “Introduction to the Global Trade Analysis Project and the GTAP Data Base”, GTAP Working Paper No. 67, Center for Global Trade Analysis, Purdue University, https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=3965

Appendice

Macro - settori	Settori	Emissioni CO ₂		
		ETS	Non ETS	
Energia	Carbone (prod.)	0,0		
	Petrolio (prod.)	0,8		
	Derivati petrolio e carbone (prod.)	14,5		
	Gas naturale (prod. e distr.)	2,1		
	Elettricità da fe fossili	116,7		
	Elettricità da fe rinnovabili	1,2		
	Elettricità da nucleare	0,0		
	Tramissione e distribuzione		0,0	
Industria	Chimico e petrolchimico	4,8		
	Siderurgia	9,0		
	Metalli non ferrosi	1,4		
	Minerali non metallici	13,1		
	Cartario	2,4		
	Alimentare		3,6	
	Tessile		1,6	
	Metalmeccanico		5,6	
	Altri settori industriali		0,4	
Servizi e altri settori	Agricoltura		6,7	
	Aviazione	18,2		
	Trasporto marittimo		5,1	
	Altri trasporti		83,2	
	Costruzioni		1,0	
	Servizi			22,1
				0,0
	Residenziale		75,9	
	Totale	184,2	205,3	
	Quote	47%	53%	

Tabella A1 - Emissioni per settori ETS e non (Mton di CO₂, 2011)

ENEA
Servizio Promozione e Comunicazione
www.enea.it

Stampa: Laboratorio Tecnografico ENEA - C.R. Frascati
settembre 2017