



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI ECONOMIA “GIORGIO FUÀ”

Corso di Laurea Magistrale o Specialistica in:
Management della Sostenibilità ed Economia Circolare

Trade emission balance del settore energetico europeo:
un’analisi mediante un modello MRIO

Trade balance of EU energy sector emissions: an analysis using
an MRIO model

Relatore: Chiar.mo
Prof. Esposti Roberto

Tesi di Laurea di:
Cesauri Mirko

Anno Accademico 2021 – 2022

INDICE

INTRODUZIONE

1. CAPITOLO I – LA RESPONSABILITÀ AMBIENTALE

1.1. Il concetto di responsabilità ambientale

1.2. La responsabilità del produttore

1.3. Il carbon Leakage

1.4. La responsabilità del consumatore

1.5. La responsabilità condivisa

1.6. Altri criteri di assegnazione della responsabilità

2. CAPITOLO II – IL MODELLO INPUT-OUTPUT

2.1. Introduzione al modello input output

2.2. Le tavole input output

2.2.1. La tavola delle risorse

2.2.2. La tavola degli impieghi

2.2.3. Le tavole simmetriche

2.2.4. Il quadro input output

2.3. Il modello quantitativo di Leontief

2.4. I moltiplicatori

2.5. Analisi input output in modelli multiregionali

2.5.1. I modelli monoregionali

2.5.2. I modelli multiregionali

3. CAPITOLO III - RESPONSABILITÀ E IMPRONTA DI CARBONIO

3.1. Coefficienti di emissione e moltiplicatore di emissioni

3.2. Diagonalizzazione della domanda finale

3.3. I bilanci delle emissioni

3.4. Impronta ecologica e Impronta di carbonio

4. CAPITOLO IV – IL CASO DEL SETTORE ENERGETICO EUROPEO

4.1. Nota metodologica

4.2. Il settore energetico europeo

4.3. Discussione

CONCLUSIONI

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

RIFERIMENTI SITOGRAFICI

ALLEGATI

INTRODUZIONE

Secondo il Sesto rapporto del Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico (IPCC 2022)[1], è ormai “inequivocabile che l’influenza umana ha riscaldato l’atmosfera, l’oceano e la terra”.

Per effetto serra antropico si intende quella parte di effetto serra dovuto ai gas immessi dall’uomo nell’atmosfera, come conseguenza delle sue attività. Questi gas, come appunto la CO₂, scarto di tante attività umane come la produzione di energia tramite combustibili fossili, amplificano l’effetto serra naturale impedendo alle radiazioni termiche di lasciare il pianeta causando una sorta di accumulo aggiuntivo di calore. Dall’avvento dell’industrializzazione, la combustione di sempre maggiori fonti di energia fossile come carbone, petrolio e gas naturale, ma anche dal sempre maggiore utilizzo di suolo per la produzione di cibo, la temperatura media globale è aumentata di più di 1°C, un aumento incompatibile con i cicli naturali, coincidente invece, con l’aumento delle quantità di gas serra immessi dall’uomo in atmosfera. A causa delle attività umane, vengono immessi in atmosfera altri gas climalteranti oltre la CO₂, come il metano (CH₄), il protossido di azoto (N₂O), l’ozono (O₃) o i clorofluorocarburi (CFC); tuttavia, si fa riferimento, come scala di misura necessaria, alle emissioni di CO₂ equivalenti (CO₂e) che vengono comunemente utilizzate per esprimere in modo uniforme l’impatto sul clima di gas serra diversi. Il riscaldamento globale è un fenomeno che ha la capacità di modificare profondamente gli ecosistemi e le sue

conseguenze, ancora in fase di studio, saranno sicuramente molto gravi anche per gli esseri umani.

Dobbiamo ridurre, fino ad azzerare le emissioni di CO₂e, ma esse non provengono da una singola attività. Le economie sono un complesso insieme di scambi, in moltissimi settori diversi. Possiamo riscontrare che, direttamente o indirettamente, ogni attività umana genera emissioni ed è quindi, in parte, causa di un impatto. Possiamo inoltre assumere, che le emissioni di gas serra antropiche siano un problema non regionale, e che quindi il fenomeno debba essere considerato e affrontato globalmente. La globalizzazione ha portato ad un enorme frammentazione dei processi produttivi in supply chain sempre più complesse che complicano notevolmente lo studio degli input e degli output economici.

Questo lavoro si pone l'obiettivo di analizzare, tramite i dati provenienti dal progetto WIOD ("World Input-Output Database: Construction and applications"), finanziato dall'UE, da dove provengono le emissioni "importate" dall'Unione Europea (EEI), con focus sui sottosettori riconducibili ad un "settore energetico europeo" (produzione di energia), considerabile tra i più impattanti a livello di emissione di CO₂e. Il lavoro sarà diviso in:

- Una analisi della letteratura economica in tema di assegnazione della responsabilità di impatti ambientali, fondamentale in quanto l'analisi sarà basata sul criterio della responsabilità del consumatore.

- Una presentazione approfondita del modello utilizzato, dalla nascita dell'analisi Input-Output fino e dalla lettura di una tabella di I-O fino alla presentazione del modello I-O a regione singola e infine al modello multiregionale usato nell'analisi. Ai fini di questa analisi, è stato utilizzato un modello MRIO che, presentando 6 macroregioni mondiali e un sottoinsieme di 32 settori economici produttivi di 40 paesi, ci consente di costruire una matrice che mette in relazione tutte le emissioni di ciascun settore e come partecipano alle emissioni degli altri in uno schema che fa la differenza tra esportazioni e importazioni, permettendo alla fine di calcolare il saldo di responsabilità (REB).
- L'analisi dei risultati sarà divisa in due blocchi. Per prima cosa considereremo qual è l'impatto del settore energetico della macroregione UE derivato dall'importazione totale di emissioni settoriali e totali dalle due macroregioni che, ad oggi, sono i due maggiori partner commerciali europei: CINA e NAFTA. Successivamente, l'analisi si concentrerà sullo studio di quali input inquinanti vengono utilizzati nei processi dei due settori considerati, proseguendo con un focus sulla loro provenienza.

Tutte le formule mostrate in questo lavoro sono riprese dagli appunti del corso "Economia del medio ambiente - TEMA 4, 2021/22" (M.A. Cadarso).

1 CAPITOLO I - LA RESPONSABILITÀ AMBIENTALE

1.1 IL CONCETTO DI RESPONSABILITÀ AMBIENTALE

“Chi inquina paga” è uno dei criteri più diffusi e accettati per l’attribuzione delle responsabilità quando si tratta di danni ambientali. Se un’azienda di allevamento emette anidride carbonica (CO₂) durante il processo di produzione, l’azienda sarà chiaramente responsabile; ma il consumatore finale che mangia una bistecca come anche il macellaio che compra un taglio di carne per metterlo in vendita, traggono diretto vantaggio dall’inquinamento dell’allevamento, non ne sono anche loro, in qualche misura, responsabili? Il criterio dovrebbe quindi cambiare in “Chiunque beneficia di un’attività inquinante paga “. Come si può facilmente intuire da questo esempio, nella realtà, è molto complesso riuscire ad attribuire la responsabilità di un danno ambientale in maniera chiara e univoca, questa allocazione è però fondamentale per riuscire a stabilire politiche climatiche di mitigazione più mirate ed efficaci, ma anche eque.

Nella letteratura economica, esistono tre criteri principali attraverso i quali attribuire la responsabilità del danno ambientale:

- *Productor Responsibility* (PR), responsabilità del produttore. Secondo questo criterio il primo, e il più “semplice”, la responsabilità del danno ambientale è da attribuire esclusivamente a chi produce e quindi inquina in maniera diretta, il produttore appunto. Questo criterio era alla base del funzionamento del Protocollo di Kyoto, traslato al criterio di territorialità per i paesi; un paese è

quindi responsabile delle emissioni associate ai processi di produzione e/o consumo che avvengono all'interno dei suoi confini.

- *Consumer Responsibility* (CR), responsabilità del consumatore. Secondo questo criterio, la responsabilità del danno ambientale è da imputare al consumatore finale del bene prodotto; è il principio alla base del calcolo dell'impronta ecologica o di carbonio ma anche di alcune legislazioni che mirano a ridurre le emissioni tramite meccanismi di mercato, come l'European Emission Trading Scheme (EU-ETS) dell'Unione Europea. A livello nazionale quindi, la CR assegna ad un paese la responsabilità dei danni ambientali (o emissioni) associati a tutti i prodotti consumati dalla popolazione, anche quelli importati dall'estero, sia direttamente per il consumo sia quelli intermedi per la produzione. Nel nostro esempio, la responsabilità delle emissioni andrebbe quindi a chi mangia la bistecca anche se, da un punto di vista commerciale anche il macellaio che acquista il taglio di carne può essere considerato consumatore e questo crea criticità.
- *Shared Responsibility* (SR), responsabilità condivisa. Questo criterio cerca di superare i punti critici dei primi due criteri attraverso una sorta di "via di mezzo". Un compromesso di equità attraverso il quale imputare la responsabilità di un danno ambientale sia a chi direttamente lo produce sia a chi ne trae vantaggi.

Quando si parla di modelli di calcolo delle emissioni, si fa riferimento a Producer e Consumer Responsibility con:

- Production-based Accounting (PBA)
- Consumption-based Accounting (CBA)

I tre appena elencati non sono gli unici criteri esistenti in letteratura, ma sono i più diffusi ed accettati nella pratica.

1.2 IL CRITERIO DI RESPONSABILITÀ DEL PRODUTTORE

Dicembre 1997, a Kyoto, in Giappone, viene siglato uno dei più conosciuti accordi internazionali in materia di protezione ambientale, il Protocollo di Kyoto, entrato in vigore ufficialmente nel 2005 che aveva per la prima volta l'obiettivo di riduzione delle emissioni nette tramite un calendario conforme sia per i paesi sviluppati che per quelli in via di sviluppo ed in transizione. La maggior parte dei paesi europei si è impegnata quindi a ridurre le proprie emissioni nette rispetto ai livelli del 1990, anno base, -8% in media per UE-15, -6,5% per l'Italia nel periodo 2008-2012; primo periodo di impegno del Protocollo. Come già detto, il Protocollo si basava sul concetto di Responsabilità del Produttore (PR), ogni paese era responsabile dell'inquinamento associato alla produzione e consumo avvenuti all'interno dei propri confini e quindi gli inventari nazionali dovevano includere emissioni ed assorbimenti di gas ad effetto serra (GHG) avvenuti nei territori nazionali, seppur con alcune eccezioni.

Il criterio di responsabilità del produttore, seppur intuitivo e di pratica attuazione, presenta alcune criticità:

- Non sono incluse le emissioni per i trasporti internazionali (anche conosciute come “international bunker fuel emissions”) a causa proprio delle difficoltà nell’ allocazione della responsabilità.
- Il sistema non imputa ad un paese la responsabilità sulle emissioni contenute nei prodotti che consuma (Emission Embodied in Imports, EEI). Questo può essere ingiusto ed è inoltre una delle ragioni per cui l’adesione è stata difficile per grandi paesi esportatori (e molto inquinanti) come per esempio la Cina.
- Il meccanismo che rende un paese non responsabile per le emissioni importate (EEI) potrebbe aver dato origine al fenomeno del Carbon Leakage, ovvero alla riallocazione delle emissioni da paesi firmatari del Protocollo di Kyoto (paesi dell’allegato B) verso paesi non firmatari, solitamente più poveri e con legislazioni ambientali meno rigide. Questo fenomeno consente di ridurre sulla carta le emissioni del paese importatore, ma non a livello globale, dove l’inquinamento potrebbe anche aumentare se i paesi di destinazione delle riallocazioni possiedono sistemi produttivi meno efficienti dal punto di vista ambientale.

Dunque, insieme ai trasporti e alle EEI, il commercio internazionale rappresenta un potenziale problema nella lotta al cambiamento climatico, soprattutto nello scenario globalizzato di oggi, caratterizzato dal trasferimento della produzione

(offshoring) dai paesi sviluppati e quelli in via di sviluppo; i dati mostrano che il 23% delle emissioni totali di carbonio a livello globale è incluso nei prodotti scambiati a livello internazionale[2].

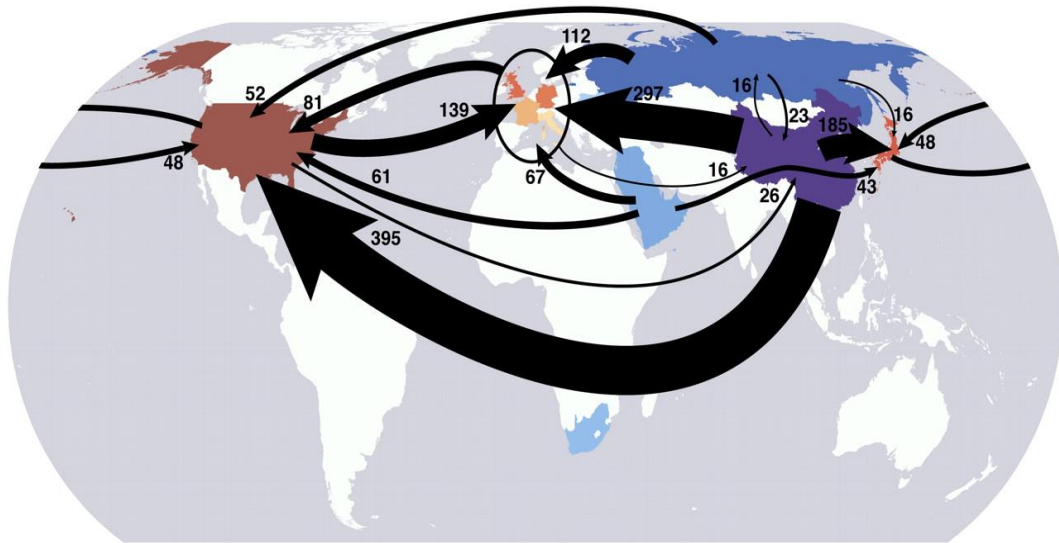


Figura 1: in blu i paesi esportatori di emissioni nette, in rosso i paesi importatori. Fonte (Davis e Caldeira, 2010).

1.3 IL CARBON LEAKAGE

Per carbon leakage si intende il trasferimento di produzioni inquinanti da paesi che si sono impegnati a ridurre le proprie emissioni e che quindi avranno una legislazione ambientale severa, che nella maggior parte dei casi reali aumenta il costo di produzione in tali settori, verso paesi che ancora non perseguono tali impegni e che anzi hanno una legislazione, in materia ambientale ma non solo, molto più permissiva.

L'IPCC, nel 2007[3], definisce in maniera forte la ricollocazione delle emissioni di carbonio come "un aumento delle emissioni nei paesi non compresi

nell'allegato B del Protocollo di Kyoto (paesi in via di sviluppo senza impegni vincolanti ai sensi del protocollo) a cui corrisponde una riduzione delle emissioni nei paesi dell'allegato B" (paesi sviluppati impegnati nella riduzione delle proprie emissioni); si cerca quindi di collegare come cambia la produzione da un paese all'altro in conseguenza all'adozione di politiche di mitigazione (con un intervallo di cambiamento che può andare da 0 a 130% a seconda delle ipotesi del modello adottato).

Peters e Herwitch (2008)[4], utilizzano nel loro studio una definizione debole di carbon leakage, basata sulla misurazione delle EEI contenute negli scambi da paesi non compresi nell'allegato B verso quelli compresi nello stesso, collegandole alla percentuale di aumento delle emissioni nei primi; con questi risultati:

- I paesi nell'allegato B esportano 2,8 Gt delle loro emissioni interne di CO₂e (18,9% del totale), i paesi non presenti nell'allegato B esportano invece 2,6 Gt (25,3%)
- I paesi dell'allegato B importano 3,6 Gt (24,5%) delle loro emissioni interne di CO₂e, i paesi non compresi nell'allegato B importano 1,7 Gt (17,2%)

È quindi evidente che i paesi presenti nell'allegato B sono importatori netti di emissioni ($2,8 < 3,6$) mentre i paesi non firmatari siano esportatori netti ($2,6 > 1,7$). Si può quindi notare come la riallocazione delle emissioni permessa dal Protocollo di Kyoto è del 10,8% mentre i dati reali sono molto variabili, dal 29% del Belgio fino al 2,7% della Federazione Russa.

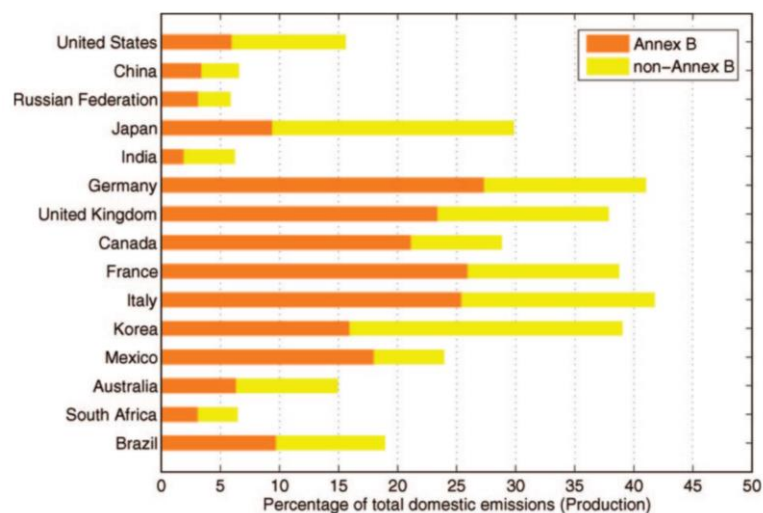


Figura 2: Porzione di EEI totali provenienti da paesi presenti nell'allegato B e non per le esportazioni di paesi selezionati. Fonte: Peter e Harwitch (2008)

In letteratura, la riallocazione delle emissioni è legata ai concetti di Pollution Haven Effect (PHE), Pollution Haven Hypotesis (PHH) e alla curva di Kuznets ambientale (EKC). Il Pollution Haven Effect (PEH), afferma che un aumento degli standard ambientali riduce l'export di prodotti ad alta intensità di inquinamento e ne aumenta le importazioni. Ha un forte supporto teorico in studi come:

- Ederington, Levinson e Miner (2005)[5], dimostra l'esistenza di PHE per le industrie con alti costi ambientali e che commerciano con paesi a basso reddito (con la presenza di grandi differenze nella regolamentazione ambientale).
- Ederington e Miner (2003)[6], dimostra che la regolamentazione ambientale può considerarsi una barriera commerciale secondaria e che i costi ambientali hanno un forte effetto sulle importazioni nette.
- Levinson e Taylor (2008)[7], mostra la correlazione tra l'aumento dei costi di abbattimento dell'inquinamento e l'aumento delle importazioni degli USA da Canada e Messico.
- Cherniwchan e Najjar (2021)[8], mostrano come la variazione degli standard sulla qualità dell'aria in Canada abbia ridotto la probabilità e il volume delle esportazioni delle aziende.
- List, Millimet e McHome (2003)[9], mostra come la scelta dell'ubicazione di un'azienda risponde alle differenze di rigore della normativa ambientale.
- Ederington, Paraschiv e Zanardi (2022)[10], dimostra che la ratifica di un accordo internazionale ambientale porta un paese verso esportazioni più pulite.

Inoltre, Duan, Ji e Yu (2021)[11] dimostrano che i paesi ricchi con rigide normative ambientali “sviluppano” uno svantaggio comparativo nelle produzioni

ad alta intensità di inquinamento e tendono a delocalizzare le emissioni nei paesi a basso reddito esternalizzando solo i processi di produzioni più sporchi e che più il divario di reddito pro-capite è elevato e più le esportazioni a valore aggiunto sono ad alta intensità di inquinamento.

La Pollution Haven Hipotesis (PHH) ipotizza invece che l'eliminazione delle barriere commerciali inneschi il processo di delocalizzazione delle imprese più inquinanti verso i paesi con legislazioni ambientali meno severe. La letteratura presenta però scarse prove empiriche a favore della effettiva veridicità di questa teoria, infatti, diversi studi dimostrano come lo spostamento verso produzioni più pulite non dipenda dalla liberalizzazione dei commerci (Ederington, Levinson e Minier; 2004)[12], che il passaggio a produzioni più pulite non sia dovuto all'offshoring delle industrie inquinanti (Levinson, 2009)[13] e che la riduzione delle emissioni nei paesi ad alto reddito sia dovuta principalmente agli effetti del miglioramento tecnologico (Shapiro e Walker, 2018)[14]. Per contro, la Curva di Kuznets Ambientale (EKC) viene spesso citata come possibile riflesso della PHH, essa analizza le relazioni tra ambiente, commercio e crescita economica e conclude che, in un paese, all'aumentare del reddito pro-capite, aumenta anche l'impatto sull'ambiente, le cause individuate sono la relazione diretta tra produzione e consumo ma identifica un livello critico di reddito oltre il quale l'impatto inizia a diminuire suggerendo come una maggior qualità ambientale dei paesi ricchi vada a scapito di una degradazione ambientale nei paesi in via di

sviluppo (Brian W. Jbara, 2007)[15]. In questo senso, uno dei fattori che possono guidare l'aumento del degrado ambientale nei paesi a reddito basso è l'afflusso di rifiuti proveniente dalle economie più ricche, Secondo un inchiesta del New York Times, nel 2011[16], il 20% delle batterie usate statunitensi, sia industriali che non, veniva esportato in Messico (contro il 6% del 2007) dove il piombo al loro interno può essere estratto con metodi che negli USA non erano più legali a causa di nuovi standard più severi sull'inquinamento da piombo introdotti dall'Environmental Protection Agency (EPA).

Concludendo, la veridicità della PHE è condizione necessaria, ma non sufficiente per l'esistenza della PHH; infatti, in letteratura troviamo evidenza empirica dell'esistenza di PHE senza l'evidenza della PHH. Ad esempio, Copeland e Taylor nel loro studio del 1994[17], assumendo che le produzioni di beni pollution-intensive sia intensiva in capitale, notano che i paesi a reddito alto tendono ad avere legislazioni ambientali stringenti ed essere abbondanti in capitale, è quindi probabile che questi ultimi abbiano vantaggio comparativo nella produzione dei beni inquinanti. Concludono quindi che un aumento degli standard ambientali farebbe spostare una parte della produzione inquinante verso paesi a reddito più basso (PHE) ma che una riduzione delle barriere commerciali favorirebbe invece lo spostamento delle produzioni inquinanti verso i paesi a reddito alto, confutando la PHH.

1.4 IL CRITERIO DI RESPONSABILITÀ DEL CONSUMATORE

Munksgaard e Pedersen (2001)[18], partendo dal lavoro di Gay e Proops (1993)[19], definiscono il criterio della Responsabilità del Consumatore (CR) cercando di affrontare il problema dell'impatto del commercio internazionale sull'inquinamento e della riallocazione e dispersione delle emissioni. Secondo questo principio, un paese sarà responsabile delle emissioni prodotte dalla propria produzione e anche delle importazioni intermedie e finali atti a soddisfare la domanda interna, non delle esportazioni, le cui emissioni saranno di responsabilità del paese che le acquista, poiché ne trae beneficio.

La CR viene quindi calcolata, a livello nazionale, sommando le emissioni associate alle importazioni (EEI) alla responsabilità del produttore (PR), sottraendo poi le emissioni associate alle esportazioni.

Il vantaggio dell'utilizzo di questo criterio è la possibilità per le aziende e i consumatori di un paese, quindi per i decisori, di guidare lo sviluppo economico e il proprio impatto ambientale sulla base delle loro abitudini di consumo, è uno strumento decisionale: se si richiedono e consumano prodotti e servizi a basso impatto, la propria "impronta" e quindi le proprie emissioni associate si ridurranno (Muradian et al., 2002)[20].

Questo criterio è inoltre in grado di risolvere il problema del Carbon Leakage perché ora un paese non può trasferire parte della responsabilità delle emissioni che consuma acquistando beni prodotti all'estero.

I vantaggi del criterio della CR vengono riassunti bene nel lavoro di Weidmann et al. (2009)[21]:

- Può essere utilizzato come integrazione al criterio della PR, quale vuole essere.
- Contribuisce a risolvere il fenomeno delle riallocazioni delle emissioni.
- Permette di quantificare l'impatto del commercio internazionale in termini economico-ambientali.
- I dati risultanti forniscono una migliore comprensione della responsabilità comune, differenziando i paesi.
- Può facilitare la cooperazione internazionale, tra paesi sviluppati e non, facilitando i trasferimenti di tecnologia e i meccanismi di sviluppo pulito (CDM)
- Può essere utilizzato per impostare una comunicazione più efficace per la sensibilizzazione dei consumatori verso scelte di consumo più sostenibili.
- Identifica tendenze e modelli consumo non sostenibili e può quindi essere d'aiuto nella progettazione di strategie di consumo e produzione sostenibili.
- Amplia la gamma di politiche che possono essere applicate e il numero di agenti che possono essere coinvolti.

Esistono già alcuni esempi di legislazione che tentano di seguire il principio dell'assegnazione della responsabilità delle emissioni in base ai consumi. La

direttiva CE/87/2003 dell'Unione Europea[22] stabilisce i meccanismi alla base dell'EU-ETS (European Trading Scheme), sistema che tenta di allocare quote di emissione a tutti i paesi, di fatto costruendo un “tetto” alle emissioni totali dell'Unione.

Nel dicembre 2008 la Commissione Europea ha approvato un pacchetto (Energia e Cambiamento Climatico)[23] mirato, tra le altre cose alla regolazione del mercato delle quote tra il 2013 e il 2020 cercando di ridurre l'impatto del sistema sulla riallocazione delle emissioni. In particolare, la direttiva stabilisce che, per i settori considerati a “rischio ricollocazione”, ovvero quei settori con “elevati costi diretti e indiretti derivanti dal mercato delle emissioni e/o con una significativa intensità commerciale extra-UE”, l'assegnazione delle quote non avverrà tramite aste ma saranno liberamente assegnate. Questo, tuttavia, non impedisce ai paesi UE di trasferire o assorbire inquinamento attraverso gli scambi commerciali quindi, la Commissione valuta la possibilità di includere gli importatori di prodotti appartenenti ai settori a rischio riallocazione, all'interno del sistema EU-ETS di fatto avvicinando ancora di più la legislazione all'adozione di un pieno criterio della responsabilità del consumatore.

1.5 IL CRITERIO DI RESPONSABILITÀ CONDIVISA

Il criterio della CR risolve alcune criticità della PR, ma al contempo ne solleva altre:

- C'è un trasferimento della giurisdizione nazionale, perché un paese non ha controllo sui processi produttivi dei paesi da cui importa.
- L'eliminazione delle responsabilità del produttore può causare un allontanamento dagli impegni presi dai paesi esportatori.
- Aggiunge una grande complessità ai calcoli, è probabilmente questa la causa della sua difficile attuazione.

Per superare queste difficoltà, in letteratura emerge un terzo criterio, quello della Responsabilità Condivisa (SR). Questo criterio si pone come una fusione tra i punti di forza dei precedenti e cerca di coinvolgere anche tutti gli agenti coinvolti nelle catene di produzione e consumo. La letteratura è scarsa e soprattutto teorica. Cadarso et al. (2012)[24] calcolano la SR a livello settoriale per l'economia spagnola, con l'obiettivo di valutare le reali possibilità di applicazione di questo criterio a livello nazionale e le criticità riscontrate, definendo quindi responsabilità del produttore per quanto riguarda l'industria e quella del consumatore per i consumatori finali. Secondo lo studio quindi, la SR rende un paese responsabile delle emissioni consumate e prodotte (qui non c'è condivisione), ma anche di una parte delle emissioni associate ai prodotti che esporta e importa. La criticità principale è nel definire quale parte va associata al paese importatore e quale all'esportatore; è forse l'ostacolo più grande ad un'implementazione efficace di questo criterio.

1.6 ALTRI CRITERI DI ASSEGNAZIONE DELLA RESPONSABILITÀ

Sebbene l'attuale politica internazionale sul clima si basi sul criterio di responsabilità del produttore, come abbiamo visto la letteratura ha discusso e proposto altri criteri possibili. Oltre ai principali (CR e SR) possono essere individuati altri criteri che, per il loro impatto e importanza definiamo secondari:

- Marques, Rodrigues, Lenzen e Domingos (2012)[25], partendo da una panoramica dell'odierna situazione studiano i criteri di responsabilità "downstream" arrivando a definire un criterio della responsabilità basato sul reddito, proponendo un caso studio per 112 regioni e confrontando i risultati con i criteri di responsabilità basati sulla produzione e sul consumo.

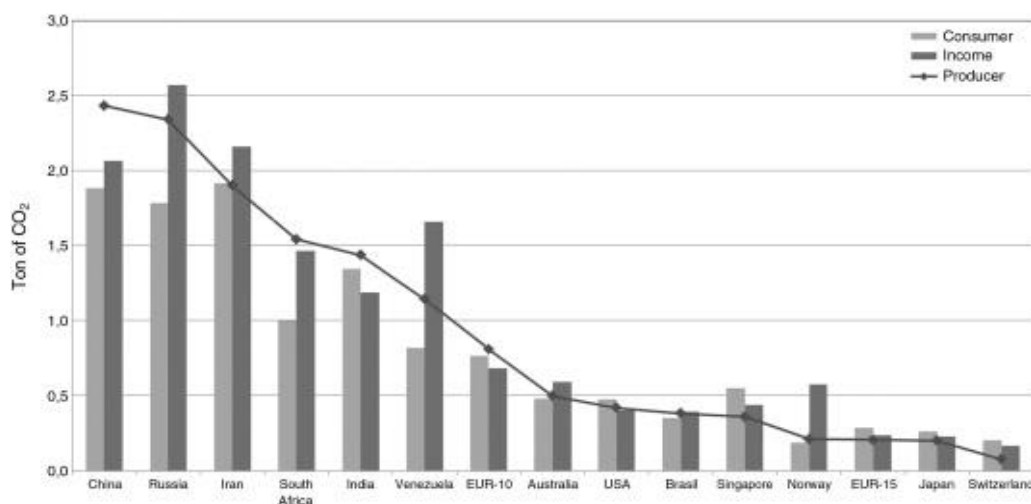


Figura 3: Income, Consume e Producer responsibilities per PIL 2004 in dollari (in tonnellate di CO₂)

Fonte: Marques et al (2012)[25]

- Kander, Jiborn, Moran e Wiedmann (2015)[26] osservano come, le metodologie di assegnazione della responsabilità dovrebbero servire alle politiche di mitigazione per premiare le azioni che effettivamente riducono le emissioni e penalizzare quelle che le vanno ad aumentare ma, nella pratica, i principi di assegnazione della responsabilità al produttore e al consumatore non soddisfa pienamente questo principio. La contabilità basata sulla produzione (PR), non riesce a tener conto del fenomeno dell'offshoring delle emissioni (PHE) mentre invece la contabilizzazione basata sul consumo (Carbon Footprint) non premia i paesi che riesco a rendere le loro industrie più pulite ed inoltre punisce alcuni fenomeni commerciali che, come visto prima, potrebbero contribuire ad un efficientamento della riduzione delle emissioni globali. Propongono quindi un miglioramento del criterio basato sul consumo che tenga conto delle differenze tecnologiche nei settori di esportazione (TCBA, Technology-adjusted Consumer Based Accounting) che riesca quindi a riflettere i cambiamenti nelle politiche nazionali.



Figura 4: Mappa globale delle emissioni pro-capite utilizzando TCBA. Fonte: Kander et al. (2015)

2 CAPITOLO II – IL MODELLO INPUT OUTPUT

2.1 INTRODUZIONE AL MODELLO INPUT OUTPUT

L'analisi Input-Output (I/O) fu ideata da Wassily Leontief, economista e scienziato russo naturalizzato statunitense, alla fine degli anni '30 e approfondita negli anni '40 e '50. Questo tipo di analisi ebbe forte risalto a cavallo degli anni '60 e '70, tanto che nel 1973 valse a Leontief e al suo team il premio Nobel per l'economia per:

“lo sviluppo del metodo di input/output e per la sua applicazione a importanti problemi economici”

La teoria ideata da Leontief, un'efficace applicazione della matematica all'economia che cerca di spiegare come un cambiamento in un settore economico può ripercuotersi ad altri settori, si basa sull'utilizzo di un'enorme quantità di dati e statistiche e può essere considerata un primo approccio di analisi di big data.

La tavola input-output di Leontief è uno strumento di analisi economica che mostra come un'economia funziona, rappresentando le relazioni tra le varie attività economiche, mostra come le varie attività economiche sono interconnesse e dipendenti l'una dall'altra. Ogni riga della tavola rappresenta una singola attività economica, mentre ogni colonna rappresenta l'input di una specifica attività nella produzione di un'altra attività.

Ad esempio, una riga potrebbe rappresentare l'industria della produzione di auto, mentre una colonna potrebbe rappresentare l'input di pneumatici nella produzione

di auto. I dati contenuti nella tavola input-output mostrano quanto un'attività dipende da un'altra attività per la produzione dei suoi beni o servizi.

Uno dei principali vantaggi della tavola input-output è che fornisce una visione d'insieme di come l'economia funziona come un sistema interconnesso, rendendo più facile comprendere le relazioni tra le varie attività economiche e prendere decisioni informate.

Tuttavia, dopo gli anni '70, il modello I/O perse il grande interesse di cui aveva goduto, soprattutto per le critiche legate ai suoi limiti:

- presuppone che la tecnologia e i prezzi siano costanti e che non ci sia sostituzione tra i fattori produttivi,
- fornisce un quadro di analisi più vicino alle teorie eterodosse che alla teoria neoclassica dominante negli anni '80 e '90, nonostante fosse stato pensato come un'applicazione empirica del modello di equilibrio generale walrassiano (EEG), base della teoria neoclassica.

Dagli anni '10 del 2000 l'analisi I/O sta vivendo una seconda giovinezza, per diverse ragioni:

- l'utilizzo nei modelli di equilibrio generale computabile (CGE) che ha portato l'analisi I-O nel mainstream della ricerca,
- l'introduzione in altre aree economiche come il commercio o lo studio dei cicli economici ("Factor content of trade" – Trefler e Zhu, 2010[27]; "Business cycles" - Acemoglu et al. 2012[28]),

- le applicazioni ambientali, appunto, peraltro già avanzate da Leontief stesso durante gli anni '70 con diverse pubblicazioni importanti come: “Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach” – Leontief, 1970[29]; “Air pollution and economic structure: empirical results of input-output computations” Leontief e Ford, 1972 in A. Brody e A. Carter (eds.)

Questo lavoro presenta appunto un'analisi d'impatto ambientale basata su uno studio di dati da tavole input-output.

2.2 LE TAVOLE INPUT OUTPUT

Ad oggi, la maggior parte degli istituti statistici nazionali produce tavole I/O per le proprie economie, in Italia è l'ISTAT che le produce. Sebbene inizialmente il sistema fosse formato solamente dalle matrici quadrate di Leontief, negli anni '60 l'economista britannico Richard Stone nell'ambito dei suoi studi, che gli varranno il premio Nobel, sulla contabilità nazionale, ampliò il sistema I/O introducendo un set di matrici rettangolari dedicate alle risorse (supply) e ai relativi impegni (use) che fornivano informazioni di rilevante interesse per la contabilità nazionale e che potevano essere utilizzate per costruire le matrici quadrate ideate da Leontief.

Il lavoro di Stone verrà recepito internazionalmente tramite lo standard SNA 93 prima e Sec95 poi divenendo lo standard di molti paesi.

Come definito dall' nella nota metodologica dell'ottobre 2006:

“Nel nuovo manuale dei conti, Sec951, è previsto che i conti nazionali debbano essere derivati da uno schema intersettoriale e che, con riferimento all’anno di stima considerato definitivo, debba essere garantita una completa coerenza fra gli aggregati di Contabilità Nazionale e uno schema intersettoriale descritto attraverso le tavole delle risorse e degli impieghi (o SUT tables: supply and use tables).”[30]

Tali tavole sono matrici costruite per branca di attività economica e per produzione omogenea e descrivono, nel dettaglio, i processi di produzione interni e le operazioni sui prodotti di un’economia. Fornendo così un quadro preciso dell’offerta sia di beni che di servizi, ma anche della produzione interna e delle importazioni, fino all’utilizzo di beni e servizi sia per l’uso finale che per quello intermedio. Hanno anche la funzione di mostrare il valore aggiunto (misura dell’incremento del valore nella produzione di beni e servizi finali, dovuto a fattori produttivi e risorse utilizzate) e tutte le sue componenti generate dalle branche di attività economica. Descrivendo accuratamente i processi di produzione interni e le operazioni sui prodotti, le SUT hanno quindi lo scopo di evidenziare le relazioni esistenti tra le branche di attività economiche e le branche di produzione. Il sistema europeo dei conti Sec95 stabilisce che la classificazione impiegata per le branche di attività economica sia la NaceRev. 1.1, mentre per i prodotti la classificazione utilizzata è la CPA che, per ogni livello di aggregazione

mostra i prodotti principali delle branche di attività economica della NaceRev. 1.1 rendendo quindi le due classificazioni compatibili.

Si delinea così un sistema di tre tavole interconnesse tra loro, il quadro I/O appunto:

- Tavola delle risorse (*supply*), mostra la disponibilità totale di risorse classificandole per prodotto e per branca di attività, separando produzione interna e importazioni[30].
- Tavola degli usi (*use*), mostra, classificati per prodotto e per branca di attività economica, gli impieghi dei beni e dei servizi illustrando anche i componenti del valore aggiunto lordo.
- Tavola simmetrica, derivata dalle tavole supply & use (SUT), indica quali beni e servizi sono utilizzati per produrre altri beni e servizi.

2.2.1 LA TAVOLA DELLE RISORSE

Le supply tables mostrano la disponibilità delle risorse distinguendo tra produzione interna ed importazioni. Sono matrici rettangolari composte a loro volta da altre tre importanti matrici:

- Matrice della produzione, è una matrice quadrata con, sulle righe i prodotti (classificazione CPA) e sulle colonne i dati delle branche di attività economica (classificazione NaceRev. 1.1). Questa matrice tiene conto del fatto che ciascuna branca di attività economica può produrre produzioni

secondarie, oltre quelle principali. Le produzioni principali, tipiche di ciascuna branca, si possono leggere, nella matrice, lungo la diagonale principale mentre invece nelle altre caselle troviamo le produzioni secondarie, prodotte collateralmente. Se non esistessero produzioni secondarie, la matrice della produzione sarebbe una matrice diagonale.

- Matrice delle importazioni, mostra i dati sulle importazioni CIF (Cost, Insurance and Freight) ovvero una delle clausole contrattuali più diffuse nelle compravendite internazionali.
- Matrice di valutazione, contiene i dati delle imposte nette sui prodotti ed i margini di trasporto che vanno aggiunti ai prezzi base per passare ai prezzi di acquisto.

Se si aggregano le branche di attività economica e i prodotti in tre settori, la tavola delle risorse a prezzi base si presenta così:

prodotti (CPA)	branche di attività economica (NACERev1.1)					
	produzione ai prezzi base				importazioni cif	risorse totali a prezzi base
	agricoltura	industria	servizi	totale		
agricoltura	46.459	0	674	47.133	9.257	56.390
industria	636	950.206	39.280	990.122	250.474	1.240.596
servizi	391	43.292	1.233.549	1.277.232	40.804	1.318.036
totale	47.485	993.498	1.273.504	2.314.487	300.535	2.615.022

Figura 5: Figura 4 Tavola delle risorse a prezzi base – anno 2000. Fonte: nota metodologica 2006, ISTAT

Per ottenere la tavola ai prezzi di acquisto, si aggiunge la matrice di valutazione:

prodotti (CPA)	branche di attività economica (NACERev1.1)							
	produzione ai prezzi base				importazioni cif	risorse totali a prezzi base	margini e imposte nette	risorse totali a prezzi di acquisto
	agricoltura	industria	servizi	totale				
agricoltura	46.459	0	674	47.133	9.257	56.390	23.336	79.727
industria	636	950.206	39.280	990.122	250.474	1.240.596	324.363	1.564.959
servizi	391	43.292	1.233.549	1.277.232	40.804	1.318.036	-220.679	1.097.356
totale	47.485	993.498	1.273.504	2.314.487	300.535	2.615.022	127.020	2.742.042

Figura 6: Tavola delle risorse ai prezzi di acquisto - anno 200. Fonte: nota metodologica 2006, ISTAT

2.2.2 LA TAVOLA DEGLI IMPIEGHI

Le use tables mostrano come e dove beni e servizi vengono impiegati dalle branche, per prodotto e per tipo di impiego. È la tavola della domanda, sia intermedia (prodotta dalle imprese per gli input della loro produzione), sia finale (prodotta dalle famiglie, governi e imprese o dal resto del mondo come esportazioni). Fornisce inoltre informazioni sul valore aggiunto lordo

Per prima cosa viene redatta la tavola a prezzi di acquisto:

Prodotti	Produzione per branca				Impieghi intermedi	Consumi totali	Invest.ti lordi fissi	Esport.ni FOB	Impieghi finali	Impieghi totali
	Agricoltura	Industria	Servizi							
Agricoltura	6.422	32.268	8.021	46.712	28.415	731	3.870	33.015	79.727	
Industria	9.395	516.988	176.625	703.007	381.921	222.884	257.147	861.952	1.564.959	
Servizi	1.911	141.777	357.044	500.732	540.467	22.874	33.284	596.624	1.097.356	
Totale	17.728	691.032	541.690	1.250.451	950.802	246.488	294.301	1.491.591	2.742.042	

Figura 7: tavola degli impieghi ai prezzi di acquisto - anno 2000. Fonte: nota metodologica, ISTAT

Mentre nelle supply tables si utilizzano le importazioni CIF, qui si inseriscono le esportazioni FOB (Free On Board), clausole contrattuali in uso nelle compravendite internazionali; questo perché quando si esporta il prezzo FOB è relativo al solo prodotto, i costi complessivi dei beni e servizi importati vengono sostenuti da chi produce (nella tabella vengono allocati nella colonna della branca di produzione), costi accessori inclusi; le spese di trasporto e assicurazione, invece, rientrano nei servizi e sono allocate in righe diverse della tavola.

È interessante notare come le prime quattro colonne di questa tabella siano simili ad una matrice di Leontief ma, a causa delle produzioni secondarie, contengono informazioni diverse. Ad esempio, in una matrice di Leontief, la prima colonna esprimerebbe quanto dei prodotti di tutti i settori interviene nella produzione del settore “Industria” mentre in questa tabella quanti prodotti intervengono nella produzione industriale e non della branca economica “Industria” (produzioni secondarie dei settori non agricoli incluse). Il passo successivo è la costruzione di tre matrici:

- La *matrice dei margini distributivi* contiene i margini di commercio e trasporto gravanti sui prodotti veduti ai settori intermedi e finali.
- La *matrice delle imposte dirette nette* contiene: IVA, imposte sulle importazioni e imposte nette sui prodotti ai prezzi di acquisto.
- La *matrice di valutazione*, somma delle due precedenti.

Sottratta alla matrice “use” ai prezzi di acquisto, la matrice di valutazione permette di ottenere una tavola ai prezzi base:

prodotti (CPA)	branche di attività economica (NACERev1.1)				consumi	investimenti	esportazioni	impieghi finali	impieghi totali
	agricoltura	industria	servizi	impieghi intermedi					
agricoltura	5.756	29.122	7.064	41.942	9.920	651	3.878	14.448	56.390
industria	7.799	452.304	142.492	602.596	201.095	196.287	240.618	638.001	1.240.596
servizi	3.832	198.537	370.228	572.598	659.079	38.518	47.841	745.438	1.318.036
costi intermedi	17.387	679.963	519.784	1.217.135	870.094	235.456	292.337	1.397.887	2.615.022
prezzi base imposte nette	341	11.069	21.906	33.316	80.707	11.032	1.964	93.704	127.020
costi intermedi	17.728	691.032	541.690	1.250.451	950.802	246.488	294.301	1.491.591	2.742.042
prezzi d'acq. valore aggiunto a prezzi base	29.757	302.466	731.814	1.064.036					
produzione a prezzi base	47.485	993.498	1.273.504	2.314.487					

Figura 8: Tavola degli impieghi ai prezzi base - anno 2000. Fonte: nota metodologica 2006, ISTAT

È interessante notare come la riga dei “servizi” (nella colonna dei prodotti) presenta importi superiori a quelli della tavola a prezzi d’acquisto, questo perché comprende i margini di commercio e trasporto pagati sui prodotti degli altri settori. Le imposte nette vengono aggiunte al costo dei consumi intermedi a prezzi base. Ai costi sostenuti dai produttori va aggiunto il valore aggiunto a prezzi base così da ottenere la produzione a prezzi base.

All’insieme di queste tavole, appena illustrate, viene aggiunta la matrice use delle importazioni CIF:

prodotti (CPA)	branche di attività economica (NACERev1.1)				consumi	investimenti	esportazioni	impieghi finali	impieghi totali
	agricoltura	industria	servizi	impieghi intermedi					
agricoltura	70	5.587	497	6.154	1.919	1.185	0	3.104	9.258
industria	132	157.727	12.188	170.047	45.314	32.808	2.305	80.427	250.474
servizi	148	15.894	21.984	38.026	2.036	741	1	2.778	40.804
totale	350	179.208	34.669	214.227	49.269	34.734	2.306	86.309	300.536

Figura 9: Matrice delle importazioni CIF - anno 2000. Fonte: nota metodologica 2006, ISTAT

Questa matrice descrive la distribuzione della matrice delle esportazioni usata nella tavola delle risorse, in base all'impiego.

Le tavole SUT sono elaborate aggregando migliaia di dati, separatamente e da fonti diverse, diventa quindi necessario correggere errori, incongruenze ed omissioni. Viene considerato accettabile una somma delle discrepanze dello 0,17% del totale, ottenendo una tavola finale in cui le risorse e gli impieghi ai prezzi di acquisto sono uguali per ciascun prodotto.

2.2.3 LE TAVOLE SIMMETRICHE

Il calcolo delle matrici e dei moltiplicatori a partire dalle tabelle SUT è complesso e per questo motivo è preferibile utilizzare la tavola simmetrica. Le tavole simmetriche derivano dalle SUT e utilizzano come unità le unità di produzione omogenea (UPO), in modo che per colonne, la tavola rifletta la struttura di produzione corrispondente esclusivamente ad un tipo di prodotto. Per questo non

si può elaborare la tavola simmetrica direttamente da dati statistici, per la difficoltà di reperire dati diretti sulle UPO, si utilizzano stime indirette o miste.

La struttura delle tavole simmetriche è simile a quella della tavola degli impieghi ma a differenza di questa che è una matrice “prodotto*branca”, esse hanno intestazioni uguali per righe e colonne. Ci sono:

- *tavola branca*branca*, indica le relazioni interindustriali e quindi quanto della produzione di ogni branca di attività economica è impiegato nell'attività di produzione delle altre branche
- *tavola prodotto*prodotto*, indica le relazioni tecnologiche e quindi i prodotti che saranno necessari per la produzione di ciascun altro prodotto, di qualsiasi branca.

Queste tavole, che consentono di esaminare direttamente gli equilibri contabili, sono due, mentre la matrice di Leontief è una sola, questo perché il modello di Leontief prevede che branche e prodotti coincidano; ad esempio, l'output del settore industriale sarà costituito solo dai prodotti industriali, eliminando le produzioni secondarie.

Semplificando, il problema principale, è l'allocazione delle produzioni secondarie che vengono quindi eliminate dalle celle in cui si trovano e ricollocate in quelle in cui sono la produzione principale. Queste procedure puntano ad ottenere una struttura di produzione espressa in coefficienti tecnici e si basano su due ipotesi principali:

- *tecnologia di prodotto*, assume che ciascun bene sia prodotto sempre con la stessa tecnologia.
- *tecnologia di branca*, assume che ciascuna branca di attività economica utilizzi la stessa tecnologia per produrre, anche per le produzioni secondarie.

Entrambe le tavole vengono costruite con entrambe le ipotesi, come consigliato da Sec95.

2.2.4 IL QUADRO INPUT OUTPUT

Le tavole, così definite si compongono quindi di tre parti fondamentali:

- Consumi intermedi (1)
- Impieghi finali (2)
- Input primari (3)

		Settori	Impieghi finali (2)				Risorse totali
			C	E	I	ΔS	
Settori		Consumi intermedi (Z) (1)					
Input primari (3)	VA						
	Importazioni						
Risorse totali							

Figura 10: Quadro modello Input - Output. Fonte: rielaborazione personale da appunti

Come mostrato in figura 9, i consumi intermedi (CI, Z_{ij}) occupano la parte centrale della tavola e mostrano il consumo intermedio dell'output di un settore da parte di un altro. " Z_{ij} " indica il consumo di input del settore i che il settore j utilizza nella sua produzione:

- Per file, vediamo la quantità di input che il settore capofila "cede" a tutti gli altri settori, compreso sé stesso, da utilizzare nella produzione.
- Per colonne vediamo tutti gli acquisti di beni intermedi che il settore che da nome alla colonna ha effettuato dagli altri settori, sé stesso compreso, per produrre.

Al lato destro dei CI troviamo gli Impieghi finali dei prodotti di ogni settore.

Queste destinazioni finali possono essere:

- Consumi privati (C_p)
- Consumo pubblico (CP)
- Esportazioni (E)
- Investimenti (I), si tratta degli investimenti effettuati dall'intera economia:
investimenti fissi lordi
- Variazioni delle scorte (ΔS), insieme agli investimenti generano la
Formazione Lorda di Capitale (FBK)

In breve, per file, la produzione di un settore avrà diversi usi intermedi e finali così espressi:

$$x_i = \sum_{j=1}^n Z_{ij} + [C_i + E_i + I_i + \Delta S_i] \quad (1)$$

Dove x_i è la produzione del settore i , Z_{ij} i consumi intermedi del i che il settore j utilizza per produrre, C_i sono i consumi (privati e pubblici), E_i le esportazioni del settore i , I_i gli investimenti dell'economia in beni del settore i e ΔS_i è la variazione delle scorte di prodotti del settore i .

Sotto Z , troviamo gli Input primari, sono i fattori di produzione (L e K), questa parte comprende il valore aggiunto e le sue componenti. Il valore aggiunto (VA) è determinato come differenza tra il valore della produzione di un settore e il totale dei consumi intermedi (interni ed importati) da esso utilizzati.

Concludendo, il modello I/O mostra la struttura produttiva dei settori:

$$x_j = \sum_{i=1}^n Z_{ij}^d + \sum_{i=1}^n Z_{ij}^m + VA_j \quad (2)$$

L'apice "d" nell'equazione indica gli input domestici mentre l'apice "m" quelli importati. Per ottenere le risorse totali (R) a disposizione dell'economia (l'offerta), è necessario aggiungere le importazioni (M):

$$R_j = x_j + M_j = \sum_{i=1}^n Z_{ij}^d + \sum_{i=1}^n Z_{ij}^m + VA_j + M_j \quad (3)$$

E la domanda:

$$R_i = \sum_{j=1}^n Z_{ij}^T + [C_i^T + E_i^T + I_i^T + \Delta S_i^T] \quad (4)$$

L'apice "T" indica che si tratta del totale (quantità domestiche più le importazioni).

In forma matriciale, se denominiamo Y la matrice della domanda finale, la domanda per righe è:

$$R = Zu + Yu \quad (5)$$

Qua "u" è un vettore colonna di uno che consente di sommare la matrice Z degli input intermedi per righe.

Il quadro I/O richiede inoltre, ovviamente che la domanda corrisponda all'offerta.

$$R = Zi + Yi = x + M \quad (6)$$

2.3 IL MODELLO QUANTITATIVO DI LEONTIEF

Dal quadro descritto nei paragrafi precedenti, supponendo che le funzioni di produzione siano lineari e quindi che i coefficienti tecnici siano costanti (rendimenti di scala costanti), che i prezzi non abbiano influenza alcuna e che non ci sia possibilità di sostituzione tra i fattori produttivi, si può costruire il modello quantitativo di Leontief.

I coefficienti tecnici "a_{ij}", che indicano la quantità di input del settore "i" necessario alla produzione di un'unità di output del settore "j", sono calcolati come:

$$a_{ij} = \frac{Z_{ij}}{x_j} \quad (7)$$

E in forma matriciale come:

$$A = Z\hat{x}^{-1} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{x_1} & 0 \\ 0 & \frac{1}{x_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{Z_{11}}{x_1} & \frac{Z_{12}}{x_2} \\ \frac{Z_{21}}{x_1} & \frac{Z_{22}}{x_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \quad (8)$$

dove \hat{x}^{-1} è la matrice inversa della produzione e il simbolo “ $\hat{}$ ” indica che è una matrice diagonale. La matrice A dei coefficienti tecnici mostra:

- Per riga gli input intermedi del settore in testa alla fila (il primo pedice) che vengono utilizzati in tutti gli altri settori
- Per colonna gli input intermedi di tutti i settori dell’economia che il settore in testa alla colonna utilizza per la produzione.

Quindi da: “ $Ax = Zi$ ” abbiamo che:

$$x = Ax + y \quad (9)$$

con $y=Yu$, l’equazione 9 indica che la produzione di ogni settore ha una parte destinata ai consumi intermedi (Ax) e una parte destinata alla domanda finale (y), questa è un modello che contiene un’ipotesi sul funzionamento dell’economia (accantonando per ora le importazioni). Dall’equazione 9 possiamo vedere la produzione come un multiplo della domanda finale:

$$x = (I - A)^{-1} y \quad (10): \text{Equazione fondamentale del modello I/O di Leontief}$$

con $(I-A)^{-1}$ che è chiamata “inversa di Leontief (L o B). Questo modello considera la domanda finale (y) esogena, capace di determinare il livello di produzione (x). L’inverso di Leontief si comporta come un moltiplicatore, simile al moltiplicatore keynesiano, ma disaggregato per settori poiché, data una domanda finale, ad esempio di un automobile da parte di un privato, non basterà considerare la produzione dell’automobile e il suo sito produttivo, ma sarà anche necessario produrre tutti gli input diretti come le ruote, i finestrini, le parti in metallo o il GPS, ma anche gli input intermedi indiretti come la gomma, i tessuti per gli interni o i prodotti chimici e così via a ritroso.

$$\Delta x = (I - A)^{-1} \Delta y \quad (11)$$

Dall’equazione 11 vediamo infatti che, essendo i coefficienti tecnici costanti, l’aumento della produzione (Δx) derivante da un aumento della domanda finale (Δy), è legato all’inverso di Leontief, sottolineandone l’importanza come moltiplicatore.

Per questo motivo, la somma, per colonna, di L è chiamata moltiplicatore di tipo 1 (o moltiplicatore della produzione) perché dice di quanto deve aumentare la produzione di tutta l’economia se la domanda finale del settore della colonna

aumenta di un'unità; gli elementi interni alla colonna ci dicono quanta parte di tale aumento si colloca in ciascun settore.

L'equazione 10, per semplicità si trasforma in forma matriciale:

$$x = (I - A)^{-1} y = \begin{pmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} \\ \beta_{21} & \beta_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$x_1 = \beta_{11}y_1 + \beta_{12}y_2$$

$$x_2 = \beta_{21}y_1 + \beta_{22}y_2$$

Qui chiamiamo β gli elementi generici della matrice inversa di Leontief con il generico β_{ij} denotiamo la quantità di prodotto del settore i (riga) richiesta per soddisfare la domanda finale del prodotto j (colonna), per unità di output.

L'inversa di Leontief può anche essere calcolata matematicamente come sviluppo di una serie di potenze della matrice A di coefficienti tecnici:

$$(I - A)^{-1} = I + A^1 + A^2 + A^3 + \dots \quad (13)$$

Nell'equazione 13, "I" è la matrice identità, cioè una matrice diagonale con, sulla diagonale principale, solo il valore "1". In questa serie, la matrice identità contiene l'effetto di un aumento unitario della domanda, mentre le potenze di "A" gli effetti indiretti e quindi, "A" raccoglierà i fattori produttivi necessari direttamente per produrre l'unità di prodotto finale, nello stadio di produzione precedente, "A²" i fattori produttivi necessari a produrre i fattori produttivi di "A" e così via procedendo a ritroso nella produzione. Questo mostra come, ogni

elemento dell'inversa di Leontief contiene il fabbisogno di input i , diretto e indiretto, necessario per ottenere un'unità di output j nella domanda finale.

In conclusione, l'equazione di base dell'analisi I/O, se sostituiamo il vettore della domanda finale con la sua matrice diagonalizzata (\hat{y}), dà come risultato una matrice (X) che ha come somma per righe, la produzione del settore e per colonne la produzione destinata alla domanda finale del settore che dà il nome alla colonna.

$$\begin{aligned}
 X &= (I - A)^{-1} \hat{y} = \begin{pmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} \\ \beta_{21} & \beta_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 & 0 \\ 0 & y_2 \end{pmatrix} = \\
 &= \begin{pmatrix} \beta_{11}y_1 & \beta_{12}y_2 \\ \beta_{21}y_1 & \beta_{22}y_2 \end{pmatrix} & (14) \\
 x_1 &= \beta_{11}y_1 + \beta_{12}y_2 \\
 x_2 &= \beta_{21}y_1 + \beta_{22}y_2
 \end{aligned}$$

Moltiplicando per l'inverso di Leontief si ottiene quindi una riallocazione della produzione, i consumi intermedi vengono assegnati al settore che li utilizza per produrre anziché a quello che li produce, per colonne.

2.4 I MOLTIPLICATORI

Come illustrato nel paragrafo precedente, l'inversa di Leontief è un moltiplicatore, della produzione in particolare poiché ci dice l'impatto che un aumento della domanda finale avrà sulla produzione.

L'inversa di Leontief è utilizzata come operatore nel calcolo di altri moltiplicatori, moltiplicando la matrice inversa di Leontief per un fattore si ottiene infatti un

moltiplicatore che indica il fabbisogno di quel fattore necessario per generare l'aumento di un'unità di prodotto finale; con l'unico limite che il fattore o l'impatto deve aumentare con la produzione e possa essere settorialmente diversificato.

Supponiamo esista un generico fattore “c” che può essere un fattore di produzione, una risorsa ma anche un impatto ambientale, come le emissioni di carbonio, sarà possibile calcolare i coefficienti del fattore “c” tramite l'equazione:

$$c_i = C_i / x_i \quad (15)$$

Dove C_i è il fattore totale del settore i , x_i è la produzione del settore e c_i è il coefficiente del fattore c che sta ad indicare la quantità ottenuta del fattore i per unità di produzione.

Moltiplicando quindi entrambi i membri dell'equazione fondamentale per il coefficiente “c” otterremo il fattore “C” totale per ogni settore economico, associato alla domanda finale (vettore C):

$$cx = c(I - A)^{-1}y = C \quad (16)$$

Nell'equazione 16, “ $\hat{c}(I-A)^{-1}$ ” = “MC” è il moltiplicatore del fattore “c” che indica il totale degli input di “c” necessari per produrre un unità in più nella domanda finale di ciascun settore dell'economia; è importante notare che i coefficienti di “c” vengono diagonalizzati in modo che il moltiplicatore abbia forma di matrice.

Tra i moltiplicatori calcolabili, il più comune è il moltiplicatore dell'occupazione, che fornisce occupazione totale, diretta e indiretta, necessaria per produrre tutti gli input richiesti per aggiungere un'unità di prodotto alla produzione finale (in forma vettoriale):

$$\mathbf{l}x = \mathbf{l}(I - A)^{-1} \mathbf{y} = \mathbf{L} \quad (17)$$

Altri importanti moltiplicatori calcolabili sono: il moltiplicatore del valore aggiunto o del reddito (V) che indica il reddito o valore aggiunto generato per ogni unità in più di domanda finale, i moltiplicatori di acqua (W) e terra (T) che indicano il fabbisogno di ciascuno di questi due fattori per unità di domanda finale e il moltiplicatore delle emissioni (E) che misura le emissioni generate per la produzione di un'unità aggiuntiva di prodotto destinato alla domanda finale:

$$\mathbf{V} = \widehat{\mathbf{v}}\mathbf{a}(I - A)^{-1}\widehat{\mathbf{y}} = \mathbf{VA}\widehat{\mathbf{y}} \quad (18)$$

$$\mathbf{W} = \widehat{\mathbf{w}}(I - A)^{-1}\widehat{\mathbf{y}} = \mathbf{W}\widehat{\mathbf{y}} \quad (19)$$

$$\mathbf{T} = \widehat{\mathbf{t}}(I - A)^{-1}\widehat{\mathbf{y}} = \mathbf{T}\widehat{\mathbf{y}} \quad (20)$$

$$\mathbf{E} = \widehat{\mathbf{e}}(I - A)^{-1}\widehat{\mathbf{y}} = \mathbf{EM}\widehat{\mathbf{y}} \quad (21)$$

Un valido esempio di utilizzo di questi moltiplicatori possiamo ritrovarlo nell'articolo di Monsalve, Zafrilla e Cadarso del 2016[31], dal nome *“Where have all the funds gone? Multiregional input-output analysis of the European*

Agricultural Fund for Rural Development.” Lo studio mostra i diversi impatti e gli effetti di trascinamento sul valore aggiunto, sull’occupazione, sulle imposte generate, sulle emissioni prodotte e sul fabbisogno idrico generati dalla spesa associata ai fondi rurali dell’Unione Europea (EAFRD). L’analisi di questi impatti li suddivide in base a dove sono generati, considerando le 6 macroregioni UE, BRIIAT (Brasile, Russia, India, Indonesia, Australia e Turchia), West Asia, NAFTA, China e RoW (resto del mondo). I risultati di questo studio, mostrati in figura 10, dimostrano come l’84% della produzione (in rosso) e l’83% del reddito (blu) generato dai fondi EAFRD rimangano all’interno dei paesi dell’Unione Europea mentre solo il 72% dell’occupazione (giallo) generata lo fa; gli impatti ambientali negativi, cioè le emissioni prodotte (viola) e il l’utilizzo di acqua (fucsia) hanno invece maggiori “perdite” verso altri paesi, principalmente verso aree meno sviluppate come Row e BRIIAT (la parte restante dell’occupazione fa lo stesso). Inoltre, il confronto delle differenze rilevate in ogni regione, tra l’impatto generato da ogni euro investito dai fondi EAFRD e le emissioni causate, arriva alle stesse conclusioni; l’UE, paese di origine dei fondi, trattiene sul suo territorio più dell’80% della produzione generata dai fondi ma solo il 62% delle emissioni associate mentre i paesi BRIIAT, ad esempio, trattengono solo il 3% della produzione ma il 12% delle emissioni. Il confronto degli impatti è molto importante per gli studi di sostenibilità.

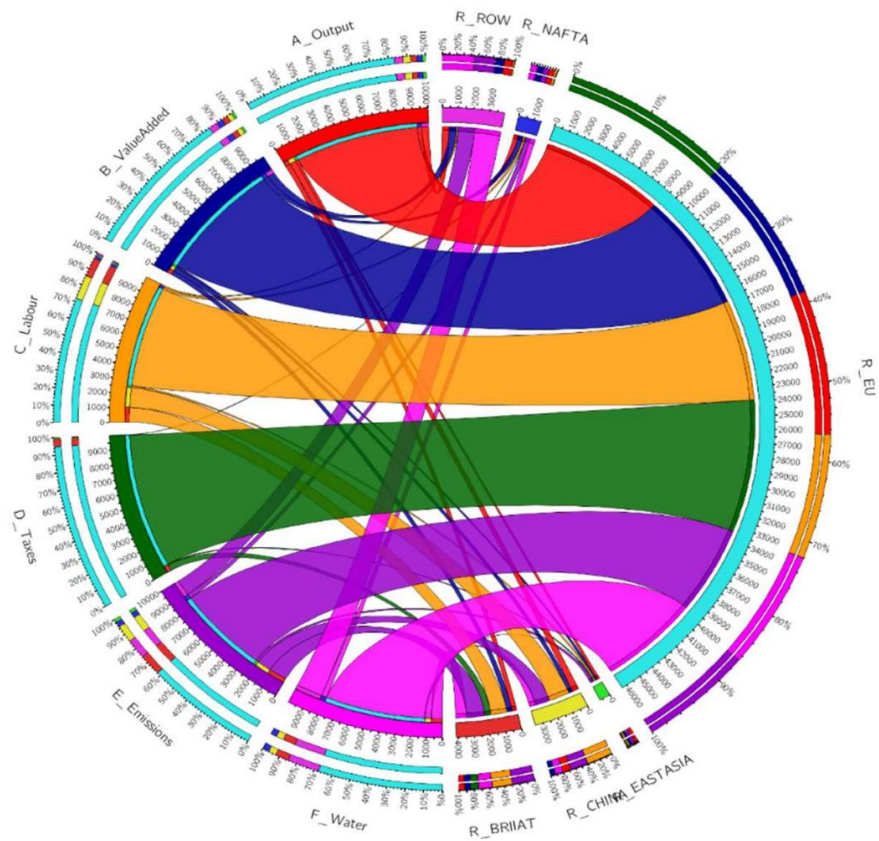


Figura 11: Allocazione degli impatti generati dai fondi EAFRD. Fonte: Monsalve, Zafrilla e Cadarso (2016)

2.5 ANALISI INPUT OUTPUT IN MODELLI MULTIREGIONALI

2.5.1 MODELLI MONOREGIONALI (SRIO)

Le espressioni sopra riportate sono universalmente valide quando si parla di analisi I/O, ma con la presenza di importazioni c'è la necessità di distinguere, nei consumi intermedi, tra quelli prodotti all'interno del paese e quelli importati, cioè prodotti all'estero; questo porta ad alcune estensioni del modello. In questo paragrafo vedremo cosa succede nel caso di modelli monoregionali (SRIO, Single Region Input Output analysis)

Avremo ora, visto che i consumi intermedi sono divisi in due flussi, due matrici dei coefficienti tecnici: quella interna o domestica (A^d) e quella esterna, importata (A^m), queste due matrici insieme formano la matrice dei coefficienti totali (A^t):

$$A^d = Z^d \hat{x}^{-1} \quad (22)$$

$$A^m = Z^m \hat{x}^{-1} \quad (23)$$

$$A^t = A^d + A^m \quad (24)$$

Ora, le risorse totali dell'economia, (offerta) sono formate da una parte di produzione domestica e una parte di produzione importata:

$$\begin{aligned} X^T &= X^d + X^m = X^d + M \\ X^d &= A^d X^d + y^d \\ X^m &= M = A^m X^d + y^m \end{aligned} \quad (25)$$

A questo punto si può calcolare la produzione come il prodotto tra l'inversa di Leontief e la domanda finale coperta dalla produzione domestica:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}^d)^{-1} \mathbf{y}^d \quad (26)$$

Quindi, le importazioni totali del paese (M) avranno una parte intermedia costituita dagli input che le imprese acquistano per la produzione (Z^m) e un'altra parte destinata alla domanda finale e quindi ai consumi (Y^m):

$$\mathbf{M} = \mathbf{Z}^m \mathbf{i} + \mathbf{y}^m = \mathbf{A}^m \mathbf{x} + \mathbf{y}^m = \mathbf{A}^m (\mathbf{I} - \mathbf{A}^d)^{-1} \mathbf{y}^d + \mathbf{y}^m \quad (27)$$

Con $\mathbf{A}^m = (\mathbf{I} - \mathbf{A}^d)^{-1}$ un moltiplicatore matriciale che riporta quale è il fabbisogno totale, diretto e indiretto di fattori produttivi importati, per ogni unità prodotta, è l'inversa di Leontief domestica che dice quindi l'impatto di una variazione della domanda finale domestica, senza tener conto delle importazioni e dell'effetto trascinamento che queste ultime comportano all'estero. Se si utilizza invece il moltiplicatore totale $(\mathbf{I} - \mathbf{A}^t)^{-1}$ si ottiene invece l'impatto complessivo, interno ed esterno al paese, assumendo sempre che le importazioni siano prodotte con la stessa tecnologia dei prodotti nazionali (ipotesi tecnologica).

2.5.2 I MODELLI MULTIREGIONALI (MRIO)

La differenza fondamentale di questi modelli è che ora vengono inclusi diversi paesi e il resto del mondo con le loro relazioni commerciali, sia intermedie che finali. La tavola Input Output in un contesto multiregionale si presenta composta dalle stesse tre parti, Consumi intermedi, Impieghi finali e Input primari, la differenza è che ora, avendo diversi paesi all'interno della tavola, avremo informazioni diverse:

- Per righe, avremo ciò che un paese vende a sé stesso e agli altri in ogni settore come input intermedi e impieghi finali
- Per colonne, avremo ciò che un paese acquista da se stesso e dal resto del mondo sia come input intermedio per la produzione.

		Consumi Intermedi			Domanda Finale			Produzione
		Paese A 1...N	Paese B 1...N	Paese C 1...N	DF A 1...G	DF B 1...G	DF C 1...G	
Consumi Intermedi	Paese A 1...N	Z ¹¹	Z ¹²	Z ¹³	Y ¹¹	Y ¹²	Y ¹³	X ¹
	Paese B 1...N	Z ²¹	Z ²²	Z ²³	Y ²¹	Y ²²	Y ²³	X ²
	Paese C 1...N	Z ³¹	Z ³²	Z ³³	Y ³¹	Y ³²	Y ³³	X ³
Input Primari	W	W ¹	W ²	W ³				
	B	B ¹	B ²	B ³				
Produzione		X ¹	X ²	X ³				

Figura 12: Modello Input Output in contesto multiregionale. Fonte rielaborazione personale da appunti

- In figura 11, gli apici indicano ora il paese di origine del bene (il primo) e il paese di destinazione (il secondo), quindi, per una coppia di paesi “r” e “s”,
- Z^{rs} , rappresenta una matrice ($N*N$) riportante i consumi intermedi prodotti nel paese r che vengono utilizzati nel paese s per la produzione,
- Y^{rs} , rappresenta i prodotti fabbricati in r che soddisferanno la domanda finale nel paese s, sono quindi le esportazioni finali dal paese r al paese s (a condizione che r e s non siano lo stesso paese),
- Y^{rr} , rappresenta una matrice ($N*G$) con G che rappresenta le diverse categorie di domanda finale (consumi privati, amministrazione pubblica, investimenti e variazioni delle scorte) e mostra i beni e i servizi prodotti nel paese r che soddisfano la domanda finale dello stesso paese r. È la domanda finale interna soddisfatta dalla produzione domestica di r.
- X^r è la somma per righe e la quindi la produzione totale di ogni paese in ogni settore. È il vettore ($N*1$) della produzione per ogni settore del paese.
- W^r e B^r , negli input primari, sono vettori ($1*N$) che indicano i salari e i profitti del paese r.

Per file, la tabella I/O multiregionale soddisfa le stesse identità della SRIO ma, nella matrice dei coefficienti tecnici multiregionali “A”, sulla diagonale principale

sono presenti le matrici dei coefficienti tecnici nazionali mentre nelle altre posizioni quelle dei coefficienti importati.

Anche in MRIO la produzione può essere ottenuta tramite l'inversa di Leontief:

$$\boxed{x = (I - A)^{-1} y} \quad (28)$$

L'equazione fondamentale del modello I/O è quindi la stessa anche il MRIO, per i tre paesi d'esempio e chiamando L l'inversa di Leontief avremo:

$$\begin{pmatrix} x^1 \\ x^2 \\ x^3 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} L^{11} & L^{12} & L^{13} \\ L^{21} & L^{22} & L^{23} \\ L^{31} & L^{32} & L^{33} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} y^{11} + y^{12} + y^{13} \\ y^{21} + y^{22} + y^{23} \\ y^{31} + y^{32} + y^{33} \end{pmatrix} \quad (29)$$

Come già visto in SRIO, diagonalizzando si ottengono i risultati sotto forma di matrice. In MRIO abbiamo due possibilità di diagonalizzazione, esse saranno molto importanti nel capitolo successivo per il calcolo della responsabilità delle emissioni ma in generale per qualsiasi impatto ambientale.

Il modo più immediato è “per diagonale principale”, si somma cioè la domanda finale domestica ed esportata, per tipo di bene, alle sue componenti (già calcolate) e porre il risultato nella diagonale principale:

$$\begin{pmatrix} \bar{x}^{11} & \bar{x}^{12} & \bar{x}^{13} \\ \bar{x}^{21} & \bar{x}^{22} & \bar{x}^{23} \\ \bar{x}^{31} & \bar{x}^{32} & \bar{x}^{33} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} L^{11} & L^{12} & L^{13} \\ L^{21} & L^{22} & L^{23} \\ L^{31} & L^{32} & L^{33} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \hat{y}^{1\bullet} & 0 & 0 \\ 0 & \hat{y}^{2\bullet} & 0 \\ 0 & 0 & \hat{y}^{3\bullet} \end{pmatrix} \quad (30)$$

Nell'equazione 30, $\hat{y}^{1\bullet}$ è la somma per righe della domanda finale. In questo modo si ignorano le esportazioni di ciascun paese e quando si analizza la matrice

di produzione, tutta la produzione trascinata dalla domanda finale viene assegnata al settore e al paese che produce i beni per la domanda finale. Questo sistema non viene utilizzato per ottenere l'impronta carbonica di un paese, in quanto include la produzione esportata, mentre invece il criterio di responsabilità del consumatore la assegna al paese che consuma.

Una seconda possibilità di diagonalizzazione è quella "per parti", assegnare cioè tutta la produzione ai consumatori e non al settore o al paese produttore, è il metodo utilizzato per il calcolo dell'impronta carbonica in quanto in accordo con il criterio della responsabilità del consumatore. Diagonalizzando la domanda finale interna sulla diagonale principale e la domanda finale esportata nelle posizioni esterne ad essa, una volta aggregate tutte le componenti otterremo, per righe la produzione di ogni settore, come nell'equazione 30, ma per colonne otterremo invece tutta la produzione associata alla domanda finale, assegnata al paese che l'ha acquistata e consumata e non a quello che l'ha prodotta:

$$\begin{pmatrix} x^{11} & x^{12} & x^{13} \\ x^{21} & x^{22} & x^{23} \\ x^{31} & x^{32} & x^{33} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} L^{11} & L^{12} & L^{13} \\ L^{21} & L^{22} & L^{23} \\ L^{31} & L^{32} & L^{33} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \hat{y}^{11} & 0 & 0 \\ 0 & \hat{y}^{22} & 0 \\ 0 & 0 & \hat{y}^{33} \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} L^{11} & L^{12} & L^{13} \\ L^{21} & L^{22} & L^{23} \\ L^{31} & L^{32} & L^{33} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 0 & \hat{y}^{12} & \hat{y}^{13} \\ \hat{y}^{21} & 0 & \hat{y}^{23} \\ \hat{y}^{31} & \hat{y}^{32} & 0 \end{pmatrix}$$

(31)

3 CAPITOLO III - RESPONSABILITÀ E IMPRONTA DI CARBONIO

3.1 COEFFICIENTI DI EMISSIONE E MOLTIPLICATORE DI EMISSIONI

Se si lavora in un ambiente multiregionale, per calcolare le responsabilità, secondo i criteri di consumer e producer responsibility di qualsiasi impatto ambientale, è necessario definire, in primo luogo, i coefficienti; i coefficienti di emissione vengono chiamati “e”.

Le emissioni antropogeniche di diossido di carbonio o di altri gas serra di un paese (\bar{E}) hanno due parti, una derivata dai processi di produzione (E) e una che deriva dal consumo (E^h). Le emissioni totali sono quindi calcolate come:

$$\bar{E} = E + E^h$$

In questo lavoro limitiamo la nostra analisi alla prima parte, ovvero alle emissioni legate alle attività di produzione (E). L’inclusione delle emissioni nel modello input output richiede la definizione dei coefficienti di emissione (e_i), che possono essere calcolati a partire dai dati settoriali delle emissioni analogamente ai coefficienti tecnici o occupazionali visti in precedenza:

$$e_i = \frac{E_i}{x_i} \quad (32)$$

in forma matriciale:

$$e = E\hat{x}^{-1} \quad (33)$$

o in forma di matrice diagonale:

$$\hat{e} = \hat{E}\hat{x}^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{E_1}{x_1} & 0 \\ 0 & \frac{E_2}{x_2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_1 & 0 \\ 0 & e_2 \end{pmatrix} \quad (34)$$

in questo modo, moltiplicando ogni componente dell'equazione fondamentale dell'analisi input output ($x-(I-A)^{-1}y$) per il coefficiente di emissione si ottiene l'espressione:

$$E = ex = e(I - A)^{-1}Y = eLy = py \quad (35)$$

Nell'equazione 35 si trovano, nel primo modulo le emissioni totali di ogni settore in ogni paese, mentre nel secondo modulo, $p = eL = e(I-A)^{-1}$ è il moltiplicatore delle missioni (sotto forma di vettore) e rappresenta le emissioni totali, dirette e indirette di tutto il mondo associate ad un'unità di prodotto destinata alla domanda finale, senza distinguere per paese e settore in cui le emissioni vengono generate. In un ambiente MRIO, nell'equazione 50, con m paesi e N settori, abbiamo che:

- E è uno scalare somma delle emissioni di ogni settore in ogni paese,
- e è un vettore fila ($1 \times (N \times m)$) dei coefficienti di emissione di ogni settore in ogni paese,

- p , moltiplicatore di emissioni con “e” come vettore è a sua volta un vettore
($1 \times (N \times m)$)

Senza l’ausilio di diagonalizzazione, l’espressione 35 dà come risultato uno scalare.

Se si diagonalizza il vettore dei coefficienti di emissione si ottiene una matrice dei moltiplicatori di emissione (P) la cui somma, per colonne, è il vettore dei moltiplicatori di emissione “ p ”:

$$\hat{e}L = P = \hat{e}(I - A)^{-1} = \begin{pmatrix} e^1 & 0 \\ 0 & e^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} L^{11} & L^{12} \\ L^{21} & L^{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^1 L^{11} & e^1 L^{12} \\ e^2 L^{21} & e^2 L^{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P^{11} & P^{12} \\ P^{21} & P^{22} \end{pmatrix} \quad (36)$$

con:

$$p = \begin{pmatrix} p^{\bullet 1} & p^{\bullet 2} \end{pmatrix} = \left((P^{11} + P^{21}) \quad (P^{12} + P^{22}) \right) \quad (37)$$

qui, il primo elemento indica tutte le emissioni per unità di domanda finale del paese uno, realizzate internamente (P^{11}) ed esternamente (P^{21}). Ogni sottomatrice “ P^{rs} ” è una matrice di moltiplicatori di emissione e mostra le emissioni avvenute nel paese “ r ” per un’unità di domanda finale nel paese “ s ”.

Per prassi, nella matrice, i paesi sono indicati nel pedice mentre i settori nell’apice.

Chiarendo con due esempi, con due settori: 1 e 2:

$$\begin{aligned}
P^{rs} &= \begin{pmatrix} e^r_1 & 0 \\ 0 & e^r_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta^{rs}_{11} & \beta^{rs}_{12} \\ \beta^{rs}_{21} & \beta^{rs}_{22} \end{pmatrix} = \\
& \begin{pmatrix} e^r_1 \beta^{rs}_{11} & e^r_1 \beta^{rs}_{12} \\ e^r_2 \beta^{rs}_{21} & e^r_2 \beta^{rs}_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varepsilon^{rs}_{11} & \varepsilon^{rs}_{12} \\ \varepsilon^{rs}_{21} & \varepsilon^{rs}_{22} \end{pmatrix}
\end{aligned} \tag{38}$$

Essendo β gli elementi della matrice inversa di Leontief (L) e ε gli elementi della matrice dei moltiplicatori (P), l'elemento generico di questa matrice P^{rs} è, come visto, una sottomatrice che mostra le emissioni realizzate nel paese r per un'unità di domanda finale del paese r, direttamente e indirettamente; queste sono tutte le emissioni realizzate per produrre tutti gli input direttamente e indirettamente necessari per soddisfare la domanda finale (contenuta nella sottomatrice della Inversa di Leontief, L^{rs}).

Dall'equazione 36, la matrice dei moltiplicatori sarà:

$$\left[\begin{array}{cc|cc} \varepsilon_{11}^{11} & \varepsilon_{12}^{11} & \varepsilon_{11}^{12} & \varepsilon_{12}^{12} \\ \varepsilon_{21}^{11} & \varepsilon_{22}^{11} & \varepsilon_{21}^{12} & \varepsilon_{22}^{12} \\ \hline \varepsilon_{11}^{21} & \varepsilon_{12}^{21} & \varepsilon_{11}^{22} & \varepsilon_{12}^{22} \\ \varepsilon_{21}^{21} & \varepsilon_{22}^{21} & \varepsilon_{21}^{22} & \varepsilon_{22}^{22} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c|c} P^{11} & P^{12} \\ \hline P^{21} & P^{22} \end{array} \right] \tag{39}$$

L'elemento generico ε^{rs}_{ij} rappresenta le emissioni realizzate dal settore i, nel paese r, per soddisfare un'unità di domanda finale del settore j nel paese s. Quindi:

- per file, si hanno le emissioni di un settore di un paese verso tutta l'economia, in tutto il mondo, attraverso i suoi inputs (per unità di

domanda finale). Sono le emissioni del processo produttivo delle merci del settore.

- per colonne, si hanno le emissioni che il settore di un paese riceve dagli altri settori da cui importa inputs, attraverso le emissioni incorporate negli stessi inputs (emissioni virtuali, dirette e indirette); dipendono da quanto sono contaminanti gli input utilizzati per la produzione.

Per concludere, la distinzione tra le emissioni dei settori osservabili può essere interpretata in chiave dei due principali criteri di contabilizzazione della responsabilità delle emissioni. Calcolare le emissioni per colonne significa studiare i settori e i paesi per il loro essere consumatori di input necessari per portare avanti i propri processi di produzione, al contrario calcolare le emissioni per colonne, significa andare a studiare i settori e i paesi come produttori dei propri prodotti o servizi.

3.2 DIAGONALIZZAZIONE DELLA DOMANDA FINALE

Per la diagonalizzazione della domanda finale (come già visto nel capitolo 3.5.2) abbiamo due opzioni, che portano a risultati con diverse interpretazioni, se analizzati per colonna, mentre invece, nell'analisi per righe, portano allo stesso risultato: le emissioni totali del settore osservato, nel paese analizzato.

Diagonalizzando con la tecnica della diagonale principale, trattando di emissioni, avremo:

$$\begin{pmatrix} \bar{F}^{11} & \bar{F}^{12} & \bar{F}^{13} \\ \bar{F}^{21} & \bar{F}^{22} & \bar{F}^{23} \\ \bar{F}^{31} & \bar{F}^{32} & \bar{F}^{33} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} P^{11} & P^{12} & P^{13} \\ P^{21} & P^{22} & P^{23} \\ P^{31} & P^{32} & P^{33} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \hat{y}^{1\bullet} & 0 & 0 \\ 0 & \hat{y}^{2\bullet} & 0 \\ 0 & 0 & \hat{y}^{3\bullet} \end{pmatrix} \quad (40)$$

Abbiamo ora che $\hat{y}^{1\bullet} = \sum_s y^{1s}$ è la somma, per file, della domanda finale. In questo modo, ignoriamo però dove sono dirette le esportazioni di ogni paese, chi le compra e chi le consuma. Quando analizziamo la matrice dell'equazione 40 per colonna invece, tutte le emissioni generate nei processi di produzione di tutti gli inputs richiesti per soddisfare la domanda finale vengono assegnati al settore e al paese che quei prodotti li produce, ignorando dove questi prodotti vengano effettivamente consumati. In questo caso quindi, le colonne riportano tutte le emissioni, dirette e indirette, realizzate in tutto il mondo e in tutti i settori dell'economia per produrre un'unità di produzione del settore che da nome alla colonna. Una colonna indica quindi quanto un'industria è contaminante, a livello di paese, come consumatrice (di inputs produttivi). Il risultato ottenuto segue il criterio di responsabilità del consumatore, ma solo a livello settoriale, non nazionale, perché include anche la produzione di ogni settore che non viene consumata all'interno dei confini ma viene invece esportata; secondo il criterio CBA invece queste emissioni vanno assegnate al paese che le importa e effettivamente le consuma.

Per file, otteniamo la responsabilità del produttore, sia a livello di paese che di settore.

Diagonalizzando per parti ogni settore della domanda finale, cioè poniamo la domanda finale domestica nella diagonale principale e la domanda finale esportata nelle posizioni fuori dalla diagonale principale, una volta aggregati, per il caso delle emissioni, avremo:

$$\begin{pmatrix} F^{11} & F^{12} & F^{13} \\ F^{21} & F^{22} & F^{23} \\ F^{31} & F^{32} & F^{33} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} P^{11} & P^{12} & P^{13} \\ P^{21} & P^{22} & P^{23} \\ P^{31} & P^{32} & P^{33} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \hat{y}^{11} & 0 & 0 \\ 0 & \hat{y}^{22} & 0 \\ 0 & 0 & \hat{y}^{33} \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} P^{11} & P^{12} & P^{13} \\ P^{21} & P^{22} & P^{23} \\ P^{31} & P^{32} & P^{33} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 0 & \hat{y}^{12} & \hat{y}^{13} \\ \hat{y}^{21} & 0 & \hat{y}^{23} \\ \hat{y}^{31} & \hat{y}^{32} & 0 \end{pmatrix}$$

(41)

Sommando per file, ugualmente alla modalità per diagonale principale, otterremo le emissioni di ogni settore in ogni paese; otterremo quindi, la responsabilità del produttore sulle emissioni, tanto a livello di paese come a livello settoriale.

Per colonne, si ottengono tutte le emissioni associate alla domanda finale del paese che consuma quella domanda, comprese le importazioni.

Abbiamo quindi, sommando per colonne, ottenuto come risultato le emissioni associate ad un paese secondo il criterio di responsabilità del consumatore (e del suo comparto settoriale). Le emissioni che abbiamo ottenuto comprendono tutte le emissioni necessarie per sostenere la domanda finale della popolazione del paese, direttamente e indirettamente, sono le emissioni che costituiscono l'impronta carbonica (carbon footprint) sulla quale è basato lo studio del capitolo successivo.

Nell'equazione 41, la matrice F^{rs} include tutte le emissioni direttamente e indirettamente realizzate nel paese r per soddisfare la domanda finale del paese s , è quindi l'impronta carbonica del paese s in r . È importante osservare che questa

operazione può essere svolta solo per un contaminante (o impatto) alla volta, se abbiamo più fattori andranno calcolate tante matrici come il numero dei fattori da analizzare.

Chiarendo con un esempio, con due settori in due paesi avremo:

$$\left[\begin{array}{cc|cc} F_{11}^{11} & F_{12}^{11} & F_{11}^{12} & F_{12}^{12} \\ F_{21}^{11} & F_{22}^{11} & F_{21}^{12} & F_{22}^{12} \\ \hline F_{11}^{21} & F_{12}^{21} & F_{11}^{22} & F_{12}^{22} \\ F_{21}^{21} & F_{22}^{21} & F_{21}^{22} & F_{22}^{22} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c|c} F^{11} & F^{12} \\ \hline F^{21} & F^{22} \end{array} \right] \quad (42)$$

Qui abbiamo, per esempio nella prima fila, tutte le emissioni realizzate nel paese 1, dal settore 1, per produrre input per i settori 1 e 2, sia nel proprio paese che per l'esportazione al paese 2. Queste ricavate, sono le emissioni che possiamo cercare nelle tavole statistiche e sono assegnate con il criterio della responsabilità del produttore del settore 1 nel paese 1. Nella prima colonna, la matrice ci mostra invece tutte le emissioni che vengono prodotte sia nel paese 1 che nel paese 2 (diversificandole pe ogni settore di ogni paese) per soddisfare la domanda finale del settore 1 nel paese 1; abbiamo quindi ottenuto i valori delle emissioni allocate secondo il criterio della responsabilità del consumatore del settore 1 nel paese 1.

Per concludere quindi, diagonalizzando la domanda finale per parti, otterremo:

- sommando per file ($E^f = \sum sFrs$), le emissioni totali di ogni settore in ogni paese (responsabilità del produttore),

- sommando per colonne ($F^r = \sum_r F^{rs}$), le emissioni totali legate alla domanda finale del settore e nel paese corrispondenti alla colonna (responsabilità del consumatore – Carbon Footprint).

3.3 I BILANCI DELLE EMISSIONI

Per misurare l'impatto del commercio internazionale sull'ambiente è molto utile un'analisi attraverso lo strumento dei bilanci delle emissioni. In letteratura, le definizioni principali che troviamo sono:

- Trade emission balance (Teb), è la differenza tra le emissioni contenute nelle esportazioni (Ex) e le emissioni contenute nelle importazioni (Em) di un paese:

$$\begin{aligned} TE B &= E^x - E^m = \left[P^d y^x + P^t A^m (I - A^d)^{-1} y^x \right] - \left[\hat{e} (I - A^t)^{-1} [A^m (I - A^d)^{-1} y^d + y^m] \right] = \\ &= P^d y^x - P^t [A^m (I - A^d)^{-1} y^r + y^m] = P^d y^x - [P^t A^m (I - A^d)^{-1} y^r + P^t y^m] \end{aligned}$$

(43)

In questa equazione, le emissioni legate alle importazioni, necessarie alla produzione dell'export, si annullano perché sono presenti in entrambi i membri con segno diverso

- Responsibility emission balance (Reb), è la differenza tra le emissioni allocate con i criteri della responsabilità del produttore e quelle allocate al

consumatore (PR – CR). Deriva dalle definizioni di PR e CR e viene calcolato come:

$$REB = PR - CR = [P^d (y^r + y^x)] - [P^d y^r + P^t [A^m (I - A^d)^{-1} y^r] + P^t y^m] = [P^d y^x] - [P^t [A^m (I - A^d)^{-1} y^r] + P^t y^m]$$

(44)

In questa espressione, le emissioni contenute nella domanda finale domestica sono contenute sia nella PR che nella CR e quindi si annullano.

Un altro modo per calcolarla è la differenza tra le file e le colonne della matrice F, questo è un metodo molto semplice e veloce per calcolare la Reb direttamente dalla matrice F.

Serrano e Dietzenbacher (2010)[32], confrontano, utilizzando un modello input output multiregionale (con ipotesi della stessa tecnologia), queste due definizioni di bilancia delle emissioni e dimostrano che Teb e Reb producono lo stesso risultato, a livello aggregato ma anche a livello settoriale (BRED e TEBD):

$$TEB = E^x - E^m = PR - CR = REB$$

$$REBD = RP - RC = TEBD = E^x - E^m = [P^d (\hat{y}^r + \hat{y}^x)] - [P^d \hat{y}^r + P^t [A^m (I - A^d)^{-1} \hat{y}^r] + P^t \hat{y}^m] = [P^d \hat{y}^x] - [P^t [A^m (I - A^d)^{-1} \hat{y}^r] + P^t \hat{y}^m]$$

(45)

Di conseguenza, la differenza tra le emissioni contenute nelle esportazioni e le emissioni contenute delle importazioni coincide con la differenza tra PR e CR a livello di paese.

Per il caso di due paesi, la responsabilità del produttore (PR) e del consumatore (CR) sarebbero, per il paese 1 per esempio:

$$PR^1 = P^{11}\hat{y}^{11} + P^{11}\hat{y}^{12} + P^{12}\hat{y}^{21} + P^{12}\hat{y}^{22} = F^{11} + F^{12} \quad (46)$$

$$CR^1 = P^{11}\hat{y}^{11} + P^{21}\hat{y}^{11} + P^{12}\hat{y}^{21} + P^{22}\hat{y}^{21} = F^{11} + F^{21}$$

Come sappiamo, PR (somma per file della matrice F) include solo le emissioni domestiche avvenute all'interno del paese, mentre CR (somma per colonne della matrice F) include le emissioni domestiche (solo dei prodotti effettivamente consumati all'interno del paese) e le emissioni generate all'estero per i prodotti importati e consumati all'interno dei confini nazionali. Calcolare CR significa pertanto, sottrarre da PR le emissioni relazionate con le esportazioni e aggiungere le emissioni associate alle importazioni (intermedie e finali). Come già visto, l'espressione di CR equivale alla carbon footprint.

In un contesto multiregionale, la bilancia delle emissioni può essere calcolata sempre tra due paesi, due paesi r e s che commerciano tra loro, avremo:

$$\mathbf{TEBrs} = \mathbf{Pyr}_s - \mathbf{Pysr}$$

Un segno positivo della Responsibility emission balance, significa che il paese analizzato produce più contaminazione di quanta ne consumi ($PR > CR$) cioè, che le emissioni totali dei processi di produzione dei suoi prodotti, compresi quelli esportati, producono più emissioni della produzione dei prodotti che importa da altri paesi. Significa anche, conseguentemente, che le emissioni contenute nelle

esportazioni del paese sono maggiori di quelle contenute nelle importazioni e questo implica ovviamente un segno positivo anche nella Trade emission balance ($Teb = Reb$). Un paese con segno negativo nella bilancia Teb indicando quindi che parte delle emissioni generate dai suoi modelli di consumo non sono prodotte all'interno del paese stesso ma all'estero, può essere considerato come “esportatore netto di emissioni”.

Edens, Delahaye, Rossum e Schenau (2011)[33] analizzano i cambiamenti nei bilanci delle emissioni olandesi (verso 17 regioni) e comparano i risultati per il periodo 1996 – 2007 e dimostrano che il peggioramento dei bilanci delle emissioni per questo paese è dovuto principalmente ad un cambio nella composizione del proprio commercio, l'Olanda sta esportando più prodotti a basse emissioni mentre crescono le sue importazioni di prodotti ad alto impatto.

Chen e Chen (2011)[34] presentano uno studio in cui, calcolando i bilanci delle emissioni di tre “supra-national coalitions” (G7, BRICS e Resto del mondo), dimostrano che i primi mostrano un importante deficit dei bilanci delle emissioni in relazione agli altri.

Questi ed altri studi sui bilanci delle emissioni hanno portato alla definizione dell'ipotesi dello scambio ecologico diseguale (ecological unequal exchange). Questa teoria suppone l'esistenza di uno scambio diseguale tra i paesi a basso e medio reddito rispetto a quelli ricchi in cui i primi esportano principalmente prodotti ad alto contenuto di risorse naturali e ad alto contenuto di emissioni

consentendo ai paesi ricchi di ridurre la presenza di industrie inquinanti nei propri territori ma senza modificare i propri modelli di consumo, tramite le importazioni. Questo concetto è legato a stretto giro con il concetto di carbon leakage, ma anche con l'ipotesi del paradiso dell'inquinamento, e come essa trova riscontri poco chiari nella letteratura come anche empiricamente:

- Moran, Lenzen, Kanemoto e Geschke (2013)[35], calcolando l'"impronta di consumo" di 187 paesi usando otto indicatori di impatto ambientale, in un ambiente input output multiregionale, concludono che in termini relativi i paesi sviluppati esercitano un impatto sproporzionatamente grande sulle nazioni a basso reddito, ma in termini assoluti è vero addirittura il contrario: i paesi ad alto reddito sono esportatori netti di risorse ecologiche.
- Yu, Feng e Hubacek (2014)[36], studiando il caso della Cina, dimostrano che l'ipotesi dello scambio ecologico diseguale esiste tra la Cina e paesi più sviluppati come L'Unione Europe, l'America del Nord, la Corea del Sud o il Giappone mentre invece non è riscontrabile nei flussi commerciali tra la stessa Cina e i paesi meno sviluppati.
-

3.4 IMPRONTA ECOLOGICA E IMPRONTA DI CARBONIO

Molte attività umane, tra cui la fornitura e la lavorazione del cibo, la costruzione e manutenzione delle abitazioni, i trasporti, fino alla produzione e al consumo di

qualunque bene o servizio pongono richieste alla capacità rigenerativa del pianeta. Wackernagel, Lin, Hanscom, Galli e Iha (2019)[37] definiscono quindi l'impronta ecologica (ecological footprint): “[...] uno strumento di contabilità delle risorse che misura la quantità di capacità rigenerativa della Terra (o "biocapacità") richiesta da una determinata attività.”

In pratica l'impronta ecologica rappresenta l'insieme di tutte le risorse ecologiche necessarie per generare i beni che la domanda di una determinata popolazione richiede ma anche per assimilare i residui che questa domanda genera. La letteratura si è concentrata sulla stima della superficie produttiva che deve essere utilizzata per la produzione delle risorse necessarie al sostentamento della domanda di un abitante medio, associate ad alimentazione, consumo di energia, prodotti forestali e l'occupazione diretta del suolo, di solito calcolata ed espressa in ettari per abitante o anno (global hectar, gha).

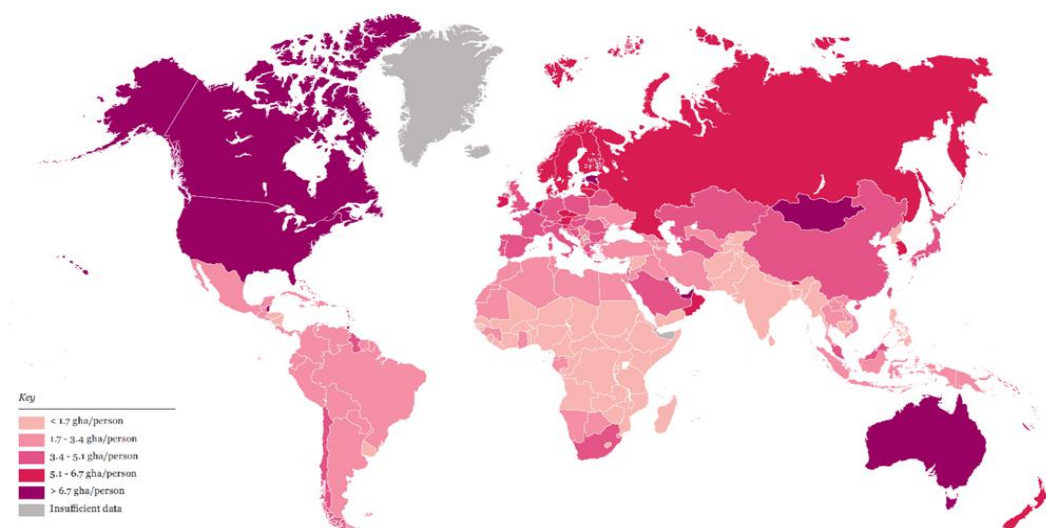


Figura 13: Impronta ecologica globale espressa in gha. Fonte: WWF, LIVING PLANET REPORT 2022

Possono essere utilizzati anche altri indicatori per avvicinarsi al concetto di impronta ecologica, come il come il consumo apparente o gli indici di produttività per prodotto. Secondo il “LIVING PLANET REPORT 2022”[38] redatto dal WWF, l'impronta ecologica è costituita da numerose componenti, tra le quali possiamo citare (tra le impronte “land use”):

- Grazing land footprint, misura la domanda di terra adibita a pascolo per l'allevamento di carne e per la produzione di latticini, cuoio e prodotti derivati dalla lana.
- Forestal product footprint, misura la domanda di legna per la produzione di oggetti in legno combustibile, cellulosa e prodotti in legno.
- Fishing grounds footprint, misura la domanda di ecosistemi marini e fluviali necessari per rispondere alla domanda di prodotti ittici a fini alimentari e per sostenere l'acquacultura.
- Cropland footprint, misura la domanda di terra adibita alla coltura di alimenti e fibre, mangimi per animali, colture oleaginose e gomma.
- Built- up land footprint, misura le aree biologicamente produttive coperta da infrastrutture, incluse strade, abitazioni e strutture industriali.

Troviamo infine l'impronta di carbonio, definita come la “misura delle emissioni derivanti dalla combustione di combustibili fossili e dalla produzione di cemento” (WWF, 2022). Queste emissioni vengono convertite nella misura dell'area forestale necessaria per sequestrare nuovamente i gas serra emessi e non assorbiti

dagli oceani; con il tasso di assorbimento forestale che varia fortemente a seconda del grado di gestione umana dell'area, dal tipo e dall'età delle foreste, dalle emissioni causate da eventuali incendi e dall'accumulo e/o perdita di suolo. L'impronta di carbonio è la componente principale dell'impronta ecologica rappresentando il 60% dell'impatto totale "land use", come mostrato in figura 14 (WWF, 2022) ed è uno dei principali indicatori riconosciuti a livello internazionale (IPCC, Metrics & Methodology, 2018)[39] per valutare l'impatto delle attività antropiche sull'ambiente.

**Humanity's Ecological Footprint
by land use**

Key

- Grazing land footprint
- Forest product footprint
- Fishing grounds footprint
- Cropland footprint
- Built-up land footprint
- Carbon footprint

**Humanity's Ecological Footprint
by activities**

Key

- Food
- Housing
- Personal transportation
- Goods
- Services

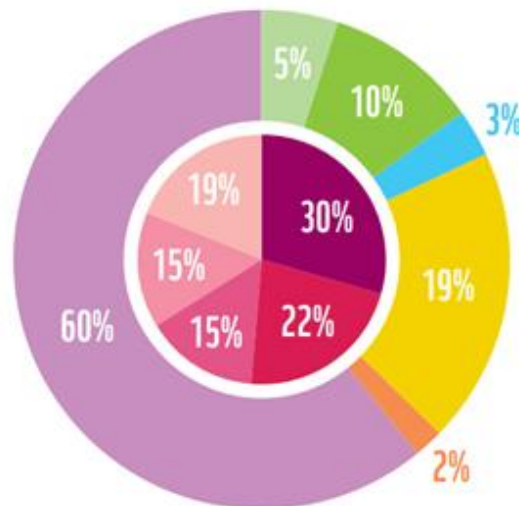


Figura 14: Le componenti dell'Ecological footprint e il loro impatto sul totale. Fonte: WWF, LIVING PLANET REPORT 2022

Hoekstra e Wiedmann (2014)[40] nel loro lavoro intitolato “Humanity’s unsustainable environmental footprint”, studiando le varie “footprint” a livello globale propongono il grafico in figura 15, che mostra l’impatto ecologico e le sue componenti principali per l’economia mondiale in rapporto ai valori massimi sostenibili dal pianeta, per ogni categoria.

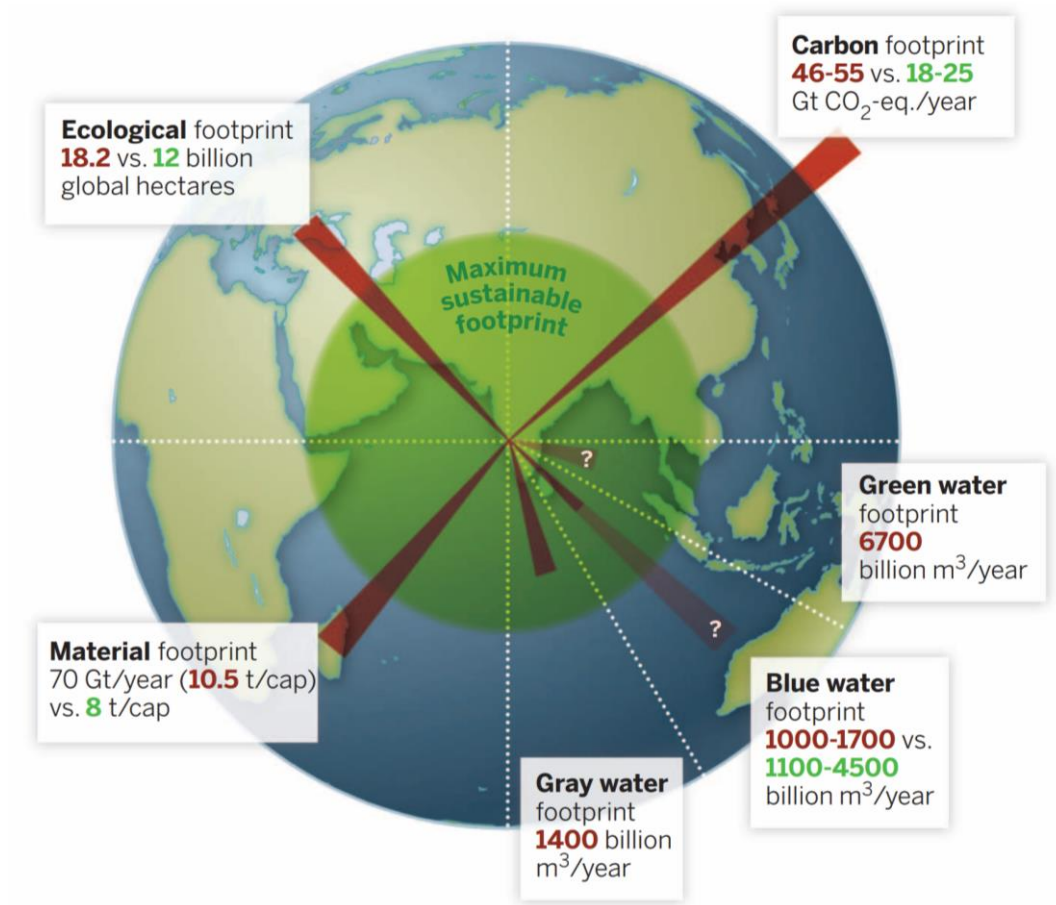


Figura 15: Impronta ecologica e alcune sue componenti rispetto ai limiti naturali. Fonte: Hoekstra e Wiedmann (2014)

L'impronta di carbonio indica le emissioni di CO₂e che si producono e che sono necessarie per mantenere le abitudini di consumo di un paese o per ottenere un determinato prodotto finale.

Concludendo, l'impronta di carbonio coincide, concettualmente, con la responsabilità del consumatore e così come si calcola la RC di un'economia si può quindi calcolare il suo consumo di carbonio.

A livello uni regionale i dati sulle emissioni sono forniti abitualmente dai servizi di statistica nazionale. In Italia i dati sulle emissioni vengono forniti dall'ISTAT e, come in tutti gli altri paesi da due fonti principali:

- I conti delle emissioni atmosferiche (AEA), noti come conti di tipo NAMEA, sono compilati a partire dall'inventario nazionale sulle emissioni atmosferiche e da cui, annualmente, l'Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione ambientale (Ispra) condivide i dati italiani in sede internazionale (IPCC, UNFCCC, Clrtap)
- Dati satellitari sulle emissioni atmosferiche, forniti per milione di euro, da cui i coefficienti di emissione sono ottenibili immediatamente. La metodologia di ottenimento di questi dati è del tutto compatibile con i dati nazionali a partire dai quali vengono elaborate le tavole input-output.

A livello multiregionale i dati possono essere ottenuti dalle banche dati multiregionali, esse contengono dati sulle emissioni di diversi gas come anche altri dati di interesse ambientale come il consumo di acqua, di materiali e altri.

Inoltre, banche dati come il WIOD, utilizzata per estrapolare i dati di base di questo studio, possono fornire anche dati socioeconomici contenenti informazioni su grandezze come l'occupazione per qualifica.

In appendice, esistono altre metodologie di calcolo che si possono utilizzare per il calcolo dell'impronta di carbonio, che tuttavia non approfondiremo in questo lavoro perché non utilizzate ai fini dell'elaborazione dei dati utili allo studio. Le due più importanti metodologie citabili, perché in stretta relazione con la metodologia input output, sono: l'analisi del ciclo di vita (LCA) e l'analisi ibrida ciclo di vita – input output (LCA-PA-IO).

4. CAPITOLO IV – IL CASO DEL SETTORE ENERGETICO EUROPEO

4.1 CONTESTO E NOTA METODOLOGICA

Ai fini di questa analisi è stato utilizzato un modello MRIO elaborato in Matlab, importando i dati dal database WIOD 2013 Release, contenente le tavole regionali, aggregate a 6 regioni (Euro-zona, NAFTA, Cina, East Asia, BRIIAT, Row) con 35 settori ciascuna più i dati ambientali sulle emissioni dei paesi nello stesso periodo. L'esportazione del database e la sua elaborazione in Matlab, tramite il codice consultabile nella sezione allegati, consente di esportare in Excel una matrice (anche essa consultabile nella sezione allegati) che mette in relazione tutte le emissioni di ciascun settore di ciascun paese (oppure aggregandoli per macroregione) e che mostra quindi, come queste emissioni generate dalla produzione di output di ciascun settore partecipa, come input, nella generazione di output e quindi emissioni in tutti gli altri settori di tutti gli altri paesi (oppure aggregandoli in macroregioni); permettendo, alla fine, di calcolare anche il bilancio di responsabilità di ciascun paese o macroregione.

L'analisi dei dati risultanti sarà divisa in due fasi che cercheranno di rispondere a due domande che formeranno i due blocchi dell'analisi:

- *In che modo e quanto il settore energetico europeo influisce sulle emissioni incorporate nelle importazioni provenienti dall'UE dei due principali partner commerciali europei?*

- *Quali e quanti inputs inquinanti vengono utilizzati nei processi produttivi del settore energetico europeo e da quali regioni commerciali provengono queste importazioni?*

Per prima cosa quindi lo studio si concentrerà sul determinare qual è l'impatto, nel settore energetico della macroregione Unione Europea, dato dalle importazioni di inputs produttivi per il settore dalle due macroregioni che sono i due maggiori partner commerciali europei: Cina e NAFTA.

Successivamente si andrà ad analizzare quali inputs inquinanti vengono utilizzati nei processi produttivi del settore energetico europeo e da che regioni questi provengono.

Il suddetto settore energetico europeo è considerato composto dai settori:

- “Coke, Refined Petroleum and Nuclear Fuel”
- “Electricity, Gas and Water Supply”

Da ora in avanti l'insieme di questi due settori sarà sempre denominato “settore energetico europeo” o “settore energetico EU”

Ai fini della presentazione i risultati di queste due fasi di lavoro sono stati discussi per interpretarne il risultato.

4.2 IL SETTORE ENERGETICO EUROPEO

L'unione Europea, insieme a Stati Uniti e Cina, compone il podio delle tre più grandi economie mondiali rappresentando circa il 16% del prodotto interno lordo

globale ognuna e, secondo i dati forniti dal Parlamento Europeo, l'Unione, ha attualmente in vigore, in sospeso o in fase di adozione 130 accordi di libero scambio a livello globale. Non stupisce quindi, che proprio Cina e Stati Uniti siano i due partner commerciali principali dell'UE con il cune che ha superato gli USA solo nel 2020, rappresentando il 16,1% degli scambi totali dell'UE contro i 15,2 da e verso gli USA.

Nella prima fase di questo lavoro, si andrà ad analizzare la quantità di emissioni incorporate negli scambi virtuali tra l'Unione Europea e, appunto, i suoi due partner commerciali principali (gli USA saranno incorporati nella macroregione NAFTA). È inoltre giusto sottolineare come fino al 2018 i principali partner commerciali dell'UE erano:

- USA con il 21% degli scambi extracomunitari.
- Cina con il 12% degli scambi extracomunitari

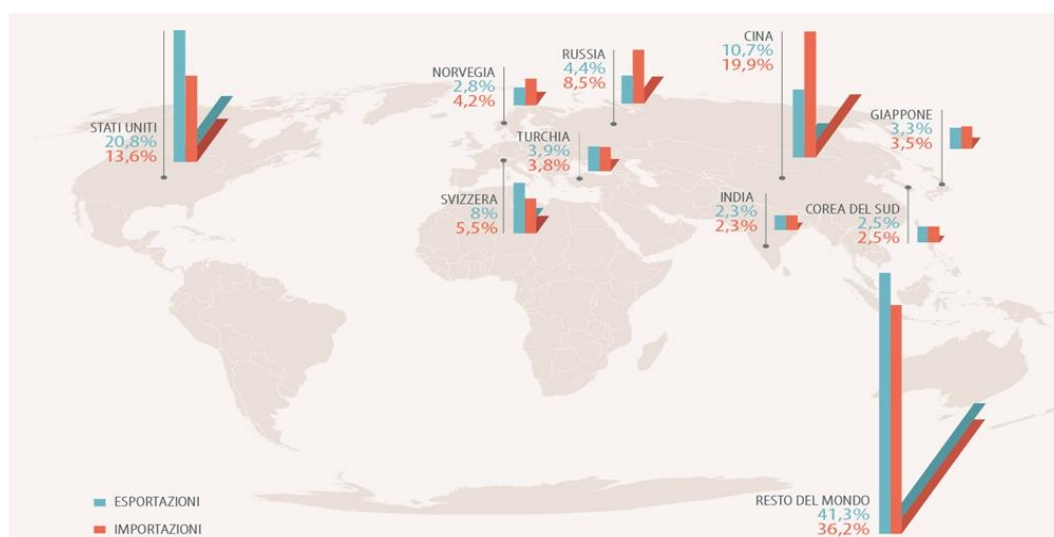


Figura 16: Esportazioni e importazioni di merci dell'UE, per destinazione. Fonte: Commissione Europea (2018)

- *In che modo e quanto il settore energetico europeo influisce sulle emissioni incorporate nelle importazioni provenienti dall'UE dei due principali partner commerciali europei?*

La prima macroregione analizzata è quella cinese. Gli scambi di emissioni incorporate da EU alla Cina denotano un elevato impatto del settore energetico europeo nel bilancio di emissioni cinese, in quanto ammonta al 28,12% di tutte le emissioni importate dall'estero dalla Cina. Questo impatto è concentrato principalmente in quattro dei settori analizzati, in ordine:

- “Construction” (F)
- “Machinery, Nec” (29)
- “Electrical and Optical Equipment” (30t33)
- “Transport Equipment” (34t35)

Questi soli quattro settori, considerati nel loro insieme, coprono più del 60% delle emissioni incorporate nelle importazioni cinesi dal settore energetico UE.

Dall'analisi dei risultati si nota una evidente preponderanza del settore “Electricity, Gas and Water Supply” tra i due settori analizzati per l'export dell'UE ed è anche interessante osservare come gli stessi settori, da parte cinese utilizzino relativamente pochi inputs provenienti dal settore energetico UE per portare avanti i propri processi produttivi.

La seconda macroregione analizzata è la regione NAFTA, comprendente Canada, Messico e Stati Uniti. I risultati dell'analisi mostrano come, pur avendo qua valori

di emissioni virtuali nettamente più alti, sia assoluti (emissioni incorporate dal totale delle esportazioni da UE a NAFTA) sia relative (emissioni incorporate nelle esportazioni del settore energetico da UE a NAFTA), che sono circa il triplo di quelle dall'UE alla Cina, l'impatto totale del settore energetico europeo sul totale delle emissioni nordamericane importate sia paragonabile a quello cinese: 28,53%. In questo caso studio, l'impatto non è concentrato su pochi settori, come nel caso cinese, ma l'impatto è più diffuso su più settori, in ordine:

- “Public Admin and Defence; Compulsory Social Security” (L)
- “Chemicals and Chemical Products” (24)
- “Coke, Refined Petroleum and Nuclear Fuel” (23)
- “Transport Equipment” (34t35)
- “Construction” (F)
- “Food, Beverages, and Tobacco” (15t16)
- “Electrical and Optical Equipment” (30t33)
- “Machinery, Nec” (29)

Questi otto settori rappresentano insieme più del 60% delle emissioni totali incorporate nelle esportazioni del settore energetico europeo rendendo quindi non trascurabili gli impatti anche negli altri settori coinvolti.

È inoltre interessante osservare come, ci sia sì sempre un maggiore peso degli impattanti provenienti dalle esportazioni del settore “Electricity, Gas and Water Supply” ma, in questo caso, gli impatti dell'altro settore (“Coke, Refined

Petroleum and Nuclear Fuel”) non possano essere trascurati. In particolare, lo stesso settore “Coke, Refined Petroleum and Nuclear Fuel” (E) della regione NAFTA, è, in questo caso, tra i settori più coinvolti dagli scambi, in maniera fortemente sbilanciata verso lo stesso settore europeo.

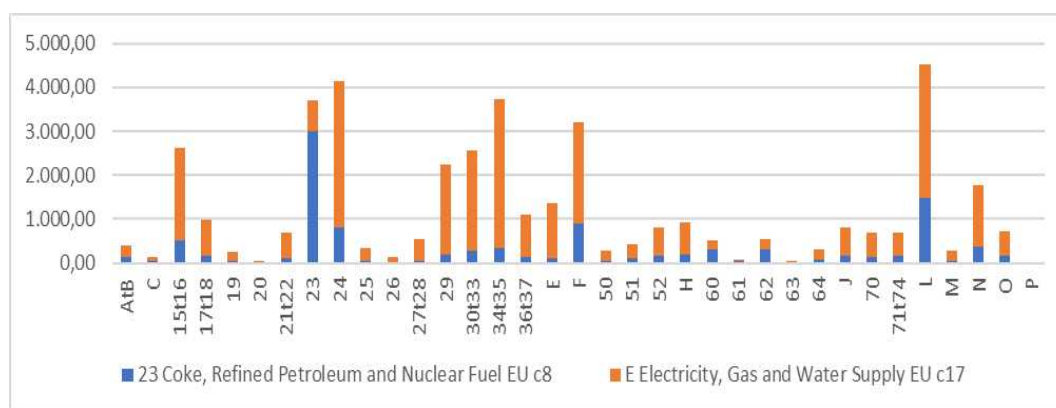


Figura 18: Impatto delle emissioni incorporate nelle esportazioni del settore energetico europeo sui settori della regione Cina. Fonte: Elaborazione personale

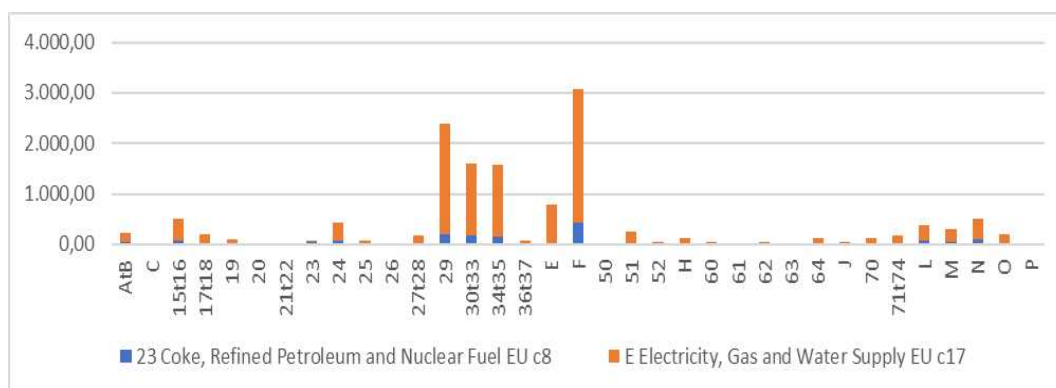


Figura 17: Impatto delle emissioni incorporate nelle esportazioni del settore energetico europeo sui settori della regione NAFTA. Fonte: Elaborazione personale

- *Quali e quanti inputs inquinanti vengono utilizzati nei processi produttivi del settore energetico europeo e da quali regioni commerciali provengono queste importazioni?*

I risultati mostrano chiaramente come il 75,17% degli inputs inquinanti utilizzati nei processi produttivi del settore energetico siano prodotti all'interno dei confini europei. I principali settori coinvolti, in ordine, sono:

- "Coke, Refined Petroleum and Nuclear Fuel" (c2)
- "Electricity, Gas and Water Supply" (c17)
- "Mining and Quarring" (c2)

Questi tre settori, da soli, comprendono più del 90% delle emissioni virtuali che i processi produttivi del settore energetico europeo richiede dall'offerta di altri settori europei.

Queste emissioni, incorporate in inputs prodotti all'interno dei confini UE, verrebbero allocati alla regione Europa anche in caso di osservanza del principio di responsabilità del produttore (mentre nel nostro caso studio, analizzando l'impronta carbonica seguiamo il principio di responsabilità del consumatore). Andremo quindi ad analizzare la situazione delle importazioni dall'estero degli inputs necessari ai processi produttivi del settore energetico europeo, sempre attraverso l'analisi delle emissioni incorporate in questi inputs.

Per quanto riguarda le importazioni, le due macroregioni più influenti sono, nell'ordine, BRIIAT e ROW

I paesi BRIIAT: Brasile, Russia, India, Indonesia, Australia e Turchia, cosiddetti “paesi produttori”, sono quelli da dove, a livello globale, viene prodotto la maggior quantità di CO₂e (a livelli assoluti). Questi paesi, partecipano per il 12,13% agli inputs impattanti utilizzati nei processi produttivi del settore energetico UE, ma questo valore sale ad un enorme 48,86% di tutte le importazioni dall'estero. I settori BRIIAT principalmente coinvolti negli scambi sono, in ordine:

- “Mining and Quarring” (c2)
- “Electricity, Gas and Water Supply” (c17)
- “Inland Transport” (c23)
- “Coke, Refined Petroleum and Nuclear Fuel” (c8)

Questi settori, insieme, rappresentano più del 90% delle emissioni incorporate nelle importazioni del settore energetico europeo dai paesi BRIIAT.

I paesi del Resto del Mondo (ROW) hanno invece un impatto del 10,06% di tutti gli inputs utilizzati dai processi produttivi del settore energetico UE che anche qui, sale ad un enorme 40,52% di tutte le emissioni impattanti incorporate delle importazioni di questo settore. I principali settori coinvolti negli scambi sono, in ordine:

- “Coke, Refined Petroleum and Nuclear Fuel” (c8)
- “Electricity, Gas and Water Supply” (c17)
- “Mining and Quarring” (c2)

Più dell'80% delle emissioni virtuali importate per i processi produttivi del settore energetico europeo dai paesi della macroregione ROW provengono da questi settori.

La macroregione NAFTA ha, in questa seconda fase dell'analisi, un impatto secondario sulle importazioni del settore energetico europeo (1,28% del totale degli inputs utilizzati e 5% delle importazioni di inputs impattanti dall'estero). I settori più coinvolti nei flussi NAFTA – UE per il settore energetico sono, in ordine:

- “Mining and Quarring” (c2)
- “Coke, Refined Petroleum and Nuclear Fuel” (c8)
- “Electricity, Gas and Water Supply” (c17)
- “Inland Transport” (c23)
- “Chemicals and Chemical Products” (c9)

Più dell'87% di tutte le emissioni esportate dai paesi NAFTA all'Unione Europea per sopperire alle necessità dei processi produttivi del settore energetico europeo provengono da questi settori.

Anche la macroregione cinese ha un impatto secondario per quanto riguarda le importazioni di inputs impattanti per il settore energetico europeo, rappresentando il paese produttore di solo il 0,98% degli inputs totali utilizzati dal settore (4% di tutte le importazioni di inputs dall'estero). I settori più coinvolti sono, in ordine:

- “Electricity, Gas and Water Supply” (c17)

- “Mining and Quarring” (c2)
- “Basic Metals and Fabricated Metal” (c12)
- “Chemicals and Chemical Products” (c9)
- “Agriculture, Hunting, Forestry and Fishing” (c1)
- “Coke, Refined Petroleum and Nuclear Fuel” (c8)

Tutti questi settori rappresentano, insieme, circa l’85% di tutte le emissioni virtuali esportate dalla Cina per il settore energetico europeo.

Troviamo per ultima, la macroregione EAST ASIA, che rappresenta la fetta più piccola delle importazioni di impattanti europeo per il funzionamento del settore energetico, rappresentando la provenienza del 2% degli inputs importati dall’estero (0,38% degli inputs totali). L’impatto di questa regione è trascurabile e diversificato in molti settori:

- “Water Transport” (c24)
- “Electricity, Gas and Water Supply” (c17)
- “Coke, Refined Petroleum and Nuclear Fuel” (c8)
- “Mining and Quarring” (c2)
- “Basic Metals and Fabricated Metal” (c12)
- “Chemicals and Chemical Products” (c9)

Tutti questi settori producono più dell’80% di tutte le emissioni che il settore energetico europeo importa dai paesi della regione EAST ASIA per garantire i propri processi produttivi.

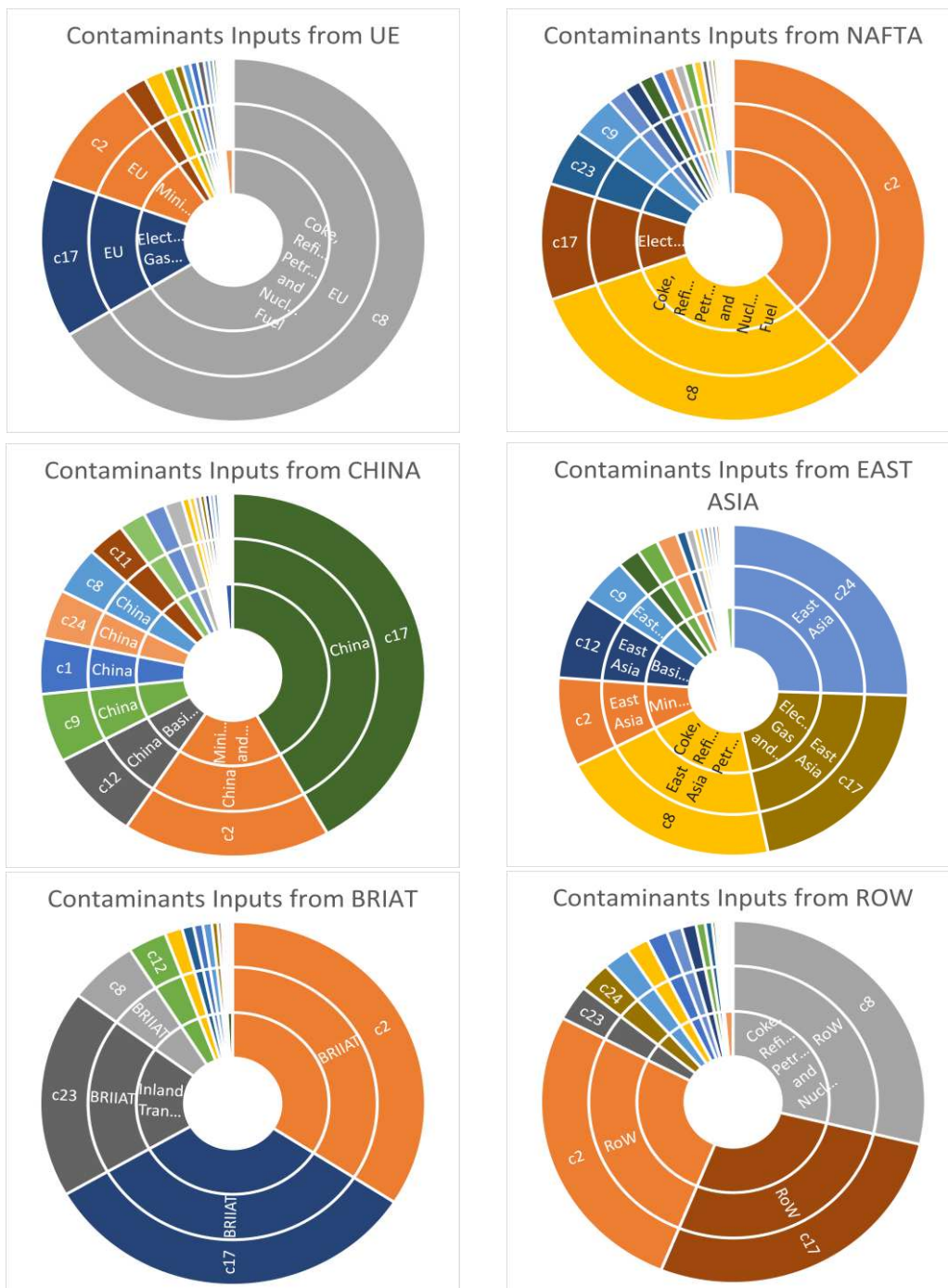


Figura 19: Infografica della provenienza degli inputs contaminanti utilizzati nel settore energetico europeo, divisi per regioni di provenienza. Fonte: Elaborazione personale

4.3 DISCUSSIONE

I risultati del primo blocco dell'analisi ci mostrano uno spaccato rappresentativo delle relazioni commerciali tra L'Unione Europea e i suoi maggiori partner commerciali, almeno per quanto riguarda le esportazioni del settore energetico. I dati mostrano un impatto non trascurabile degli inputs contaminanti provenienti dall'Europa sulle impronte carboniche della regione cinese come per quella nordamericana, impatto che si attesta su circa un terzo delle emissioni importate da ciascuna regione. Va comunque ricordata la grande differenza nella situazione delle regioni, in quanto il bilancio Reb cinese rimane ancora di gran lunga positivo, mentre quello nordamericano è in larga misura negativo, indicando la preponderanza nell'esportazione di inputs contaminanti rispetto all'importazione. È inoltre opportuno notare come le esportazioni di inputs inquinanti del settore energetico UE verso la Cina siano poco sviluppate orizzontalmente mentre invece si concentrano nei flussi tra pochissimi settori specifici e con la forte prevalenza dei commerci di uno solo dei due settori ("Electricity, Gas and Water Supply") tuttavia, i due settori europei considerati hanno un impatto quasi trascurabile sui processi produttivi degli stessi settori cinesi. Questo potrebbe essere spiegato da cause geopolitiche e di vicinanza, come anche dal fatto che settori come questi possono essere considerati strategici e quindi avvantaggiati ad avere un value chain più controllata. Il discorso è diverso per quanto riguarda i flussi dal settore energetico europeo verso la regione NAFTA, qua possiamo notare un commercio

più sviluppato, anche ragioni storiche e geopolitiche. I due settori europei trovano infatti domanda da soddisfare in molti settori NAFTA e pur essendo comunque presente una preponderanza del settore “Electricity, Gas and Water Supply” è comunque non trascurabile anche il flusso di impattanti del settore “Coke, Refined Petroleum and Nuclear Fuel” che trova collaborazione con lo stesso settore nordamericano, ma non solo.

La predominanza delle esportazioni del settore “Electricity, Gas and Water Supply” rispetto a “Coke, Refined Petroleum and Nuclear Fuel” può trovare risposta nella scarsità che il territorio europeo ha in queste risorse.

Per quanto riguarda il secondo blocco dell’analisi, il grande impatto (48,86% + 40,52%) sulle importazioni del settore energetico UE degli inputs provenienti dai paesi BRIIAT e ROW, può essere spiegata con la grande ricchezza, in termini di risorse naturali grezze che questi paesi ospitano, che gli garantisce un vantaggio assoluto nell’esportazione di queste materie. Queste caratteristiche, unite alla condizione di paesi in via di sviluppo o sottosviluppati che caratterizza le economie dei paesi facenti parte di queste due macroregioni, che contribuisce a tenere bassi i prezzi delle esportazioni le pone come il fornitore di materie prime energetiche preferito dalle economie sviluppate, con i vantaggi (economici) e i rischi e dilemmi che questo comporta. Si evince infatti una predominanza del settore “Mining and Quarring” nell’insieme delle esportazioni in Europa delle due macroregioni, più predominante, non a caso, nei paesi BRIIAT.

La macroregione NAFTA ha, come detto, un impatto secondario rispetto alle altre due macroregioni analizzate. La causa può essere ricercata nella, pur si relativa abbondanza di risorse energetiche del continente nordamericano rispetto all'Europa (il settore "Mining and Quarring" primeggia ancora) ma a prezzi più alti dei paesi con economie meno sviluppate e vantaggio assoluto a livello mondiale nelle risorse (BRIC e ROW). Inoltre, il maggior sviluppo dei paesi nordamericani unitamente alle relazioni commerciali più storiche e sviluppate con il vecchio continente può spiegare un commercio più sbilanciato verso altre tipologie di beni come capitali e servizi.

Anche l'impatto della Cina è secondario nell'analisi dell'importazione di inputs inquinanti del settore energetico europeo ma la differenza dei settori principalmente coinvolti porta a pensare, probabilmente anche per cause geopolitiche e storiche, che il commercio dall'Europa verso questa macroregione si ponga come un "ibrido" tra quello con i paesi sviluppati e quello dei paesi a basso reddito, caratterizzato da molti prodotti semilavorati e di processo, anche in settori specifici come quello energetico.

La macroregione EAST ASIA ha invece un impatto che può essere definito trascurabile, rappresentando la patria del 2% delle importazioni dall'estero e 0,38% degli inputs totali utilizzati dal settore energetico europeo. Questo trascurabile impatto, proveniente da un'area pur commercialmente molto attiva porta a ragionare sulla conformazione delle catene globali del valore e sulla

posizione ricoperta da una regione, come l'EAST ASIA caratterizzata da un vantaggio relativo netto in termini di lavoro che si trova in una posizione di produttore grezzo, con un commercio più limitato in questi settori analizzati, soprattutto verso paesi a reddito alto come l'Unione Europea.

CONCLUSIONI

La produzione di energia è, non a caso, uno dei settori più impattanti quando si parla di emissioni totali di un paese. L'energia è infatti essenziale in tutti i processi produttivi, è la base di ogni attività umana, dalla produzione di cibo alla sopravvivenza. Analizzare dove si concentrano gli impattanti maggiori all'interno dei processi produttivi di questo settore può essere importantissimo per studiare soluzioni legislative ad hoc che consentano ad un paese di efficientare questo settore, ampliando la produzione di energia riducendo al contempo le emissioni.

Il presente studio si è posto l'obiettivo di analizzare come il settore energetico europeo influenza, tramite l'esportazione di inputs, misurati in base alle emissioni di CO₂e incorporate, i bilanci di emissione delle due regioni che sono i principali partner commerciali europei: Cina e NAFTA; ma anche di scoprire come lo stesso settore viene influenzato dalle importazioni di inputs impattanti dall'estero, in particolare da cinque macroregioni: Cina, NAFTA, BRIIAT, EAST ASIA, Row e infine dall'UE stessa.

Per rispondere a queste domande lo studio, utilizzando gli strumenti dell'analisi input-output multiregionale a partire dal database WIOD dell'università di Groningen, si divide in due rami di analisi.

Per quanto riguarda l'analisi su come il settore energetico europeo influenza i bilanci di emissione delle due regioni Cina e NAFTA, i risultati mostrano un impatto non trascurabile delle esportazioni europee sul suolo cinese (28,12%) e

nordamericano (28,53%). È interessante notare come essi rappresentino quasi un terzo del totale importato provenendo solo da due settori e come diano anche uno spaccato sull'architettura del commercio in essere tra le macroregioni: più profondo e differenziato quello con il Nordamerica e più selettivo invece quello verso la Cina, ma con un peso in termini di emissioni incorporate praticamente identico.

Più articolato è invece il secondo blocco, che ci mostra da dove il settore energetico UE importa inputs impattanti e in che quantità. I risultati mostrano chiaramente come ben il 75,17% degli inputs inquinanti utilizzati nei processi produttivi sono realizzati all'interno dei confini dell'Unione, privilegiando tre settori; mentre invece quelli provenienti dall'esterno confermano una certa gerarchia del commercio internazionale in cui le risorse provengono principalmente da paesi a basso reddito, con vantaggi assoluti in termini di disponibilità di materie prime, con flussi diretti verso i paesi a reddito alto.

Questi risultati hanno un impatto importante per quanto riguarda la scelta di politiche di riduzione delle emissioni in un'ottica di mitigazione del cambiamento climatico. Se è vero, infatti, che è assolutamente necessario cercare di ridurre le emissioni globali a zero almeno entro il 2050, ogni regione deve agire, a livello legislativo, a se stante e questo è un grosso limite ad azioni veramente utili a livello mondiale.

Dal canto suo però, un'analisi di questo tipo potrebbe quindi permettere ai legislatori europei di intervenire più efficacemente per ridurre le emissioni incorporate nei processi produttivi del suo settore energetico, i risultati infatti suggeriscono che, provenendo gli inputs impattanti per la maggior parte dall'interno dei suoi confini, un intervento regolatorio mirato alla riduzione delle emissioni avrà potenzialmente un impatto molto elevato

A conferma dei risultati dello studio, esempio di intervento legislativo in questa direzione è l'Emission Trading Scheme (EU-ETS), un sistema "Cap and Trade" che comprende tutti i paesi europei ma anche l'Islanda, il Liechtenstein e la Norvegia, che impone al suo interno un tetto massimo di emissioni (ridotte di anno in anno) che tutte le aziende possono emettere, possono inoltre scambiare queste quote tra loro attraverso veri e propri mercati ma il risultato principale è dato dal fatto che il tetto massimo di emissioni viene deciso in partenza dalla legislazione in base agli obiettivi di mitigazione del cambiamento climatico. È un sistema ancora acerbo, che copre solo il 40% delle emissioni di CO₂e dell'Unione ma, considerando i risultati dello studio, ha le potenzialità per avere un'influenza importante sulle emissioni del settore energetico comunitario se indirizzato alla riduzione delle emissioni degli inputs prodotti nei settori interessati.

Per rafforzare l'effetto di queste politiche, nel sistema reale, è però necessario suggerire qualche politica di protezione da eventuali inputs più inquinanti

provenienti dall'estero che diventerebbero così più economici in quanto non sottoposti allo schema.

Da anni, infatti, l'UE discute sull'introduzione di una "carbon border tax" che permetta di correggere questa criticità dell'EU-ETS evitando il fenomeno del carbon leakage come strumento di evasione. A fine 2022, il Consiglio e il Parlamento europeo hanno trovato un accordo sul cosiddetto "Carbon Border Adjustment Mechanism" (CBAM) un meccanismo di correzione dell'EU-ETS che impone una tassa sulle emissioni di carbonio estere importate in Europa, da saldare tramite l'acquisto di certificati emissione europei, che possa erodere il vantaggio economico di questi prodotti ad alto impatto. Questo meccanismo sarà operativo da ottobre 2023 e seppur ancora molto limitato; infatti, riguarderà inizialmente solo una serie di prodotti ad alto impatto come ferro, acciaio, cemento, fertilizzanti, alluminio, elettricità ed idrogeno ha le potenzialità, nel lungo periodo, di poter generare un impatto considerevole sulle emissioni europee in pieno accordo con i risultati dell'analisi contenuta in questo lavoro.

Nonostante la validità dei risultati ottenuti, confermabili da reali iniziative legislative in merito, è importante evidenziare come una limitazione del modello utilizzato sia la relativa lentezza nel disporre dei dati, infatti spesso si hanno a disposizione informazioni non in tempo reale, data la enorme mole di dati da reperire e processare, questo pone un rischio nell'attuare politiche basate su analisi di questo tipo se il fenomeno studiato "muta" velocemente.

Inoltre, è doveroso sottolineare che i dati Open Source del database WIOD, utilizzati per questo studio sono datati; questo in un contesto come il commercio internazionale, cambiato molto negli ultimi anni e soprattutto, in ambito energetico, nell'anno appena passato, potrebbe rendere alcune considerazioni imprecise, seppure le conclusioni di fondo rimangano immutate nella loro veridicità, confermate dalle scelte legislative del Consiglio europeo e del Parlamento europeo.

Un approfondimento futuro dello studio, con budget superiori, potrebbe realisticamente portare alla conferma della tesi di fondo seppur mostrando dati e interconnessioni tra i settori produttivi differenti, consentendo di portare le giuste correzioni ai sistemi di riduzione delle emissioni ampliandone l'efficacia.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] IPCC, Mitigation of Climate Change Climate Change 2022 Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2022. [Online]. Disponibile su: www.ipcc.ch
- [2] S. J. Davis e K. Caldeira, «Consumption-based accounting of CO₂ emissions», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 107, fasc. 12, pp. 5687–5692, mar. 2010, doi: 10.1073/pnas.0906974107.
- [3] R. K. Pachauri, A. Reisinger, L. Bernstein, Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, e Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate change 2007 : synthesis report*. 2007, p. 103.
- [4] G. P. Peters e E. G. Hertwich, «CO₂ embodied in international trade with implications for global climate policy», *Environmental Science and Technology*, vol. 42, fasc. 5, pp. 1401–1407, mar. 2008, doi: 10.1021/es072023k.
- [5] J. Ederington, A. Levinson, e J. Minier, «FOOTLOOSE AND POLLUTION-FREE», 2005. [Online]. Disponibile su: <http://direct.mit.edu/rest/article-pdf/87/1/92/1613956/0034653053327658.pdf>
- [6] J. Ederington e J. Minier, «Is environmental policy a secondary tradebarrier? An empirical analysis», *Canadian Journal of Economics*, vol. 36, fasc. 1, pp. 137–154, feb. 2003, doi: 10.1111/1540-5982.00007.

- [7] A. Levinson e M. S. Taylor, «Unmasking the pollution haven effect», *International Economic Review*, vol. 49, fasc. 1, pp. 223–254, feb. 2008, doi: 10.1111/j.1468-2354.2008.00478.x.
- [8] N. Najjar e J. Cherniwchan, «Environmental regulations and the cleanup of manufacturing: Plant-level evidence», *Review of Economics and Statistics*, vol. 103, fasc. 3, pp. 476–491, lug. 2021, doi: 10.1162/rest_a_00904.
- [9] J. A. List, W. W. McHone, e D. L. Millimet, «Effects of air quality regulation on the destination choice of relocating plants», *Oxford Economic Papers*, vol. 55, fasc. 4, pp. 657–678, ott. 2003, doi: 10.1093/oep/55.4.657.
- [10] J. Ederington, M. Paraschiv, e M. Zanardi, «The short and long-run effects of international environmental agreements on trade», *Journal of International Economics*, vol. 139, pp. 103685–103685, nov. 2022, doi: 10.1016/j.jinteco.2022.103685.
- [11] Y. Duan, T. Ji, e T. Yu, «Reassessing pollution haven effect in global value chains», *Journal of Cleaner Production*, vol. 284, feb. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124705.
- [12] J. Ederington Arik Levinson Jenny Minier, J. Ederington, A. Levinson, e J. Minier, «Trade Liberalization and Pollution Havens», 2004. [Online]. Disponibile su: <http://www.nber.org/papers/w10585>

- [13] A. Levinson, «Offshoring pollution: Is the United States increasingly importing polluting goods?», presentato al Review of Environmental Economics and Policy, dic. 2009, vol. 4, fasc. 1, pp. 63–83. doi: 10.1093/reep/rep017.
- [14] Shapiro Joseph S e Walker Reed, «Why is Pollution from U.S. Manufacturing Declining? The Roles of Environmental Regulation, Productivity, and Trade «-»», 2018.
- [15] Brian W. Jbara, «Exploring the Causality between the Pollution Haven Hypothesis and the Environmental Kuznets Curve Exploring the Causality between the Pollution Haven Hypothesis and the Environmental Kuznets Curve», 2007. [Online]. Disponibile su: http://digitalcommons.iwu.edu/econ_honproj/21
- [16] Elisabeth Rosenthal, «Recycled Battery Lead Puts Mexicans in Danger - The New York Times», The New York Times, 2011.
- [17] B. R. Copeland e M. S. Taylor, «North-South Trade and the Environment*», The Quarterly Journal of Economics, vol. 109, fasc. 3, pp. 755–787, ago. 1994, doi: 10.2307/2118421.
- [18] J. Munksgaard e K. A. Pedersen, «CO2 accounts for open economies: producer or consumer responsibility?», 03014215/01, 2001.
- [19] P. W. Gay e J. L. R. Proops, «Carbon-dioxide production by the UK economy: An input-output assessment», Applied Energy, vol. 44, fasc. 2, pp. 113–130, 1993, doi: 10.1016/0306-2619(93)90057-V.

- [20] R. Muradian, M. O’connor, e J. Martinez-Alier, «Embodied pollution in trade: estimating the “environmental load displacement” of industrialised countries», 2002. [Online]. Disponibile su: www.elsevier.com/locate/ecolecon
- [21] T. O. Wiedmann, M. Lenzen, e J. R. Barrett, «Companies on the scale comparing and benchmarking the sustainability performance of businesses», *Journal of Industrial Ecology*, vol. 13, fasc. 3, pp. 361–383, giu. 2009, doi: 10.1111/j.1530-9290.2009.00125.x.
- [22] DIR 2003/87/CE.
- [23] European Parliament Press, «03A-DV-PRESSE_BKG(2008)12-08(44004)_IT», 2008.
- [24] M. Á. Cadarso, L. A. López, N. Gómez, e M. Á. Tobarra, «International trade and shared environmental responsibility by sector. An application to the Spanish economy», *Ecological Economics*, vol. 83, pp. 221–235, nov. 2012, doi: 10.1016/j.ecolecon.2012.05.009.
- [25] A. Marques, J. Rodrigues, M. Lenzen, e T. Domingos, «Income-based environmental responsibility», 2012.
- [26] A. Kander, M. Jiborn, D. D. Moran, e T. O. Wiedmann, «National greenhouse-gas accounting for effective climate policy on international trade», *Nature Climate Change*, vol. 5, fasc. 5, pp. 431–435, mag. 2015, doi: 10.1038/nclimate2555.

- [27] D. Trefler e S. C. Zhu, «The structure of factor content predictions», *Journal of International Economics*, vol. 82, fasc. 2, pp. 195–207, nov. 2010, doi: 10.1016/j.jinteco.2010.07.006.
- [28] D. Acemoglu, P. Aghion, L. Bursztyn, e D. Hemous, «The environment and directed technical change», *American Economic Review*, vol. 102, fasc. 1, pp. 131–166, feb. 2012, doi: 10.1257/aer.102.1.131.
- [29] W. Leontief, «Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach», *The Review of Economics and Statistics*, vol. 52, fasc. 3, pp. 262–271, 1970, doi: 10.2307/1926294.
- [30] Istat, «LE TAVOLE DELLE RISORSE E DEGLI IMPIEGHI E LA LORO TRASFORMAZIONE IN TAVOLE SIMMETRICHE NOTA METODOLOGICA», 2006.
- [31] F. Monsalve, J. E. Zafrilla, e M. Á. Cadarso, «Where have all the funds gone? Multiregional input-output analysis of the European Agricultural Fund for Rural Development», *Ecological Economics*, vol. 129, pp. 62–71, set. 2016, doi: 10.1016/j.ecolecon.2016.06.006.
- [32] M. Serrano e E. Dietzenbacher, «Responsibility and trade emission balances: An evaluation of approaches», *Ecological Economics*, vol. 69, fasc. 11, pp. 2224–2232, set. 2010, doi: 10.1016/j.ecolecon.2010.06.008.
- [33] B. Edens, R. Delahaye, M. van Rossum, e S. Schenau, «Analysis of changes in Dutch emission trade balance(s) between 1996 and 2007», *Ecological*

Economics, vol. 70, fasc. 12, pp. 2334–2340, ott. 2011, doi: 10.1016/j.ecolecon.2011.07.006.

[34] Z. M. Chen e G. Q. Chen, «Embodied carbon dioxide emission at supra-national scale: A coalition analysis for G7, BRIC, and the rest of the world», *Energy Policy*, vol. 39, fasc. 5, pp. 2899–2909, mag. 2011, doi: 10.1016/j.enpol.2011.02.068.

[35] D. D. Moran, M. Lenzen, K. Kanemoto, e A. Geschke, «Does Ecologically Unequal Exchange Occur?», *Ecological Economics*, vol. 89, pp. 177–186, mag. 2013, doi: 10.1016/j.ecolecon.2013.02.013.

[36] Y. Yu, K. Feng, e K. Hubacek, «China’s unequal ecological exchange», *Ecological Indicators*, vol. 47, pp. 156–163, 2014, doi: 10.1016/j.ecolind.2014.01.044.

[37] M. Wackernagel, D. Lin, L. Hanscom, A. Galli, e K. Iha, «Ecological Footprint☆», in *Encyclopedia of Ecology (Second Edition)*, Second Edition., B. Fath, A c. di Oxford: Elsevier, 2019, pp. 270–282. doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.09567-1.

[38] Almond et al., «WWF (2022) Living Planet Report 2022 – Building a naturepositive society», 9782880853167, 2022.

[39] Krey V et al., «Annex II: Metrics & Methodology. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the*

Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change», 2014.

[40] A. Y. Hoekstra e T. O. Wiedmann, «Humanity's unsustainable environmental footprint», 2014.

RIFERIMENTI SITOGRAFICI

<https://www.istat.it/it/archivio/6839>

http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCCN_CONTIEMATMREV2

https://it.wikipedia.org/wiki/Wassily_Leontief

https://it.frwiki.wiki/wiki/%C3%89quilibre_g%C3%A9n%C3%A9ral_calculable

<https://ipccitalia.cmcc.it/cambiamenti-climatici-una-minaccia-al-benessere-delle-persone-e-alla-salute-del-pianeta-agire-ora-puo-mettere-al-sicuro-il-nostro-futuro/>

<https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20180703STO07132/>

[commercio-internazionale-statistiche-e-dati-sull-unione-europea](#)

<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/it/sheet/160/1-unione-europea-e-i-suoi-partner-commerciali>

https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch11s11-7-2.html

<https://www.rug.nl/ggdc/valuechain/wiod/wiod-2013-release>

ALLEGATI

```
clear
tic
s=35;
r=41;
load WIOT_09.mat
Z_09=WIOT_09(1:1435,1:1435);
Q_09=WIOT_09(1443,1:1435);
for i=1:s*r
    if (Q_09(i)==0);
        Q_09(i)=0.000000000000000000000001;
    end
end
A=Z_09*inv(diag(Q_09));
```

Warning: Matrix is close to singular or badly scaled. Results may be inaccurate. RCOND = 3.393485e-31.

```
I=eye(s*r);
L=inv(I-A);
load EMISS_09.mat
VE_WIOD=reshape(EMISS_09,s*r,1);
e=diag(VE_WIOD)*inv(diag(Q_09));
```

Warning: Matrix is close to singular or badly scaled. Results may be inaccurate. RCOND = 3.393485e-31.

```
DF_WIOT_09=WIOT_09(1:1435,1436:1640);
DF_09_Total=zeros(s*r,r);

DF_09_d=zeros(s*r,s*r);
for k=1:r
    if (k==1)
        inicio=1;
        fin=4;
    else
        inicio=5*(k-1)+1;
        fin=inicio+3;
    end
    DF_09_Total(:,k)=sum(DF_WIOT_09(:,inicio:fin),2);
    % - Diagonalizar
    inicioj=s*(k-1)+1;
    finj=inicioj+s-1;
    for i=1:r
        inicioi=s*(i-1)+1;
        finii=inicioi+s-1;
        DF_09_d(inicioi:finii,inicioj:finj)=diag(DF_09_Total(inicioi:finii,k));
    end
end
OUTPUT=L*DF_09_d;
EMISS41R=e*OUTPUT;
load AGM6.mat
EMISS6R=AGM6*EMISS41R*AGM6';
PR=sum(EMISS6R,2);

CR=sum(EMISS6R,1);
```

```
REB=PR-CR';
dlmwrite('Resultados_EMISS41R.txt',EMISS41R,'delimiter','\t');
dlmwrite('Resultados_EMISS6R.txt',EMISS6R,'delimiter','\t');
dlmwrite('Resultados_REB.txt',REB,'delimiter','\t');
```