

# Controllo delle emissioni climalteranti e catene globali del valore

Valeria Costantini, Ilaria Fusacchia, Elena Paglialunga, Luca Salvatici\*

- *L'entrata in vigore dell'Accordo di Parigi il 4 novembre del 2016 ha sancito per i paesi firmatari un radicale cambio di passo nella progettazione delle politiche di contenimento e riduzione delle emissioni di gas serra responsabili del cambiamento climatico.*
- *L'Unione europea (UE), in vista della prossima scadenza al 2023 per la presentazione di una nuova strategia di mitigazione delle emissioni climalteranti, ha approvato l'11 dicembre del 2019 il piano di transizione energetica sostenibile noto come European Green Deal, con l'obiettivo ultimo di arrivare al 2050 con una completa decarbonizzazione dell'economia europea.*
- *Il piano di mitigazione delle emissioni dell'UE, sebbene molto ambizioso, rimane un pacchetto di interventi su scala unilaterale, che consente di ridurre i gas serra su scala globale solo del 3,4%.*
- *I molteplici legami economici e commerciali, che a livello mondiale sono rappresentati dalla stretta integrazione dei processi produttivi dei diversi paesi nelle catene globali del valore, impediscono all'azione unilaterale dell'UE di trasformarsi in un'azione efficace per ridurre le emissioni globali: il carbon leakage riduce l'impatto della politica dell'UE di quasi un terzo.*

JEL Classification: C68, F18, Q54.

Keywords: cambiamento climatico, catene globali del valore, commercio internazionale, politica di mitigazione, Unione europea.

---

\* valeria.costantini@uniroma3.it, Università degli Studi Roma Tre; ilaria.fusacchia@uniroma3.it, Università degli Studi Roma Tre; elena.paglialunga@uniurb.it, Università degli Studi di Urbino 'Carlo Bo'; luca.salvatici@uniroma3.it, Università degli Studi Roma Tre. La ricerca è stata svolta dal Centro Ricerche Economiche e Sociali grazie a un finanziamento del Directorate General for Trade - European Commission nell'ambito del progetto "Trade and Climate Change: an Energy-Economic Modelling Approach", Contract No SI2.819836 DGTRADE-CRES'. Valeria Costantini ed Elena Paglialunga ringraziano inoltre il sostegno finanziario del Ministero per l'Università e la Ricerca, Programma PRIN (Progetti di ricerca di Rilevante Interesse Nazionale) 2017 per il progetto "Innovation for Global Challenges in a Connected World: the Role of Local Resources and Socio-Economic Conditions". Ringraziamo Alessandro Antimiani, Pierre Ecochard e Lars Nilsson per commenti e suggerimenti.

## 1. Introduzione

Il 4 novembre del 2016 è entrato in vigore l'Accordo di Parigi, ultima tappa del lungo percorso iniziato a Rio de Janeiro nel 1992 per la realizzazione di un sistema di decisioni su scala internazionale con obiettivo ultimo quello di preservare i servizi ecosistemici su scala globale e garantire la stabilità del clima. Dopo il sostanziale fallimento delle azioni intraprese sotto l'egida del Protocollo di Kyoto nel periodo 2008-2012, nel modificare le traiettorie di emissioni di gas climalteranti la comunità internazionale, informata dai rapporti prodotti dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ha intrapreso uno nuovo *round* di negoziati per arrivare a definire come obiettivo di lungo periodo di contenere l'aumento della temperatura globale ad 1.5°C rispetto ai valori pre-rivoluzione industriale.

Volendo quantificare gli sforzi necessari da parte dei paesi firmatari per il contenimento delle emissioni di gas serra responsabili del cambiamento climatico, tale obiettivo corrisponde in pratica ad una rapida riduzione delle emissioni per tutti i paesi fino ad una quasi completa decarbonizzazione da raggiungere entro il 2050. Simile obiettivo rappresenta una sfida tecnologica e organizzativa senza precedenti che dovrà necessariamente coinvolgere tutta la società. Per dare una quantificazione del radicale cambio di passo tra quanto concordato durante i negoziati di Kyoto e quanto promesso in quelli di Parigi, nel primo caso lo sforzo di abbattimento delle emissioni da raggiungere in 4 anni era di circa l'8% per l'Unione europea (UE) rispetto ai livelli di emissione del 1990, mentre nel secondo caso l'obiettivo sarà di ridurre in 30 anni del 95% circa le emissioni rispetto ai livelli del 1990.

L'UE rappresenta uno dei maggiori protagonisti degli ultimi negoziati sul clima, e ad oggi annovera uno tra i più ambiziosi piani di mitigazione discussi tra i membri della Convenzione delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC, *United Nations Framework Convention on Climate Change*), organo centrale che coordina i negoziati. In tal senso, in vista della prossima scadenza al 2023 per la presentazione della strategia di mitigazione delle emissioni climalteranti in seno alla UNFCCC, l'UE ha approvato l'11 dicembre del 2019 il piano di transizione energetica sostenibile noto come *European Green Deal* (EGD), con l'obiettivo ultimo di arrivare al 2050 con una completa decarbonizzazione dell'economia europea.

Il piano dell'UE, sebbene molto ambizioso, non sarà però sufficiente ad assicurare una sostanziale riduzione delle emissioni su scala globale fino a che resterà un pacchetto di interventi realizzato solo su scala unilaterale. L'assenza di un'azione coordinata con i paesi classificati come grandi emettitori, tra cui gli Stati Uniti, la Cina e gli altri paesi emergenti, determina infatti il prevalere di meccanismi di mercato distorsivi che possono ridurre, o al limite anche vanificare, gli sforzi attuati dai paesi più virtuosi.

I molteplici legami economici e commerciali, che su scala mondiale sono rappresentati dall'integrazione dei processi produttivi dei diversi paesi nelle catene globali del valore (GVC, *Global Value Chains*), impediscono infatti ad un'azione di mitigazione unilaterale di trasformarsi in una effettiva riduzione delle emissioni su scala globale.

Da un punto di vista dell'analisi economica, tali meccanismi sono ben sintetizzati nel dibattito sul *carbon leakage* che da qualche anno accompagna la discussione politica sull'efficacia degli strumenti di mitigazione applicati nell'UE, primo fra tutti il meccanismo di scambio dei permessi ad inquinare, noto come *Emissions Trading Scheme* (ETS)<sup>1</sup>.

In sintesi, il costo di abbattimento necessario per rispettare una politica ambientale stringente conduce le imprese a una minore competitività sui mercati internazionali. Allo stesso tempo, la riduzione della domanda interna di beni energetici comporta una riduzione dei prezzi sul mercato mondiale, riduzione proporzionale alla grandezza del paese che realizza la politica ambientale. Se il paese rappresenta una quota rilevante del consumo energetico mondiale, come è il caso dell'UE, l'impatto sui prezzi può essere tale da indurre gli altri paesi ad aumentare i propri consumi di fonti fossili, con un conseguente aumento delle emissioni mondiali.

Scopo di questo articolo è quantificare se e in che misura una politica climatica unilaterale da parte dell'UE che rispetti gli obiettivi di decarbonizzazione dell'Accordo di Parigi, possa determinare come effetto collaterale negativo un generale aumento delle emissioni prodotte all'estero e, in particolare, un aumento delle emissioni contenute nei prodotti importati dall'UE stessa. Simile effetto porterebbe come risultato finale ad un mero spostamento del luogo di origine delle emissioni necessarie per soddisfare la domanda di consumo interna all'UE, non associato solo al luogo di produzione del bene finale acquistato dal consumatore europeo, ma dislocato lungo tutta la catena del valore. Si tratta di un risultato di notevole rilevanza anche e soprattutto per il dibattito in corso per l'introduzione di un *Carbon Border Adjustment Mechanism* (CBAM)<sup>2</sup> che compensi il costo di abbattimento sostenuto dalle imprese europee: una simile tariffa, infatti, risulterebbe proporzionale al contenuto di emissioni del bene importato, ma colpirebbe solamente l'ultimo anello della catena produttiva senza incidere sulle fasi più a monte.

---

<sup>1</sup> Antimiani A., Costantini V., Kuik O., Paglialunga E., "Mitigation of Adverse Effects on Competitiveness and Leakage of Unilateral EU Climate Policy: an Assessment of Policy Instruments", *Ecological Economics*, 2016, 128, pp. 246-259.

<sup>2</sup> Proposta legislativa presentata dalla DG TAXSUD il 4 marzo del 2020, disponibile al link: <https://op.europa.eu/it/publication-detail/-/publication/062f76c4-5e06-11ea-b735-01aa75ed71a1/language-en>.

Nel prossimo paragrafo ci occuperemo della letteratura che analizza i legami tra commercio internazionale e cambiamento climatico (e relative politiche) utilizzando modelli di equilibrio generale calcolabili (CGE, *Computable General Equilibrium*). Il paragrafo 3 descrive il modello GTAP-EiT (*Emissions embedded in Trade*) utilizzato in questo lavoro. Si tratta di un modello CGE che modifica la versione dinamica del *Global Trade Analysis Project* (GTAP) per consentire, da un lato, una più accurata rappresentazione delle politiche energetiche e ambientali e, dall'altro, di calcolare la quota di emissioni associata alle diverse fasi produttive dei beni commerciali. Il paragrafo 4 descrive la base dati utilizzata in termini di paesi e regioni, l'orizzonte temporale (2050) e le ipotesi alla base delle simulazioni svolte. Il paragrafo 5 analizza i risultati evidenziando l'impatto delle politiche di mitigazione dell'UE rispetto allo scenario di riferimento delle simulazioni e presenta sia risultati tradizionali per questo tipo di analisi, come il livello delle emissioni e la specializzazione produttiva, sia una quantificazione delle emissioni contenute nei flussi di commercio e la loro attribuzione a ciascun paese sulla base del ruolo svolto nelle catene globali del valore. Il paragrafo 6 trae alcune conclusioni che mettono in relazione i risultati ottenuti con il dibattito sull'opportunità di introdurre un CBAM.

## 2. Emissioni climalteranti e catene globali del valore

I rapporti tra commercio, cambiamento climatico e politiche per contrastarlo sono complessi e comportano relazioni di causalità reciproca. La letteratura su questi temi è enorme e in continua evoluzione anche a seguito della crescente attenzione posta dal dibattito pubblico<sup>3</sup>. In questa sede ci concentreremo, come accennato in precedenza, sul *carbon leakage* che rappresenta un elemento centrale dell'attuale dibattito sulle interconnessioni tra le politiche sul cambiamento climatico e il commercio internazionale.

Le difficoltà emerse durante i negoziati internazionali sul cambiamento climatico, innanzi tutto per raggiungere un accordo e poi per metterlo in pratica, hanno reso particolarmente urgente analizzare il problema del *carbon leakage*, dal momento che alla beffa per il mancato raggiungimento dell'obiettivo in termini di riduzione delle emissioni complessive si aggiunge poi il danno per la perdita di competitività sia sul mercato interno, sia sui mercati internazionali. Il *carbon leakage* si realizza attraverso tre canali principali:

---

<sup>3</sup> Per una recente rassegna si veda Cappelli F., Consoli D.F.S., Costantini V., Fusacchia I., Marin G., Nardi C., Paglialonga E., Salvatici L., *International Trade and Climate Change. Part of the Problem or Part of the Solution?*, RomaTre-Press, Roma, 2021.

- effetto localizzazione derivante dal trasferimento della produzione ad alta intensità energetica in paesi con regolamentazioni più lasche;
- effetto sostituzione derivante dal maggior consumo di energia fossile indotto dalla diminuzione dei prezzi internazionali;
- effetto reddito che si materializza nelle possibili variazioni della domanda.

Il risultato finale è quindi teoricamente ambiguo e le stesse verifiche empiriche hanno prodotto risultati contrastanti. La maggior parte delle analisi *ex post* non rileva risultati statisticamente significativi per quanto riguarda possibili effetti negativi derivanti dall'ETS dell'UE<sup>4</sup>. La maggior parte delle simulazioni *ex ante* prevedono, invece, effetti globali rilevanti con percentuali di *carbon leakage* che variano tra il 5% e il 30%<sup>5</sup>. Questi studi mostrano che gli effetti sulla competitività variano significativamente a seconda delle specificità nazionali e del tipo di emissioni<sup>6</sup>: i settori ad alta intensità energetica sono prevedibilmente quelli maggiormente colpiti da un aumento del costo del carbonio (dovuto alla tassazione o a un meccanismo di permessi negoziabili)<sup>7</sup> ma ciò sarebbe dovuto alla riduzione dei consumi piuttosto che alla rilocalizzazione delle imprese<sup>8</sup>.

Le analisi *ex ante* basate su modelli di equilibrio generale globali sono il modo migliore per prevedere gli impatti climatici ed economici derivanti da politiche che perseguono l'obiettivo di evitare il cambiamento climatico su scala planetaria. Nella maggior parte dei casi le simulazioni vengono svolte con modelli di equilibrio generale calcolabile come GTAP<sup>9</sup>, MIRAGE<sup>10</sup>, ENV-Linkage<sup>11</sup> e GEM-E3<sup>12</sup>. Vi sono, però, anche esempi di analisi svolte con i "nuovi modelli quan-

<sup>4</sup> Per una rassegna di questi studi si veda Verde S.F., "The Impact of the EU Emissions Trading System on Competitiveness and Carbon Leakage: the Econometric Evidence", *Journal of Economic Surveys*, 2020, 34 (2), pp. 320-343.

<sup>5</sup> Un esempio di analisi *ex ante* è rappresentato da Tan X., Liu Y., Cui J., Su B., "Assessment of Carbon Leakage by Channels: An Approach Combining CGE Model and Decomposition Analysis", *Energy Economics*, 2018, 74, pp. 535-545.

<sup>6</sup> Ghosh M., Luo D., Siddiqui M.S. Zhu Y., "Border Tax Adjustments in the Climate Policy Context: CO2 Versus Broad-Based GHG Emission Targeting", *Energy Economics*, 2012, 34, pp. 154-167.

<sup>7</sup> Mattoo A., Subramanian A., van der Mensbrugge D., Jianwu H., "Reconciling Climate Change and Trade Policy", *Policy Research Working Paper* n. 5123, 2009, The World Bank.

<sup>8</sup> Burniaux J.M., Chateau J., Duval, R., "Is there a Case for Carbon-Based Border Tax Adjustment?", *OECD Economics Department Working Papers* n. 794, 2010.

<sup>9</sup> Hertel T., Tsigas M., "Structure of GTAP", in Hertel T.W. (ed.), *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*, Cambridge University Press, 2000.

<sup>10</sup> Fontagné L., Fouré J., Ramson M.P., "MIRAGE-e: a General Equilibrium Long-Term Path for World Economy", *CEPII Working Papers* n. 39, 2013.

<sup>11</sup> Dellink R., Hwang H., Lanzi E., Chateau J., "International Trade Consequences of Climate Change", *OECD Trade and Environment Working Papers* n. 1, 2017.

<sup>12</sup> Capros P., Van Regemorter D., Paroussos P., Karkatsoulis P., "GEM-3E Model Documentation", *JRC Technical Report*, European Commission, 2013.

titativi del commercio internazionale”<sup>13</sup>, ovvero studi che simulano gli stessi scenari mettendo a confronto i risultati di modelli diversi<sup>14</sup>.

Nel loro insieme, nonostante le numerose differenze nelle assunzioni teoriche e nei dati utilizzati, i risultati delle simulazioni svolte con i diversi modelli concordano nel ritenere che gli impatti negativi del cambiamento climatico saranno maggiori nella seconda metà del XXI secolo e sono probabilmente sottovalutati a causa dell’omissione nei modelli del verificarsi di eventi meteorologici estremi. Dal punto di vista delle politiche, in tutti i casi il *carbon leakage* risulta essere negativamente correlato al numero di paesi che partecipano agli accordi per ridurre le emissioni<sup>15</sup>.

Gli studi che utilizzano un modello più simile a quello utilizzato in questo lavoro sono quelli basati sul GTAP-E, ovvero una versione del modello GTAP modificata per tenere conto del ruolo dell’energia sia come fattore di produzione che come principale fonte di emissioni di gas a effetto serra<sup>16</sup>. Le simulazioni svolte con il modello GTAP-E evidenziano che l’ETS fa sì che le imprese europee ad alta intensità energetica perdano quote di mercato sia sul mercato interno che su quello di esportazione. La competitività sul mercato interno può migliorare a seguito dell’introduzione di un meccanismo di compensazione alla frontiera che tassi le importazioni sulla base del contenuto di carbonio, in linea con la proposta dell’applicazione del CBAM, ma l’efficacia di tale meccanismo nella riduzione del *carbon leakage* è piuttosto limitata<sup>17</sup>.

Rispetto a questa letteratura l’analisi presentata nei paragrafi successivi consente una valutazione più approfondita e articolata dei flussi di emissione incorporati negli scambi internazionali in quanto tiene conto della maggior complessità derivante dalla diffusione delle catene globali del valore. Le GVC hanno modificato in modo significativo la natura e la struttura del commercio internazionale con ripercussioni importanti sulla distribuzione delle emissioni. La principale conseguenza derivante dalla frammentazione dei processi produttivi su scala globale è l’enorme aumento degli scambi di prodotti inter-

<sup>13</sup> Si veda, ad esempio, Gouel C., Laborde D., “The Crucial Role of International Trade in Adaptation to Climate Change. *NBER Working Paper n. W25221*, 2018.

<sup>14</sup> Nel caso di van Meijl H., Havlik P., Lotze-Campen H., Stehfest E., Witzke P., Domínguez I.P., Bodirsky B.L., van Dijk M., Doelman J., Fellmann T., Humpenöder F., Koopman J.F., Müller C., Popp A., Tabeau A., Valin H., van Zeist W.J., “Comparing Impacts of Climate Change and Mitigation on Global Agriculture by 2050”, *Environmental Research Letters*, 2018, 13 (6) 064021, cinque modelli (IMAGE, CAPRI, MAGPIE, MAGNET e GLOBIOM) vengono utilizzati per simulare gli stessi scenari socioeconomici combinati con varie ipotesi per quanto riguarda le politiche di mitigazione delle emissioni.

<sup>15</sup> Böhringer C., Fischer C., Rosendahl, K.E., “Cost-Effective Unilateral Climate Policy Design: Size Matters”, *Discussion Paper n. 11-34*, 2011, Resources for the Future, Washington, DC.

<sup>16</sup> Burniaux J.M., Troung P.T., “GTAP-E: an Energy Environmental Version of the GTAP Model”, *GTAP Technical Report n. 6 Revised*, 2002.

<sup>17</sup> Antimiani A., Costantini V., Martini C., Salvatici L., Tommasino C., “Assessing Alternative Solutions to Carbon Leakage”, *Energy Economics*, 2013, 36, pp. 299-311.

medi, che rappresentano oltre il 50% del commercio internazionale di beni, con parti e componenti che attraversano più volte le frontiere. Ciò implica un aumento diretto delle emissioni di gas serra legate al commercio, poiché per arrivare sul mercato di consumo finale si richiede un maggior uso dei servizi di trasporto, settore questo con un grande impatto ambientale. Per fornire una quantificazione del fenomeno, nel 1995 il costo ambientale delle catene di produzione internazionali era 1,4 volte superiore rispetto a quello generato da filiere nazionali, nel 2009 tale valore era salito a 1,8<sup>18</sup>.

Il commercio internazionale consente di separare le scelte di produzione da quelle di consumo e di conseguenza le emissioni generate dalle attività produttive di un paese non sono necessariamente le stesse richieste per soddisfarne i consumi. La contabilità delle emissioni basata sui consumi integra quella basata sulla produzione escludendo le emissioni associate alle esportazioni e includendo quelle generate nella produzione dei beni importati<sup>19</sup>.

Per calcolare le emissioni direttamente e indirettamente generate nella produzione di un bene, è necessario disporre di tavole input-output riconducibili a tre tipologie che si differenziano per il trattamento dei beni intermedi importati e le ipotesi relative alla tecnologia utilizzata.

In primo luogo, modelli a regione singola con tecnologia nazionale: le emissioni associate al consumo totale, comprensivo di consumi pubblici e privati oltre agli investimenti, tengono conto delle emissioni incorporate nelle importazioni ipotizzando che siano prodotte con la stessa tecnologia che caratterizza la produzione nazionale.

In secondo luogo, modelli bilaterali che applicano le intensità di emissione sulla base di tecnologie di produzione differenziate dei principali partner commerciali: se tutti i paesi utilizzassero la medesima tecnologia e registrassero quindi la stessa intensità di emissione, la differenza tra emissioni basate sulla produzione ed emissioni basate sul consumo corrisponderebbe al saldo della bilancia commerciale. In tal senso, le differenze nelle tecnologie fanno sì che il commercio internazionale possa portare a una diminuzione (aumento) delle emissioni complessive se le importazioni utilizzano processi di produzione con una minore (maggiore) intensità di emissione rispetto ai beni prodotti sul mercato interno.

Nel complesso, la letteratura esistente concorda sul fatto che, con l'aumento degli scambi, aumenti anche la quantità di emissioni di

---

<sup>18</sup> Meng B., Peters G.P., Wang Z., Li M., "Tracing CO<sub>2</sub> Emissions in Global Value Chains", *Energy Economics*, 2018, 73, pp. 24-42.

<sup>19</sup> Peters G.P., Hertwich E.G., "CO<sub>2</sub> Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy". *Environmental Science and Technology*, 2008, 4 (5), pp. 1401-1407.

gas serra associate ai volumi di commercio. Tuttavia, i risultati denotano una notevole variabilità tra paesi e nel tempo, e una notevole fonte di incertezza deriva dall'utilizzo di tavole input-output basate su dati monetari per approssimare i flussi fisici di interesse. Ciò presuppone una proporzionalità tra flussi monetari e fisici che implica inevitabilmente un margine di errore<sup>20</sup>.

Infine, i modelli multilaterali che, oltre ad applicare tecnologie differenziate, distinguono tra importazioni destinate al consumo finale e importazioni di beni intermedi necessari per la produzione destinata sia al consumo interno, sia ai mercati esteri<sup>21</sup>. Questi modelli sono quindi in grado di scomporre le emissioni consumate in ciascun paese attribuendole *pro quota* a ciascun paese che partecipa alla filiera di produzione. Si tratta di un'estensione necessaria per una corretta stima delle emissioni contenute nei flussi di commercio in quanto la presenza di GVC fa sì che il saldo della bilancia commerciale non rappresenti un indicatore degli effetti del commercio internazionale sulle emissioni neanche ipotizzando un'unica tecnologia di produzione: le esportazioni di un paese, infatti, contengono anche valore aggiunto (e quindi emissioni) prodotto all'estero. L'identificazione dei paesi e dei settori che contribuiscono maggiormente alle emissioni dovute al commercio internazionale è quindi potenzialmente assai rilevante per la definizione di politiche commerciali, quali il CBAM, volte a mitigare i cambiamenti climatici<sup>22</sup>.

Il recente sviluppo di tavole input-output globali come EORA<sup>23</sup>, EXIOPOL<sup>24</sup>, EXIOBASE<sup>25</sup>, GTAP-MRIO<sup>26</sup> o WIOD<sup>27</sup> consente una valutazione più sistematica del contenuto di carbonio dei flussi commerciali bilaterali tenendo conto delle GVC. I risultati indicano che il

<sup>20</sup> Fino al 40% nel caso dell'Australia secondo le stime di Lenzen M., "Primary Energy and Greenhouse Gases Embodied in Australian Final Consumption: an Input-Output Analysis", *Energy Policy*, 1998, 26 (6), pp. 495-506.

<sup>21</sup> Per un'introduzione a questi modelli si vedano Miller R.E., Blair P.D., *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. Cambridge University Press, 2009.

<sup>22</sup> Wiedmann T., Barrett J., "Policy-Relevant Applications of Environmentally Extended MRIO Databases - Experiences from the UK", *Economic Systems Research*, 2013, 25 (1), pp. 143-156.

<sup>23</sup> Lenzen M., Moran D., Kanemoto K., Geschke A., "Building Eora: a Global Multi-Region Input-Output Database at High Country and Sector Resolution", *Economic Systems Research*, 2013, 25 (1), pp. 20-49.

<sup>24</sup> Tukker A., Poliakov E., Heijungs R., Hawkins T., Neuwah F., Rueda-Cantucho J.M., Giljum S., Moll S., Oosterhaven J., Bouwmeester M., "Towards a Global Multi-Regional Environmentally Extended Input-Output Database", *Ecological Economics*, 2009, 68, pp. 1928-1937.

<sup>25</sup> Stadler K., Wood R., Bulavskaya T., Sodersten C.J., Simas M., Schmidt S., Usubiaga A., Acosta-Fernandez J., Kuenen J., Bruckner M., Giljum S., Lutter S., Merciai S., Schmidt J.H., Theurl M.C., Plutzar C., Kastner T., Eisenmenger N., Erb K.H., de Koning A., Tukker A., "EXIOBASE 3 Developing a Time Series of Detailed Environmentally Extended Multi-Regional Input-Output Tables", *Journal of Industrial Ecology*, 2018, 22 (3), pp. 502-515.

<sup>26</sup> Peters G.P., Hertwich E.G., "CO<sub>2</sub> Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy", *Environmental Science and Technology*, 2008, 4 (5), pp. 1401-1407.

<sup>27</sup> Timmer M.P., Dietzenbacher E., Los B., Stehrer R., de Vries G.J., "An Illustrated User Guide to the World Input-Output Database: the Case of Global Automotive Production", *Review of International Economics*, 2015, 23, pp. 575-605.



commercio internazionale è responsabile di una quota delle emissioni totali che varia tra il 10% e il 24%: un confronto tra le due banche dati più comunemente utilizzate, WIOD e GTAP-MRIO, ha evidenziato che quattro paesi (USA, Cina, Russia e India) e tre settori (elettricità, raffinazione e settore dei trasporti terrestri) spiegano da soli quasi il 50% delle differenze nei risultati<sup>28</sup>.

L'inclusione delle GVC nella valutazione degli impatti ambientali evidenzia che non è possibile analizzare le implicazioni del commercio internazionale sulla base dei soli flussi bilaterali, e consente di andare oltre la tradizionale dicotomia produttori-consumatori nella definizione degli obiettivi per la riduzione delle emissioni. Gli esportatori, infatti, non sono responsabili di tutte le emissioni associate all'attività di produzione in quanto utilizzano beni intermedi prodotti nelle fasi a monte della catena produttiva. Sta, quindi, emergendo una letteratura che utilizza i nuovi dati per contribuire alla definizione di politiche coerenti con la ripartizione della responsabilità delle emissioni tra tutti i partecipanti alle catene globali<sup>29</sup>. Il modello GTAP-EiT utilizzato in questo studio contribuisce a questo filone di letteratura combinando lo stato dell'arte per quanto riguarda la modellizzazione dei legami tra economia e ambiente con una scomposizione che consente una valutazione accurata delle emissioni legate alle GVC.

### 3. Un modello dinamico di simulazione: GTAP-EiT

La simulazione degli effetti della politica climatica unilaterale da parte dell'UE è effettuata con un modello CGE dinamico ottenuto unendo diverse versioni del modello GTAP. In particolare, combinando la versione dinamica con quella energetico-ambientale, e introducendo un modulo per la scomposizione dei flussi commerciali lungo le catene globali del valore, il modello consente di valutare le implicazioni di politiche energetiche e climatiche tenendo conto dei complessi legami economici e commerciali caratterizzanti il mercato globale.

#### 3.1 LA COMPONENTE AMBIENTALE E IL COMMERCIO IN VALORE AGGIUNTO

I modelli CGE globali si caratterizzano per la loro natura multi-settoriale e multi-regionale e si basano su una dettagliata banca dati, nella forma di matrici input-output, che descrive i processi di produzione, consumo e scambi commerciali distinguendo tra aggregati regionali, settori economici e beni prodotti, fattori primari e diverse tipologie di agenti economici (tipicamente imprese, famiglie e settore pubbli-

<sup>28</sup> Arto I., Rueda-Cantucho J.M., Peters G.P., "Comparing the GTAP-MRIO and WIOD Databases for Carbon Footprint Analysis", *Economic Systems Research*, 2014, 26 (3), pp. 327-353.

<sup>29</sup> Si veda, ad esempio, Dietzenbacher E., Cazcarro I., Arto I., "Towards a More Effective Climate Policy on International Trade", *Nature Communications*, 2020, vol. 11, 1130.

co). Si aggiungono poi un insieme di parametri comportamentali (o elasticità) che regolano come le quantità offerte e vendute reagiscono a variazioni dei prezzi, e un sistema di equazioni che descrive le relazioni tra le variabili contenute nelle tavole input-output.

Nel presente lavoro, la dinamica del modello GTAP (GDyn)<sup>30</sup>, che tiene conto in modo ricorsivo degli effetti dell'accumulazione del capitale sull'evoluzione dei sistemi economici, è stata integrata sotto tre aspetti per meglio rappresentare la componente energetica e ambientale.

È stato innanzi tutto introdotto il modulo ambientale tratto dalla versione statica del modello, GTAP-E<sup>31</sup>. Tale modulo include informazioni a livello settoriale e regionale relative alla produzione, al consumo e agli scambi commerciali di energia fossile (carbone, gas naturale, petrolio e altri prodotti petroliferi, e l'elettricità prodotta a partire da queste fonti), a cui si aggiungono i dati relativi alle emissioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) derivanti dalla combustione delle fonti energetiche. Di conseguenza, nella funzione di produzione viene introdotta la possibilità di sostituzione tra gli input energetici, e nel modello è inserito un set di equazioni che consente di simulare politiche climatiche e misure di mitigazione basate su meccanismi di mercato, come ad esempio l'introduzione di una tassa sulla quantità di CO<sub>2</sub> emessa o un mercato internazionale di scambio dei permessi ad emettere (come nel caso dell'ETS).

In secondo luogo, è stato introdotto il modulo GTAP-E-Power che arricchisce la rappresentazione del sistema energetico con dati dettagliati sulle fonti energetiche utilizzate per la produzione, distribuzione e trasmissione dell'energia elettrica<sup>32</sup>. In particolare, oltre ad introdurre una differenziazione tra energia *base-load* e *peak-load*, questo modulo consente di scomporre l'elettricità prodotta da fonti fossili e rinnovabili. Queste ultime sono distinte tra energia idroelettrica, eolica, solare, e un aggregato residuale che include biodiesel, biogas, geotermia, calore, rifiuti industriali, biocombustibili solidi e liquidi ed energia mareomotrice<sup>33</sup>.

Infine, il modello è stato integrato con i dati GTAP-NCO<sub>2</sub> relativi alle emissioni di 24 tipologie di gas climalteranti diversi dall'anidride car-

<sup>30</sup> Ianchovichina E., Walmsley T., "Dynamic Modeling and Applications for Global Economic Analysis", Purdue University, West Lafayette, Global Trade Analysis Project (GTAP), 2012.

<sup>31</sup> McDougall R., Golub A., "GTAP-E: a Revised Energy-Environmental Version of the GTAP Model", GTAP Research Memorandum n. 15, Purdue University, West Lafayette, Global Trade Analysis Project (GTAP), 2009.

<sup>32</sup> Peters J.C., "GTAP-E-Power: an Electricity-Detailed Economy-Wide Model", *Journal of Global Economic Analysis*, 2016, 1 (2), pp. 156-187. Chepeliev M., "GTAP-Power 10 Data Base: a Technical Note", *GTAP Research Memorandum* n. 31, 2020, Purdue University, West Lafayette, Global Trade Analysis Project (GTAP).

<sup>33</sup> Bassi A., Costantini V., Sforza G., "Systemic Modelling Tools to Assess the Green Economy Transition", *Eionet Report - ETC/WMGE* n. 2, 2020.

bonica, tra cui CH<sub>4</sub> (metano), N<sub>2</sub>O (ossidi di azoto), e gas fluorurati (o gas-F), associati ai processi di consumo e produzione e all'utilizzo di fattori primari, come terra e capitale<sup>34</sup>.

Il modello fin qui descritto, oltre a integrare le quattro componenti citate (GDyn, GTAP-E, GTAP-E-Power e GTAP-NCO<sub>2</sub>) è stato ulteriormente arricchito da un modulo originale utile per la riallocazione delle emissioni tra le varie fasi della produzione sulla base della frammentazione del sistema commerciale mondiale<sup>35</sup>. Nello specifico, le interdipendenze settoriali tra paesi sono usate per quantificare le emissioni dirette e indirette per produrre un bene. I moltiplicatori globali che ne derivano, combinati con i coefficienti di emissione che caratterizzano i diversi settori nei vari paesi, sono usati per definire i legami input-output globali in termini ambientali.

Su questa base, il modello GTAP-EiT calcola due principali indicatori di emissione. Il primo riguarda le emissioni climalteranti contenute nel commercio internazionale e coglie per ciascun bene commerciato tutte le emissioni generate a monte, e dovute alla produzione degli input intermedi usati nel processo produttivo. A partire dalle informazioni sul paese e sul settore di origine delle emissioni, è possibile scomporre le emissioni associate ai flussi commerciali in emissioni "domestiche", generate all'interno del paese che esporta sia direttamente (dal settore di esportazione) sia indirettamente (da tutti gli altri settori domestici collocati a monte del settore che esporta), ed emissioni "estere", generate in tutti paesi che forniscono input intermedi al paese esportatore.

Il secondo indicatore guarda invece al lato del consumo e definisce le emissioni climalteranti che avvengono nei diversi paesi a causa del consumo finale in un certo paese. Le emissioni contenute nella domanda finale sono dunque distinte tra emissioni domestiche, riconducibili ai processi produttivi interni di beni destinati al consumo domestico, ed emissioni estere, attribuibili ai paesi esteri che producono i beni consumati direttamente o indirettamente (a seguito di ulteriori fasi di trasformazione) nel paese di riferimento.

Tenere conto del ruolo del commercio internazionale e delle catene globali del valore nell'attribuzione delle emissioni ai paesi produttori e consumatori permette sia di misurare gli effetti di una politica in termini di riduzione delle emissioni in fase di produzione e di consumo, sia di quantificarne le conseguenze in termini di *carbon leakage* non solo in relazione al rapporto commerciale bilaterale nell'ultima fase di produzione, ma risalendo a tutte le modifiche nella catena di produzione mondiale.

---

<sup>34</sup> Irfanoglu Z., van der Mensbrugge D., "Non-CO<sub>2</sub> Documentation V9", Purdue University, West Lafayette, Global Trade Analysis Project (GTAP), 2016.

<sup>35</sup> Antimiani A., Fusacchia I., Salvatici L., "GTAP-VA: an Integrated Tool for Global Value Chain Analysis", *Journal of Global Economic Analysis*, 2018, 3 (2), pp. 69-105.

### 3.2 DATI E AGGREGAZIONE

In questo studio si utilizza la più recente versione della banca dati GTAP (GTAP10) contenente i dati economici ed energetici nonché i parametri per l'anno di riferimento 2014. A partire dalle 141 regioni e 65 settori disponibili in GTAP10, si è operata un'aggregazione regionale e settoriale che riflette i principali accordi commerciali e gli aspetti rilevanti delle politiche energetiche e climatiche dell'UE. In particolare, sono stati definiti 33 aggregati regionali, in cui l'UE è rappresentata come una regione unica che include i 27 paesi membri (il Regno Unito costituisce una regione a sé per tener conto dei recenti avanzamenti nel processo della Brexit), mentre gli altri aggregati regionali distinguono alcune delle principali economie mondiali (ad esempio, Cina e Stati Uniti) e i partner commerciali europei inclusi in accordi preferenziali (tra cui il GSP, *Generalized System of Preferences*, il GSP-plus, e l'accordo EBA, *Everything But Arms*). L'aggregazione delle attività produttive è definita sulla base di 36 settori e consente di distinguere il settore energetico, i settori manifatturieri inclusi nell'ETS europeo, quelli ad alta e bassa intensità tecnologica, l'agricoltura, i trasporti e i servizi pubblici e privati.

## 4. Scenari

La valutazione di una politica di mitigazione effettuata tramite una simulazione *ex ante* basata su un modello di tipo CGE consiste nella comparazione dei risultati derivanti da due scenari, di cui uno rappresenta la proiezione delle dinamiche economiche e ambientali a livello mondiale in assenza di interventi aggiuntivi rispetto a quelli esistenti al momento della valutazione, e l'altro include tutti gli elementi necessari per simulare l'attuazione della strategia di politica sotto osservazione. Per brevità i due scenari sono di solito identificati come scenario di riferimento e scenario di *policy*, e nel nostro esercizio sono indicati con gli acronimi BAU (*Business As Usual*) e PA 1.5° (*Paris Agreement*). Data la natura dinamica del modello CGE qui utilizzato, entrambi gli scenari si basano sull'evoluzione futura delle variabili esogene prevista dalle principali organizzazioni internazionali.

### 4.1 LO SCENARIO DI RIFERIMENTO

Lo scenario di riferimento si basa sulle proiezioni delle seguenti variabili considerate esogene: la popolazione, la forza lavoro (divisa tra alta e bassa competenza), il prodotto interno lordo (PIL) e le emissioni climalteranti incluse nella banca dati GTAP (a esclusione delle emissioni associate con le attività produttive del settore agricolo e dell'allevamento).

La costruzione dello scenario consiste in due fasi successive. La prima si avvale dei dati storici prodotti dalle fonti statistiche ufficiali per

arrivare a rappresentare il periodo corrente (in questo caso il 2020) partendo dall'anno di riferimento (2014). La seconda fase consiste nel costruire shock di cambiamento per le variabili sopra citate a partire dal dato 2020 sulla base delle proiezioni disponibili in letteratura.

I dati necessari per la prima fase riguardano: popolazione e PIL (da Eurostat e Banca mondiale); forza lavoro (da ILO, Organizzazione Internazionale del Lavoro, e dal CEPII, Centre d'Études Prospectives et d'Informations Internationales); emissioni di CO<sub>2</sub>-equivalenti e produzione di energia elettrica suddivisa tra fossile e rinnovabile (da Eurostat e dai bilanci energetici della IEA, International Energy Agency).

I dati necessari per la costruzione delle proiezioni dal 2020 al 2050 riguardano: popolazione (dati dell'UNDESA, United Nations Department of Economic and Social Affairs: scenario di riferimento intermedio); PIL (scenario di riferimento del modello del JRC)<sup>36</sup>; forza lavoro (dati calcolati con la metodologia CEPII)<sup>37</sup>. Gli stessi dati relativi all'UE (con l'esclusione del Regno Unito) sono stati poi calibrati con i risultati prodotti dal modello economico energetico della Commissione europea PRIMES<sup>38</sup>. Data la natura dell'esercizio di valutazione, è stata posta particolare attenzione sulla calibrazione delle emissioni climalteranti e sulla ripartizione della produzione di energia elettrica tra fonti fossili e rinnovabili. Ciò consente di rispettare le dinamiche di progresso tecnico previste dai modelli energetici di tipo *bottom-up*, come ad esempio il guadagno di efficienza tecnica nell'uso dell'energia che è previsto pari a circa l'1% annuo, ovvero la riduzione dei costi di produzione di elettricità dalle fonti rinnovabili<sup>39</sup>.

## 4.2 LO SCENARIO DI MITIGAZIONE DELLE EMISSIONI CLIMALTERANTI NELLA STRATEGIA EUROPEA

A partire dall'ultimo anno disponibile in cui lo scenario di riferimento e lo scenario di *policy* coincidono (nel nostro caso il 2020), sono costruiti degli shock che in questo caso rappresentano l'applicazione degli obiettivi di decarbonizzazione contenuti nell'EGD dell'UE.

Lo scenario prevede che, a partire dal 2025, l'UE sia l'unica regione ad applicare uno strumento di contenimento delle emissioni basato su un meccanismo di mercato che garantisce il rispetto di un obiettivo intermedio di abbattimento nel 2030 pari al 55% in meno rispetto ai livelli

<sup>36</sup> Keramidis K., Tamba M., Diaz-Vazquez A.R., Wen X., Chai Q., Van Dingenen R., Tchung-Ming S., Krause J., Vandyck T., Soria-Ramirez A., Fu S., Weitzel M., "Global Energy and Climate Outlook 2019. Electrification for the Low-Carbon Transition", Joint Research Centre (JRC), 2020, Sevilla.

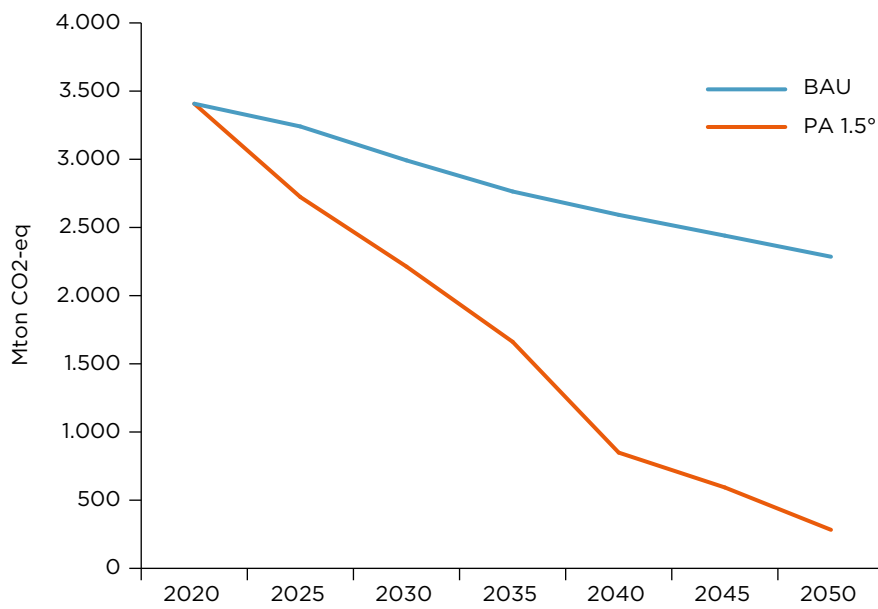
<sup>37</sup> Fouré J., Bénassy-Quéré A., Fontagné L., "Modelling the World Economy at the 2050 Horizon", *Economics of Transition*, 2013, 21 (4), pp. 617-654.

<sup>38</sup> European Commission, "EU Reference Scenario 2016", Bruxelles.

<sup>39</sup> Data l'incertezza relativa agli effetti della crisi determinata dalla pandemia da Covid-19, l'anno 2020 e le proiezioni fino al 2050 non includono i potenziali effetti della pandemia in termini di riduzione della crescita economica e delle emissioni.

del 1990, e un obiettivo finale al 2050 di una quasi completa decarbonizzazione. Nello scenario di *policy*, quindi, le emissioni sono trattate come esogene solo per l'UE, mentre le emissioni delle altre regioni del modello sono determinate in modo endogeno, così come il PIL di tutti i paesi. Il profilo di emissioni dell'UE corrispondente ai target di abbattimento per ciascun periodo è ottenuto dalle simulazioni del modello PRIMES in modo da arrivare al 2050 con un livello di emissioni climalteranti pari al 90% in meno rispetto allo scenario di riferimento. Si tratta di una riduzione coerente con lo scenario più stringente dell'Accordo di Parigi che consentirebbe di contenere l'incremento della temperatura entro 1.5°C così come rappresentato in Figura 1<sup>40</sup>.

**Figura 1 - Scenari di emissioni climalteranti dell'UE**



Fonte: nostre elaborazioni su risultati modello.

Da notare che in questo esercizio di valutazione lo strumento economico applicato alle emissioni è una *carbon tax* che corrisponde al prezzo di equilibrio per ogni unità di CO2-eq in un ipotetico mercato di scambio dei permessi dove partecipano tutti i settori di tutti i paesi membri e dove le quote di emissioni sono inizialmente allocate

<sup>40</sup> L'obiettivo di completa decarbonizzazione per l'UE è basato anche sul contributo delle azioni di assorbimento del carbonio da parte delle attività forestali, che nel modello GTAP non sono presenti. Ciò spiega perché nel modello l'obiettivo di abbattimento è calibrato al 92% delle emissioni dello scenario di riferimento, con il restante 8% assorbito dai bacini di carbonio.

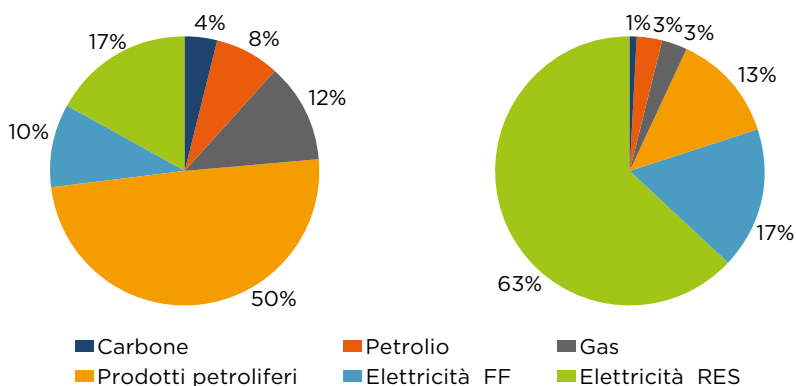
con un meccanismo d'asta. Il prezzo di equilibrio delle emissioni per la regione corrisponde esattamente all'effetto che avrebbe l'imposizione di una tassa Pigouviana omogenea per tutti i paesi dell'UE.

Infine, data la complessità degli strumenti di decarbonizzazione previsti dall'EGD, in questo scenario introduciamo anche i due pilastri dell'efficienza energetica e della rilevanza delle fonti rinnovabili nella composizione del mix energetico. In merito al primo pilastro, introduciamo un miglioramento dell'efficienza tecnica nell'uso dell'input energia sia nei settori produttivi e nei servizi, sia nei consumi residenziali da parte delle famiglie, tale da garantire il rispetto dell'obiettivo di guadagno di efficienza di circa il 32,5% al 2030 fino ad arrivare a oltre il 50% nel 2050. In merito al secondo pilastro, simuliamo un aumento della capacità produttiva da fonti rinnovabili nel settore dell'energia elettrica fino al raggiungimento del livello soglia pari a circa l'80% come determinato dai limiti tecnologici identificati dal modello PRIMES.

## 5. Risultati

Nell'UE la forte riduzione delle emissioni è raggiunta grazie all'incremento nei livelli di efficienza energetica e alle variazioni nel mix energetico che si combinano con l'adozione di un meccanismo di *carbon pricing*. In Figura 2 si riporta la composizione del mix energetico dell'UE mettendo a confronto gli scenari BAU e PA 1.5° al 2050. La variazione più rilevante è l'aumento della quota associata all'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili sul totale dei consumi energetici, che raggiunge il 63% nello scenario di *policy*. Più in generale, mentre nello scenario BAU l'elettricità prodotta da fonti fossili e rinnovabili costituisce il 27% del totale dei consumi (17% da rinnovabili e 10% da fossili), nello scenario PA 1.5° la quota sale all'80%.

**Figura 2 - Variazione nella composizione del mix energetico dell'UE al 2050**

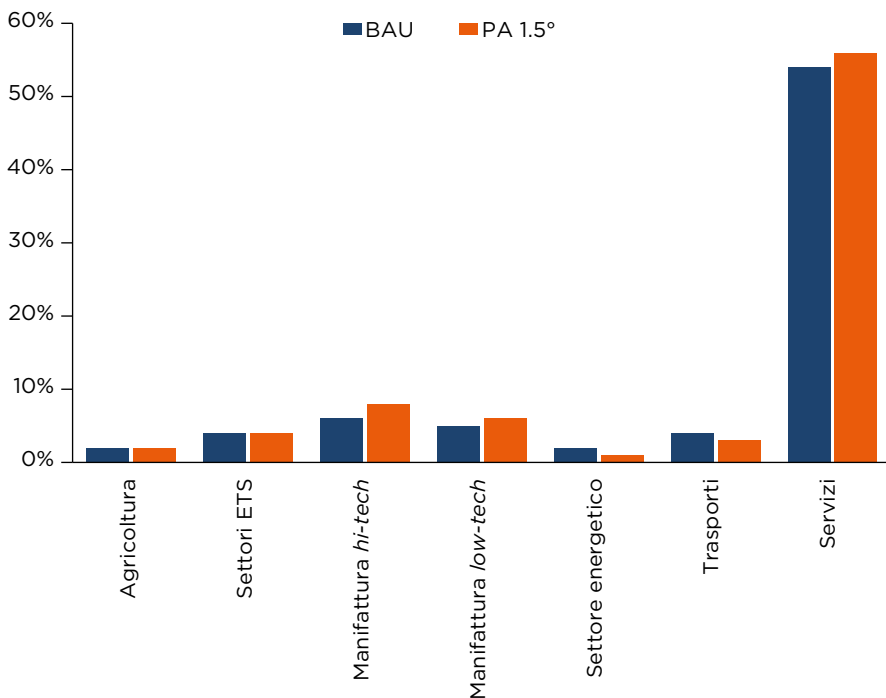


Fonte: nostre elaborazioni su risultati modello.

L'incremento del contributo del settore elettrico alla composizione del mix energetico europeo è diretta conseguenza della dinamica di decarbonizzazione, che comporta una forte contrazione nell'uso di tutti i combustibili fossili, e in particolare dei prodotti petroliferi la cui quota si riduce dal 50% nel BAU al 13% nel PA 1.5°.

Dal momento che il processo di transizione energetica coinvolge tutti i settori dell'economia, in Figura 3 si rappresenta la variazione nella specializzazione produttiva nell'UE al 2050 guardando alla quota di ogni settore sul totale regionale. A seguito dell'introduzione della politica unilaterale, si osserva un aumento della quota associata al settore dei servizi e alle attività manifatturiere ad alto contenuto tecnologico, e un incremento moderato della manifattura con più bassa intensità di capitale. D'altra parte, si riduce la quota associata alle attività a più alta intensità di energia, come i settori manifatturieri che rientrano tra quelli regolamentati dall'ETS, il settore energetico e quello dei trasporti.

**Figura 3 - Specializzazione produttiva dell'UE al 2050**

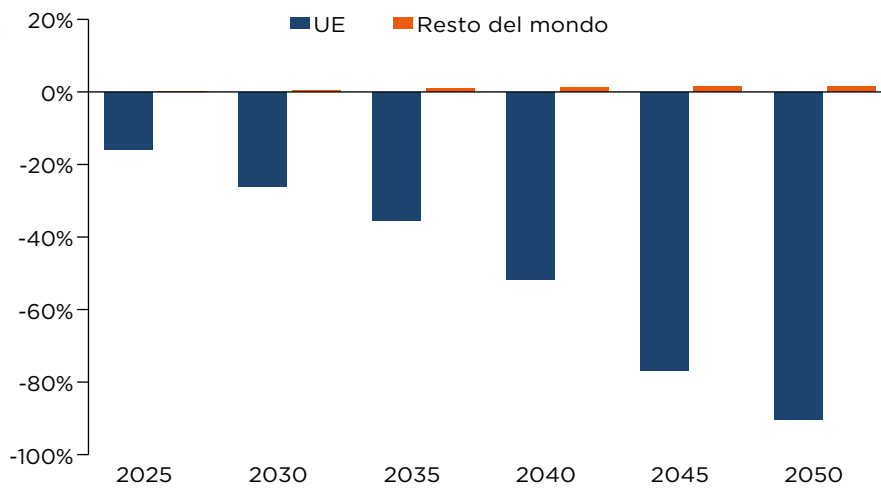


Fonte: nostre elaborazioni su risultati modello.



Dato lo scenario di *policy* simulato, in cui l'UE è l'unica regione ad introdurre una politica di abbattimento, è interessante verificare quale sia la variazione delle emissioni a livello globale. Le emissioni di tutte le altre regioni, essendo determinate in maniera endogena, rappresentano infatti la reazione del modello alla politica climatica unilaterale dell'UE. La Figura 4 mostra come, a fronte delle forti riduzioni registrate nell'UE rispetto allo scenario BAU (coerentemente con i target stringenti previsti dall'Accordo di Parigi), nel resto del mondo il livello delle emissioni aumenti. Nonostante la variazione in termini percentuali sia relativamente bassa (non superiore al 2%), in termini assoluti corrisponde al 2050 a quasi 600 Mton CO<sub>2</sub>-eq, e ad un tasso di *carbon leakage* pari a circa il 28%<sup>41</sup>. Questo porta a concludere, in linea generale, che vi sia la sostanziale incapacità di una politica climatica unilaterale, anche se molto ambiziosa e basata su una programmazione credibile, di incidere sull'andamento tendenziale delle emissioni climalteranti mondiali. Risultato questo tanto più valido quanto minore è il peso complessivo delle emissioni prodotte dal paese che adotta la politica e quanto maggiore è la percentuale di *carbon leakage*. Nel caso specifico qui analizzato, infatti, la riduzione di emissioni al 2050 su scala globale a seguito della piena realizzazione del processo di decarbonizzazione dell'UE è pari al -3,4% rispetto allo scenario tendenziale.

**Figura 4 - Variazione delle emissioni climalteranti (% rispetto al BAU)**



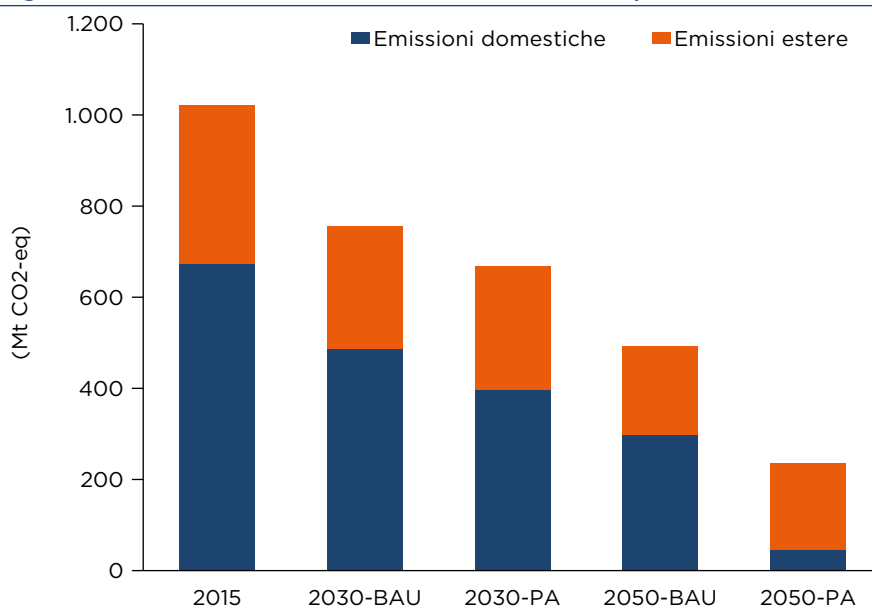
Fonte: nostre elaborazioni su risultati modello.

<sup>41</sup> La percentuale di *carbon leakage* è calcolata sulla base della differenza tra le emissioni nello scenario *policy* e quelle registrate nello scenario BAU. L'aumento delle emissioni nei paesi extra-UE è quindi messo in rapporto alla diminuzione delle emissioni prevista per l'UE.

Data l'elevata frammentazione del sistema produttivo lungo le GVC, risulta particolarmente interessante analizzare la riallocazione delle emissioni sulla base dei flussi di commercio internazionali. In particolare, in Figura 5 e Figura 6, si rappresenta come le emissioni contenute rispettivamente nelle esportazioni e nei consumi finali dell'UE si distribuiscono tra le componenti domestiche ed estere. In questo modo è possibile valutare l'impatto della politica unilaterale europea considerando gli scambi lungo tutte le fasi della catena del valore, le interdipendenze commerciali e settoriali, e il ruolo delle tecnologie nazionali in termini di coefficienti di emissione.

Nel caso delle emissioni contenute nelle esportazioni (Figura 5), al 2050 si registra una forte riduzione delle emissioni totali rispetto allo scenario BAU (-52%). Contestualmente, però, si modifica il contributo delle due componenti, con una redistribuzione in cui la quota associata alle emissioni estere aumenta. Al 2050, infatti, le emissioni generate in tutti i paesi al di fuori dell'UE per la produzione dei beni intermedi (quindi a monte della GVC) e poi inglobate nei prodotti esportati dalle imprese europee passano dal 40% del totale nel BAU all'81% nello scenario PA 1.5°.

**Figura 5 - Emissioni climalteranti contenute nelle esportazioni dell'UE**



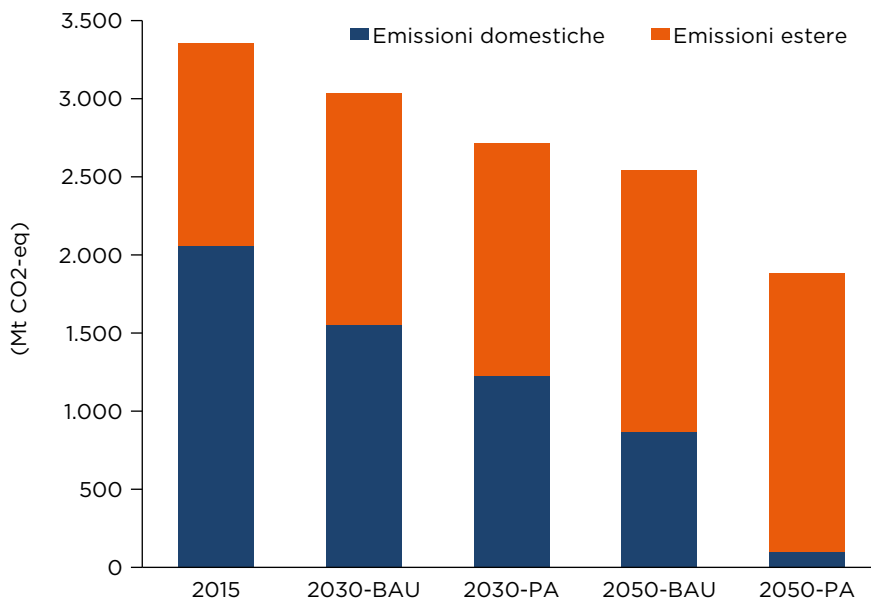
Fonte: nostre elaborazioni su risultati modello.

Nel caso dei consumi finali (Figura 6), si verificano andamenti simili, ma con variazioni ancor più nette. Al 2050, infatti, a fronte di

una riduzione nel livello totale delle emissioni più limitata rispetto al caso precedente (con una riduzione del 26% tra scenario BAU e PA 1.5°), l'effetto di "diversione" delle emissioni risulta viepiù accentuato. Mentre le emissioni domestiche si riducono di quasi il 90%, quelle estere aumentano e arrivano a rappresentare il 95% del totale delle emissioni derivanti dai consumi finali nell'UE. Tali consumi comprendono infatti sia le emissioni nazionali originate nei processi produttivi delle imprese europee, sia le emissioni estere generate nella produzione delle importazioni UE relative a beni finali e a beni intermedi poi trasformati in beni finali consumati nell'UE.

Se da un lato i risultati fin qui presentati mostrano come l'applicazione dell'EGD abbia impatti anche al di fuori dei paesi membri, è interessante analizzare il livello di eterogeneità nei rapporti bilaterali tra l'UE e tutte le altre regioni considerate nel modello. Le Figure 7 e 8, infine, rappresentano attraverso un'analisi di rete come variano le emissioni globali associate ai processi di esportazione e a quelli di consumo a seguito dell'applicazione della politica climatica applicata dall'UE. In entrambi i casi la rete rappresentata riassume le differenze fra lo scenario BAU e lo scenario PA 1.5° nel 2050. Nella rete, ogni nodo rappresenta una regione (*i*) inclusa nel modello, e ogni connessione il flusso di emissioni tra l'UE e una delle altre regioni.

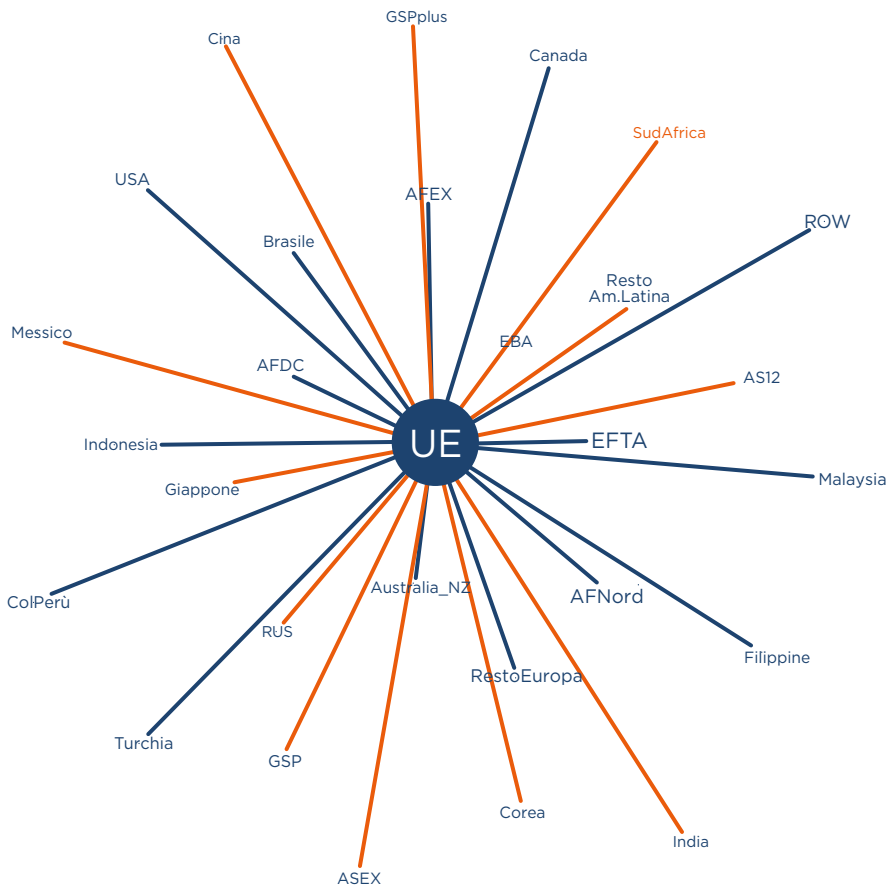
**Figura 6 - Emissioni climalteranti contenute nei consumi finali dell'UE**



Fonte: nostre elaborazioni su risultati modello.

In Figura 7, in particolare, ogni nodo indica la variazione delle emissioni associate ai beni esportati da parte di ciascuna regione *i* verso il resto del mondo (confrontando lo scenario di *policy* con quello di riferimento). Ogni connessione rappresenta invece la variazione relativa al flusso di emissioni associate ai beni intermedi prodotti da parte del paese *i* ed esportati verso l'UE per essere poi ulteriormente processati e nuovamente esportati da parte di imprese europee.

**Figura 7 - Variazione nelle emissioni contenute nelle esportazioni al 2050**



Fonte: nostre elaborazioni su risultati modello.

La differenza nei risultati fra gli scenari BAU e PA 1.5° è indicata tramite il colore e la dimensione associati a nodi e connessioni. I nodi rossi indicano le regioni per le quali le emissioni contenute nei

prodotti esportati sul mercato globale sono minori nello scenario PA 1.5° rispetto allo scenario BAU (in queste regioni si è quindi registrata una riduzione delle emissioni a seguito dell'applicazione della politica climatica europea). Specularmente, i nodi blu indicano le regioni per le quali le emissioni sono maggiori nello scenario PA 1.5° rispetto allo scenario BAU (dove si registra quindi un aumento delle emissioni a seguito dell'applicazione della politica climatica europea). La grandezza dei nodi è proporzionale alla differenza fra i due scenari: più grandi sono le lettere del nodo, maggiore è la variazione nelle emissioni contenute nei beni esportati.

Similmente possono interpretarsi i colori utilizzati per connotare le connessioni fra le regioni: una connessione rossa tra una regione  $i$  e l'UE indica che, rispetto allo scenario BAU, nello scenario PA 1.5° si è registrata una riduzione nella quantità di emissioni associate ai beni intermedi prodotti nella regione  $i$  e necessari alle esportazioni europee verso il mercato globale. Specularmente, una connessione è rappresentata in blu se le emissioni contenute nelle esportazioni dell'UE e associate alla produzione dei beni intermedi nella regione  $i$  sono maggiori nello scenario di *policy* rispetto allo scenario BAU. Anche in questo caso, più è grande la dimensione della connessione, maggiore è la variazione nelle emissioni bilaterali tra la regione  $i$  e l'UE.

Guardando alle caratteristiche dei nodi, dalla Figura 7 appare evidente che, ad eccezione del Sud Africa, nello scenario PA 1.5° per tutti i paesi extra-UE la quantità di emissioni legate alle esportazioni è maggiore rispetto allo scenario BAU. La differenza maggiore fra i risultati ottenuti fra i due scenari è quella relativa proprio all'UE, per la quale lo scenario PA 1.5°, imponendo un vincolo di abbattimento del 90%, risulta in una quantità di emissioni di gran lunga minore rispetto allo scenario BAU. Rispetto alle relazioni bilaterali (quindi guardando alle connessioni nella rete), emerge un quadro più eterogeneo che indica una profonda ristrutturazione delle GVC dovuta alla politica climatica dell'UE.

Analogamente, la Figura 8 mostra come è variato il livello delle emissioni contenute nella domanda finale dell'UE confrontando gli scenari di BAU e PA 1.5°. In questo caso, la dimensione di ogni nodo è proporzionale alla variazione registrata nel livello delle emissioni che direttamente o indirettamente sono attivate dai consumi finali europei. Nello specifico, vengono incluse tutte le emissioni legate alla produzione dei beni intermedi e finali generati nel paese  $i$  e necessari a soddisfare la domanda finale europea, e cioè i beni intermedi richiesti dal paese  $i$ , dall'UE e da tutti gli altri paesi extra-UE per la produzione di beni consumati nel mercato europeo.

Come nel caso della figura precedente, i nodi sono indicati in rosso (blu) se nello scenario di *policy* il livello di emissioni è inferiore (mag-

giore) rispetto al BAU. In questo caso, l'UE è l'unica regione per cui si registra una riduzione delle emissioni, mentre in tutti gli altri paesi la quantità di emissioni contenute nei beni prodotti per soddisfare la domanda finale europea aumenta.

**Figura 8 - Variazione nelle emissioni contenute nella domanda finale dell'UE al 2050**



Fonte: nostre elaborazioni su risultati modello.

La connessione tra una regione  $i$  e l'UE rappresenta invece la variazione nella quantità di emissioni generate dal paese  $i$  per la produzione di beni intermedi poi inglobati dalle imprese europee per la produzione dei beni finali destinati al mercato finale dell'UE o nella produzione di beni finali destinati direttamente al consumo nei paesi UE. Coerentemente con i casi precedenti, una connessione è rap-

presentata in rosso (blu) se nello scenario di *policy* si è registrata una riduzione (aumento) rispetto al BAU. Anche in questo caso, si registra un aumento nel livello delle emissioni in tutti i flussi bilaterali diretti verso l'UE, ad eccezione di quello con la Russia che registra una riduzione delle emissioni rispetto al BAU.

## 6. Conclusioni

L'Accordo di Parigi del 2015 ha fissato una serie di obiettivi che ciascun paese dovrebbe perseguire unilateralmente, mentre azioni coordinate e la creazione di un mercato internazionale per le emissioni risultano assai più difficili da concordare. In questo scenario caratterizzato da politiche di mitigazione molto diversificate e da una copertura limitata tanto in termini geografici che settoriali, il commercio internazionale può ridurre l'efficacia di tali politiche attraverso i vari meccanismi che compongono il complessivo effetto di *carbon leakage*.

Nonostante il progressivo aumento delle emissioni climalteranti soggette a restrizione, i costi di abbattimento rilevati nei paesi che ad oggi hanno realizzato sistemi di mitigazione, tra cui l'UE, rimangono ancora relativamente bassi e questo ha finora ridotto il potenziale effetto di *carbon leakage* associato a politiche unilaterali. Le cose però potrebbero cambiare in futuro a seguito di obblighi più stringenti.

Per valutare quale potrebbe essere l'effetto a lungo termine di un piano climatico molto ambizioso come il *Green Deal* europeo, abbiamo adattato un modello di simulazione *ex ante* di tipo CGE dinamico per tenere conto della distribuzione delle emissioni tra i diversi paesi sulla base del relativo coinvolgimento nelle varie fasi produttive delle catene globali del valore. Le simulazioni svolte consentono una quantificazione più precisa del *carbon leakage* in merito alla distribuzione settoriale e regionale e aiutano a identificare quale sia la responsabilità indiretta dell'UE nell'aumento delle emissioni estere attraverso i legami commerciali bilaterali.

Da tali risultati emergono alcune indicazioni utili al dibattito corrente sulle possibili misure complementari da associare al *Green Deal* per contrastare i temuti effetti negativi sinteticamente rappresentati dal *carbon leakage*.

Una prima misura proposta per ridurre gli effetti negativi associati alla perdita di competitività potrebbe essere rappresentata dalla concessione di permessi di emissione gratuiti per i settori maggiormente soggetti a *leakage*. Tale misura, però, rischierebbe di portare a sovra-compensazioni e all'indebolimento dello sforzo complessivo per la riduzione delle emissioni.

Un secondo strumento di cui si sta discutendo sia nell'UE, come si è già ricordato, sia negli USA<sup>42</sup>, è rappresentato dall'imposizione di un dazio legato al contenuto di emissioni delle importazioni (CBAM). Vale la pena di sottolineare che l'obiettivo di una misura come il CBAM è quello di passare dalla tassazione della produzione alla tassazione del consumo e il meccanismo dovrebbe quindi prevedere due componenti: una relativa alle importazioni, per assicurare che i prezzi dei prodotti sul mercato nazionale siano coerenti con il rispettivo contenuto di emissioni; l'altra relativa alle esportazioni, per assicurare che i produttori nazionali non siano svantaggiati sui mercati esteri. Un'applicazione parziale, ad esempio limitata alla sola tassazione delle importazioni, avrebbe effetti distorsivi sui flussi commerciali e potrebbe risultare insufficiente in quanto rimarrebbe esclusa la componente di *carbon leakage* relativa ai mercati internazionali extra-UE, pari all'incirca al 40% dell'aumento complessivo delle emissioni da parte delle altre regioni associate alla produzione di beni e servizi.

Inoltre, l'introduzione di un CBAM dovrebbe fronteggiare due problemi principali. Da una parte vi sono le difficoltà istituzionali legate al disegno di un meccanismo che risulti compatibile con le regole dell'Organizzazione mondiale del commercio. Dall'altra, vi sono le difficoltà di calcolo del contenuto di emissioni legate innanzitutto alla presenza di emissioni dirette e indirette, vale a dire avvenute in fasi precedenti della catena produttiva e incorporate nei beni intermedi. Se le catene produttive hanno una dimensione internazionale, il problema diventa ancor più complesso in quanto occorre decidere se applicare i coefficienti di emissione effettivi oppure adottare dei coefficienti uguali per tutti i produttori indipendentemente dalla loro nazionalità e dalla tecnologia di produzione. Quest'ultima alternativa semplifica il calcolo, ma non fornisce incentivi coerenti e i risultati delle simulazioni mostrano l'errore che si rischia di commettere non tenendo conto delle catene globali del valore nel calcolo delle emissioni effettive.

La ripartizione degli oneri dei costi di mitigazione dovrebbe attribuire la responsabilità dell'impatto dei consumi sulle emissioni tra tutti gli attori che partecipano alle catene globali del valore tenendo conto delle specificità nazionali in termini di livelli di sviluppo e capacità tecnologiche. L'analisi qui presentata, però, evidenzia come una simile distribuzione necessiti di dati e modelli complessi e ciò solleva inevitabilmente dei dubbi sulla effettiva possibilità di correggere gli effetti negativi legati al *carbon leakage* attraverso politiche commerciali unilaterali.

---

<sup>42</sup> Climate Leadership Council, "The Baker Shultz Carbon Dividend Plan", *Bipartisan Climate Roadmap*, 2020, <https://clcouncil.org/Bipartisan-Climate-Roadmap.pdf>.