



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE ED AZIENDALI
"M. FANNO"

CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA

PROVA FINALE

**"EMISSIONI CARBONICHE DERIVANTI DALLA PRODUZIONE E
IMPRONTA CARBONICA DEI CONSUMI"**

RELATORE:

CH.MO/A PROF./SSA CESARE DOSI

LAUREANDO/A: LUCA ZANDI

MATRICOLA N. 1236853

ANNO ACCADEMICO 2023 – 2024

Dichiaro di aver preso visione del “Regolamento antiplagio” approvato dal Consiglio del Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali e, consapevole delle conseguenze derivanti da dichiarazioni mendaci, dichiaro che il presente lavoro non è già stato sottoposto, in tutto o in parte, per il conseguimento di un titolo accademico in altre Università italiane o straniere. Dichiaro inoltre che tutte le fonti utilizzate per la realizzazione del presente lavoro, inclusi i materiali digitali, sono state correttamente citate nel corpo del testo e nella sezione ‘Riferimenti bibliografici’.

I hereby declare that I have read and understood the “Anti-plagiarism rules and regulations” approved by the Council of the Department of Economics and Management and I am aware of the consequences of making false statements. I declare that this piece of work has not been previously submitted – either fully or partially – for fulfilling the requirements of an academic degree, whether in Italy or abroad. Furthermore, I declare that the references used for this work – including the digital materials – have been appropriately cited and acknowledged in the text and in the section ‘References’.

Firma (signature) 

Indice

Introduzione.....	3
1. Le emissioni carboniche: un quadro generale.....	4
1.1 L'impronta di carbonio.....	6
1.2 Production-based emissions	7
1.3 Consumption-based emissions	7
1.4 Metodo di calcolo dell'impronta di carbonio	11
1.4.1 International Panel on Climate Change (IPCC).....	11
1.4.2 Altri strumenti metodologici.....	12
2. Analisi empirica comparativa tra paesi	15
2.1 UE, Italia, Stati Uniti e Russia.....	16
2.1.1 Unione Europea	16
2.1.2 Italia	18
2.1.3 Stati Uniti.....	20
2.1.4 Russia.....	23
2.2 Cina, India	25
2.2.1 Cina.....	25
2.2.2 India	27
3. Carbon leakage e strategie di mitigazione delle emissioni di CO2.....	29
3.1 Carbon Leakage.....	29
3.2 Il sistema di scambio di quote di emissione dell'UE (ETS).....	30
3.3 Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)	31
3.3.1 Funzionamento	31
3.3.2 Sfide e limiti	32
Considerazioni finali	34
Riferimenti bibliografici	36

Introduzione

Il cambiamento climatico rappresenta una delle sfide più pressanti del nostro tempo, con le emissioni di CO₂ che contribuiscono significativamente all'aumento delle temperature globali. Per ovviare a questo problema, le organizzazioni internazionali hanno stipulato accordi volti a ridurre le emissioni di carbonio, spingendo le imprese ad adottare nuove misure di mitigazione per conformarsi alle normative e migliorare l'efficienza dei propri processi produttivi. In questo contesto, l'economia moderna si basa su nuovi strumenti e indicatori per misurare e gestire le emissioni derivanti dalla produzione e dal consumo.

Gli obiettivi perseguiti nel seguente lavoro consistono nell'analisi di dati relativi alle emissioni basate sulla produzione e sul consumo, facendo luce sui fattori trainanti che portano un'economia ad essere "importatrice" o "esportatrice" di CO₂. Verranno descritte le emissioni derivanti dalle produzioni territoriali e l'impronta carbonica dei consumi di alcune delle più grandi economie a livello globale, attraverso i principali criteri di misurazione e metodi di calcolo delle emissioni, così come alcuni dei più importanti provvedimenti intrapresi per contrastare le emissioni di CO₂.

Il presente elaborato è così articolato: nel **primo capitolo**, oltre ad una breve analisi del quadro globale delle emissioni carboniche, verranno trattati i concetti di "carbon footprint", "Production-based Emissions" e "Consumption-based Emissions", le loro differenze e i possibili metodi di calcolo per individui e organizzazioni. Nel **secondo capitolo** verrà presentata un'analisi comparativa empirica tra paesi, focalizzandosi su Cina, Stati Uniti, India, Italia, Russia, ed Unione Europea. Nel **terzo capitolo** verrà infine analizzato il fenomeno del "carbon leakage", e alcune politiche ambientali intraprese dall'Unione Europea per ridurre le emissioni di carbonio e raggiungere l'obiettivo di neutralità climatica: in particolare, verranno analizzati il sistema di scambio di quote di emissione dell'UE (ETS) e il meccanismo di adeguamento del carbonio alle frontiere (CBAM).

Capitolo 1

Le emissioni carboniche: un quadro generale

Nel 2021, secondo i dati del "CO2 Emissions of All World Countries, 2022 Report" della Commissione Europea, Cina, Stati Uniti, UE, India, Russia e Giappone sono le economie che emettono più CO2 al mondo. Insieme, rappresentano il 49,2% della popolazione mondiale, il 62,4% del Pil globale, il 66,4% del consumo di combustibili fossili e il 67,8% delle emissioni globali di CO2 fossile.

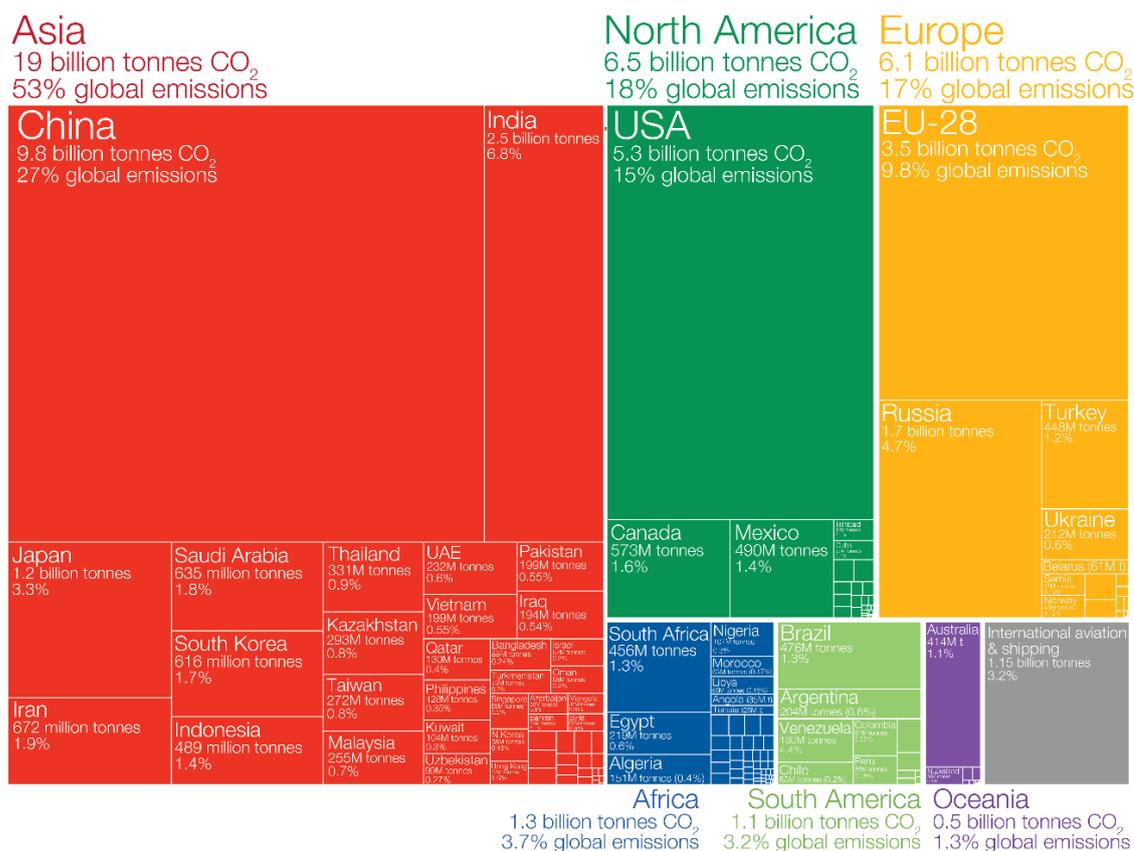
Il 14 luglio 2021, la Commissione europea ha presentato, il pacchetto per la neutralità climatica denominato "Fit for 55%", composto da dodici direttive e regolamenti volti a ridurre le emissioni di carbonio dell'**Unione europea** di almeno il 55% entro il 2030, e di raggiungere la neutralità carbonica entro il 2050, portando i soggetti operanti nei diversi settori dell'economia europea ad adottare nuove linee strategiche sul piano della produzione e del consumo.

Gli stessi obiettivi vengono perseguiti negli **Stati Uniti**, i quali, sempre secondo i dati del "CO2 emissions of all world countries, 2022 Report", si trovano al secondo posto tra i paesi che emettono più CO2 al mondo (con una quota pari al 13,5% della produzione totale di anidride carbonica), e per il Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti¹, dovranno rimuovere tra le 400 milioni e le 1.8 miliardi di tonnellate metriche di CO2 all'anno per raggiungere l'obiettivo di emissioni nette zero entro il 2050

La **Cina** è attualmente il Paese che produce più emissioni di CO2: il 33% delle emissioni carboniche globali nel 2021 (circa 10 miliardi di tonnellate). Dato il suo livello di sviluppo tecnologico negli ultimi 30 anni, il suo continuo autodefinirsi come un "paese in via di sviluppo" sembra sempre più anacronistico: la Cina è un attore internazionale economicamente influente, in grado di assumersi maggiori responsabilità. Anche la Cina ha fissato l'obiettivo di raggiungere il picco delle emissioni di CO2 entro il 2030, e di diventare neutrale dal punto di vista del carbonio entro il 2060.

¹ Il Dipartimento dell'energia degli Stati Uniti d'America (DOE) è il dipartimento federale del governo degli Stati Uniti d'America responsabile della gestione dell'energia, della sicurezza nucleare e della protezione ambientale.

Figura 1: Emissioni di CO₂ divise per continenti, in tonnellate (2017).

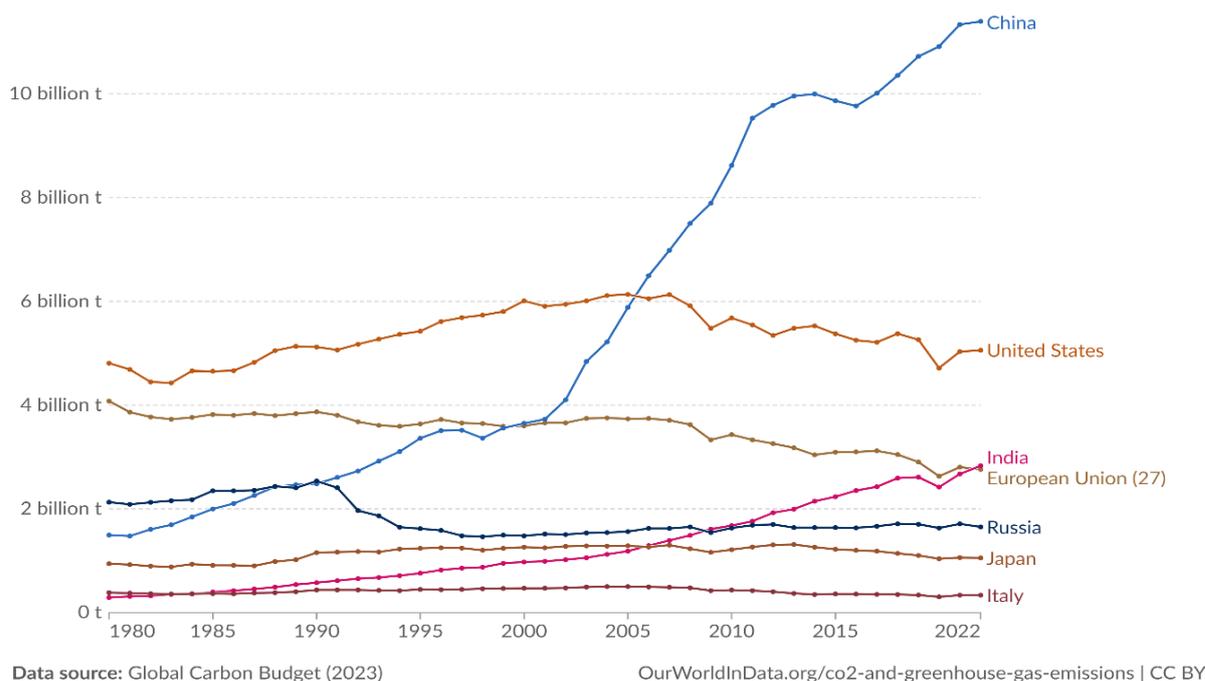


Fonte: Our World in Data, Hannah Ritchie (2019)

A partire dalla fine del secondo conflitto mondiale, il livello delle emissioni di carbonio nel mondo presenta un andamento sempre più crescente, dovuto principalmente al rapido processo di industrializzazione, all'aumento della popolazione, all'espansione del commercio globale e all'utilizzo dei combustibili fossili come fonte principale di energia globale.

Il grafico descritto in **Figura 2** rappresenta le emissioni annue di CO₂ delle sei maggiori nazioni produttrici (Cina, Stati Uniti, India, UE, Russia, Giappone) e dell'Italia, dal 1980 al 2022, in tonnellate. Esso mostra come, negli ultimi 40 anni, la crescita esponenziale delle economie emergenti sia accompagnata da un notevole aumento delle emissioni. Nel corso degli ultimi anni, a differenza dei paesi avanzati che hanno completato gran parte della propria industrializzazione e possono permettersi di investire in tecnologie ecosostenibili, le economie emergenti hanno fatto ampio affidamento su fonti energetiche a basso costo come il petrolio e il carbone, i quali, pur essendo abbondanti ed economicamente convenienti, sono altamente inquinanti. Inoltre, paesi come Cina, India e Brasile sono sovente importanti centri di produzione per il mercato globale: producono beni che sono destinati all'esportazione, con conseguenti emissioni che, pur essendo contabilizzate nei loro bilanci nazionali, servono in realtà a soddisfare la domanda dei paesi sviluppati.

Figura 2: Emissioni annue di CO2 di Cina, Stati Uniti, India, UE, Russia, Giappone, Italia, 1980-2022



Fonte: Global Carbon Budget (2023), Nostra elaborazione dati Our World in Data

1.1 L'impronta di carbonio

L'impronta di carbonio, o “*carbon footprint*”, rappresenta la somma totale di gas serra emessi nell'atmosfera per produrre un prodotto o per svolgere un'attività (Berners-Lee, 2022). Per la maggior parte dei consumatori nei paesi sviluppati, questi prodotti e attività tendono a rientrare in quattro categorie principali: consumo energetico domestico, trasporti, cibo e “tutto il resto”, che consiste principalmente nei prodotti che acquistiamo, dagli utensili ai vestiti, dalle automobili ai televisori. È quindi un indicatore di quanto contribuiamo al riscaldamento globale di origine antropica, espresso in tonnellate di CO2 per anno. O meglio, di quanto contribuiamo a rallentarlo, se la nostra impronta di carbonio è piccola. Nel suo libro Berners-Lee, professore della Lancaster University in Inghilterra, scrive che attualmente l'impronta di carbonio del cittadino medio è equivalente all'emissione di sette tonnellate di diossido di carbonio per anno. Tuttavia, tale cifra è pari a circa ventuno tonnellate per un cittadino statunitense medio, il quale impiega solo un paio di giorni per eguagliare l'impronta annua del nigeriano o del maliano medio. Per avere le migliori possibilità di riuscire ad evitare un aumento di 2°C delle temperature globali, l'impronta di carbonio media annua per individuo deve scendere sotto le 2 tonnellate entro il 2050. Questa misura è diventata negli ultimi anni uno strumento cruciale per monitorare il rispetto degli accordi internazionali sulla riduzione delle emissioni.

1.2 Production-based emissions

Prima di passare all'analisi dei possibili metodi di calcolo dell'impronta di carbonio di individui, organizzazioni e paesi, è necessario avere un'idea chiara della distinzione tra emissioni basate sul consumo ed emissioni basate sulla produzione.

Le "**Production-based Emissions**" (PBE) si riferiscono ai gas serra emessi all'interno di un determinato paese o regione durante la produzione di beni e servizi, indipendentemente da dove questi beni vengano successivamente consumati. Questo concetto si basa quindi sull'idea che le emissioni dovute alla produzione di un prodotto o servizio debbano essere attribuite al paese in cui tali beni sono effettivamente prodotti, indipendentemente dal fatto che siano destinati al consumo interno o all'esportazione. Per esempio, ipotizziamo che un'azienda del settore tessile in India produca capi di abbigliamento destinati all'esportazione in Europa. Durante il processo di produzione, l'azienda utilizza energia elettrica generata prevalentemente da centrali a carbone, una delle fonti di energia più inquinanti. Seguendo il metodo delle emissioni basate sulla produzione, queste emissioni sono da attribuire interamente all'India, poiché è il Paese in cui avviene la produzione. Tuttavia, una volta esportati, di quei prodotti beneficiano, in ultima istanza, consumatori europei, il che crea evidentemente una discrepanza tra i paesi che producono (spesso economie emergenti) e quelli che consumano, dove i primi si vedono attribuite emissioni elevate pur non beneficiando interamente del consumo dei beni prodotti. Queste differenze nella contabilizzazione delle emissioni possono complicare la responsabilità globale nella lotta contro il cambiamento climatico.

Questo metodo di analisi delle emissioni divise per paese rimane il più comune, e viene utilizzato nei report ufficiali delle emissioni nazionali come quelli presentati nell'ambito dell'Accordo di Parigi² del 2015, ma, come abbiamo visto, tale approccio da solo è piuttosto ingiusto poiché i paesi più ricchi possono permettersi di ridurre le proprie emissioni senza dover ridurre il consumo di CO₂.

1.3 Consumption-based emissions

La crescita del commercio internazionale e la rapida globalizzazione degli ultimi decenni hanno sollevato importanti questioni relative al rallentamento e, in alcuni casi, alla riduzione delle emissioni dei paesi industrializzati, e se questa riflettesse effettivamente un reale sforzo di

² L'accordo di Parigi, firmato da 194 paesi e dall'UE, è un trattato internazionale che mira a ridurre le emissioni di gas serra e a limitare il riscaldamento globale al di sotto di 2°C, al fine di evitare le conseguenze catastrofiche del cambiamento climatico.

mitigazione, o se corrispondesse semplicemente ad una delocalizzazione delle emissioni. È nato il cosiddetto “*accountability problem*”, ovvero il problema di come misurare e a chi attribuire le responsabilità delle emissioni di carbonio associate agli scambi internazionali di prodotti.

Dai primi anni 2000 si è diffuso il concetto di "**Consumption-based Emissions**" (CBE): emissioni di CO₂ che derivano dal consumo finale di beni e servizi all'interno di un determinato territorio, come un paese o una regione, indipendentemente da dove tali beni e servizi siano stati prodotti. In altre parole, queste emissioni sono attribuite al paese che consuma i beni, piuttosto che al paese che li produce.

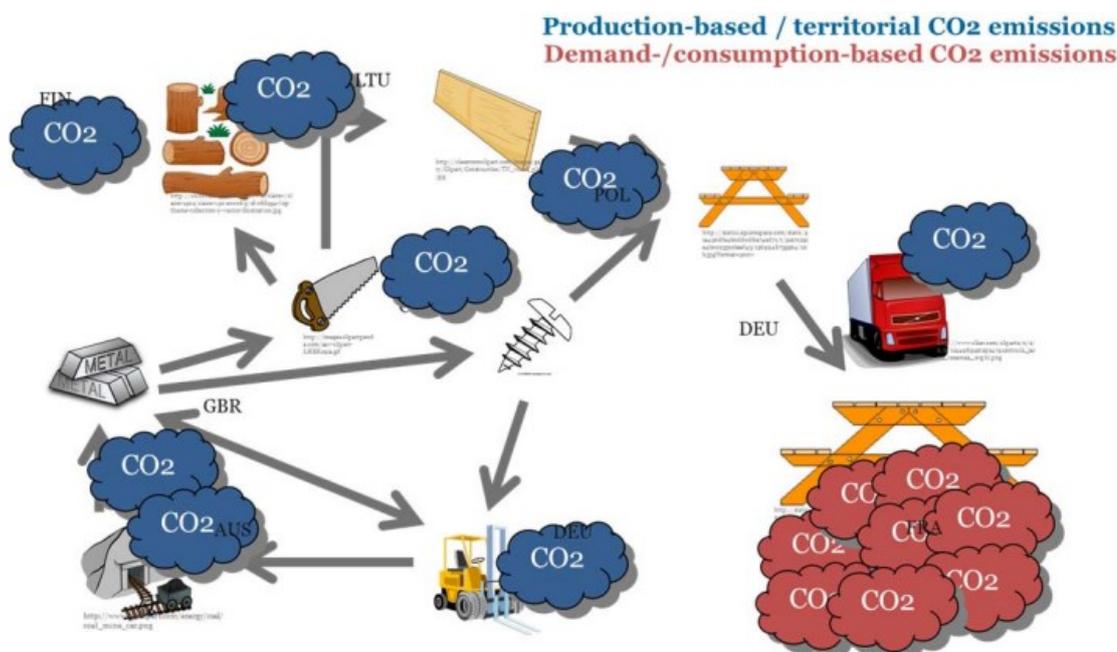
Riportando tutto in una semplice formula (Grubb, 2022), si può dire che:

$$CBE = PBE - CFX + CFI$$

Ovvero, l'impronta carbonica totale dei consumi di un paese, o Consumption-Based Emissions (CBE), è data dalle Production-Based Emissions (PBE) alle quali viene sottratta l'impronta carbonica dei prodotti esportati (CFX), e successivamente viene aggiunta l'impronta carbonica dei prodotti importati (CFI).

La **Figura 3** illustra sinteticamente le differenze tra emissioni “consumption-based” e “production-based”: un tavolo di legno viene acquistato da un consumatore in Francia. Viene trasportato da una società di logistica tedesca dalla Polonia, dove è stato assemblato con viti prodotte in Cina e assi di legno prodotte in Lituania. La Cina ha fornito gli utensili per tagliare le assi di legno alla Finlandia. Il metallo per le viti viene estratto in Austria e lavorato in Inghilterra. La CO₂ viene emessa in ogni fase della catena di produzione. Le nuvole blu indicano dove viene emessa la CO₂ durante il processo di produzione: rappresentano infatti emissioni basate sulla produzione. Le emissioni basate sul consumo sono esattamente le stesse, ma in questo caso vengono assegnate al paese di utilizzo finale del tavolo in legno, ovvero la Francia (nuvole rosse).

Figura 3: L'origine delle emissioni nella produzione di un tavolo in legno (a scopo illustrativo)

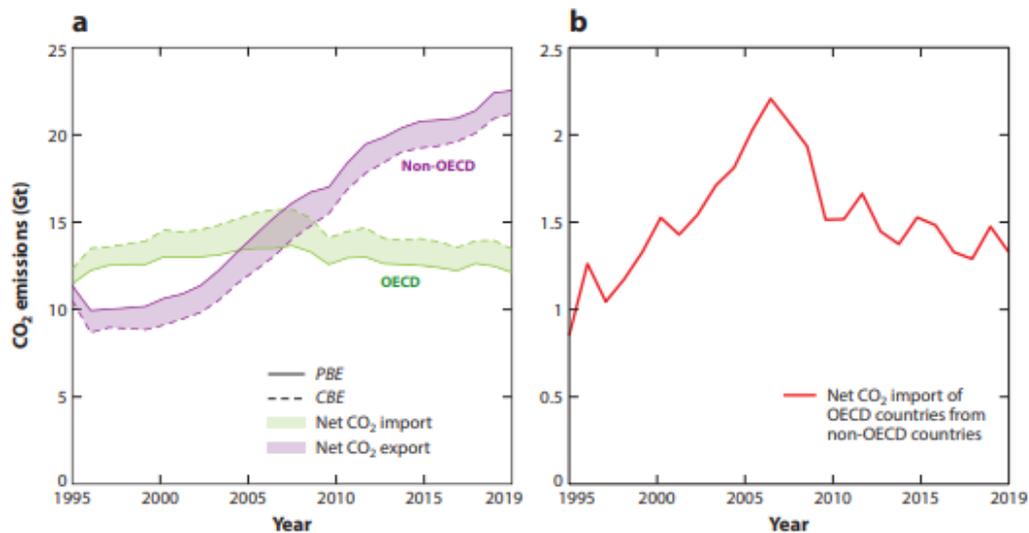


Fonte: OECD CO2 emissions embodied in consumption (2016)

L'OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) è un'organizzazione internazionale di studi economici per i paesi membri (attualmente 36), paesi sviluppati aventi in comune un sistema di governo di tipo democratico ed un'economia di mercato omogenea. La **Figura 4a** illustra l'evoluzione delle emissioni basate sul consumo e sulla produzione negli ultimi anni, divise per paesi appartenenti all'OECD e non-OECD: mentre i paesi OECD sono, nel complesso, "importatori di carbonio" (la linea continua verde che rappresenta le PBE si trova al di sotto della linea tratteggiata verde che rappresenta le CBE), i paesi che non fanno parte dell'OECD sono esportatori di CO2, e le loro emissioni sono prevalentemente conseguenza della produzione di prodotti e servizi. Le esportazioni nette di CO2 dai paesi OECD ai paesi non OECD hanno raggiunto il picco nel 2006, per poi decrescere fino a raggiungere un livello inferiore a quello degli anni pre-2000 nel 2019, a differenza delle previsioni di crescita precedentemente ipotizzate da molti. Ciò è dovuto principalmente ad un calo dell'intensità delle emissioni dei beni scambiati, provenienti soprattutto dai paesi in via di sviluppo, che ha superato gli effetti dell'aumento del volume degli scambi dall'anno 2006 (**Figura 4b**)

Figura 4a: Emissioni di CO2 production- e consumption-based (paesi OECD e non-OECD)

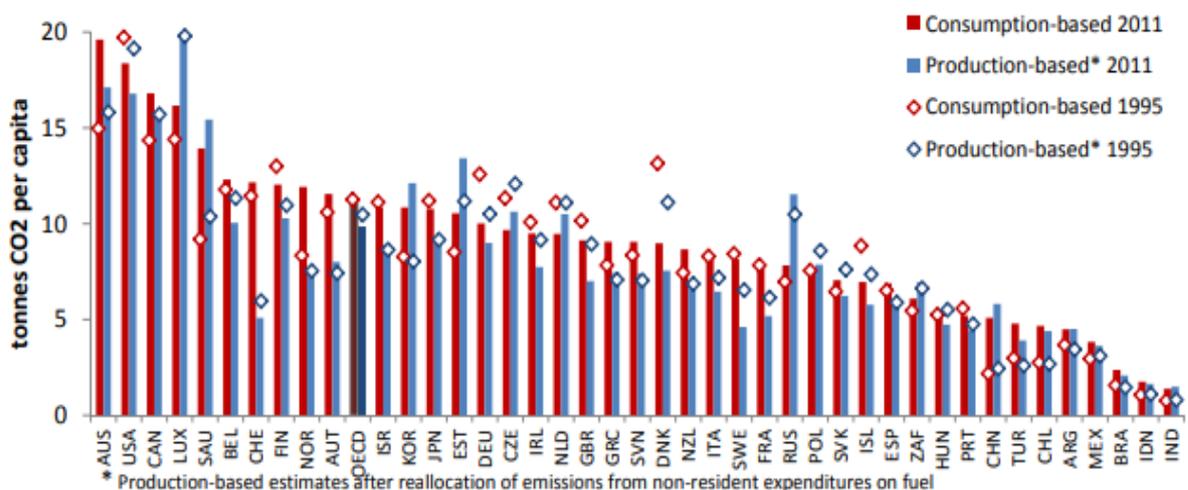
Figura 4b: Importazioni nette di CO2 da paesi OECD a paesi non-OECD (1995-2019)



Fonte: Grubb et al. (2022)

Tuttavia, è possibile riscontrare alcune differenze significative nei livelli individuali di PBE e CBE: alcuni paesi OECD sono prevalentemente esportatori netti, mentre esistono paesi non-OECD importatori netti. La **Figura 5** mostra le emissioni derivanti dalla produzione e dal consumo pro capite di tutte le nazioni appartenenti al G20³ e all'OECD, ordinate in base alle CBE dell'anno 2011. Se la barra rossa (CBE) è più alta della barra blu (PBE), significa che il paese è un importatore netto di emissioni di CO₂. Si nota come per esempio, economie avanzate come l'Olanda e la Corea sono esportatrici nette di emissioni, mentre il Brasile (considerato in via di sviluppo) è un importatore netto di emissioni.

Figura 5: Emissioni di CO2 pro capite in tonnellate, anno 2011



Fonte: OECD CO₂ emissions embodied in consumption (2016)

³ Il Gruppo 20, o G20, è un forum dei leader, ministri delle finanze e governatori delle banche centrali, instaurato nel 1999 a seguito di una successione di crisi finanziarie, per favorire l'internazionalità economica e la concertazione, tenendo conto delle nuove economie in sviluppo.

1.4 Metodo di calcolo dell'impronta di carbonio

Calcolare l'impronta di carbonio serve a sapere quanto un paese, una regione o una singola organizzazione sta contribuendo al riscaldamento globale. In questo modo è possibile monitorare il rispetto degli impegni internazionali per la lotta al cambiamento climatico, e rendere più precise le proiezioni sulla futura evoluzione del riscaldamento globale. Secondo Berners-Lee (2022), viste le complessità e le numerose variabili in gioco, non è mai possibile essere completamente accurati nel calcolo dell'impronta di carbonio di un singolo individuo. Proprio per questo, negli ultimi anni è emersa online una vera e propria cornucopia di calcolatori personali dell'impronta di carbonio, che utilizzano le abitudini, il consumo di cibo, il consumo energetico domestico e altre informazioni per fornire un'approssimazione della quantità di gas serra "necessari" per sostenere un determinato stile di vita.

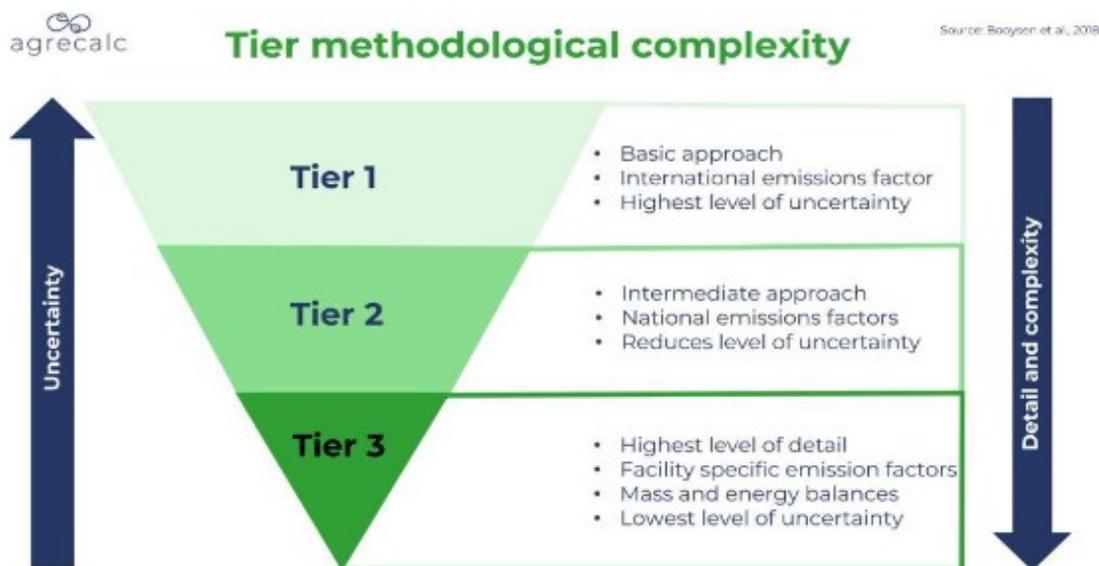
1.4.1 International Panel on Climate Change (IPCC)

Per quanto riguarda il calcolo dell'impronta di carbonio di soggetti più complessi come le nazioni, il riferimento fondamentale sono le linee guida e gli strumenti per gli inventari nazionali di gas serra dell'IPCC, l'International Panel on Climate Change delle Nazioni Unite. Queste linee guida, organizzate in manuali tecnici noti come "IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories", sono essenziali per determinare le impronte di carbonio a livello nazionale in modo accurato e uniforme, forniscono criteri per calcolare le emissioni di gas serra a partire dai suoi principali indicatori statistici ed economici, e sono utilizzate per definire e monitorare gli accordi internazionali sul clima (come l'Accordo di Parigi). Queste linee guida sono strutturate per coprire tutte le principali fonti di emissione, e includono:

- **Calcolo delle Emissioni per Settore:** le emissioni vengono divise in sette principali settori, e per ogni settore vengono descritte le principali tecnologie e pratiche di mitigazione attualmente disponibili sul mercato, o che verranno commercializzate prima del 2030. I settori sono i seguenti: produzione di energia, trasporti, costruzioni, industria, agricoltura, selvicoltura/foreste e rifiuti.
- **Tiered Methodology:** introdotta con la revisione del 2019, l'IPCC propone tre livelli di complessità per il calcolo delle emissioni, denominati "tiers". La **Figura 6** mostra uno schema della Tiered Methodology, dove il Tier 1 rappresenta l'approccio "basico", che utilizza fattori di emissione standardizzati forniti dall'IPCC; il Tier 2 è l'approccio "intermedio", richiede l'uso di fattori di emissione specifici per paese, e considera un ampio range di variabili come per esempio le condizioni climatiche locali e le proprietà

del suolo; il Tier 3 è quello “avanzato”, che utilizza modelli dettagliati o dati raccolti direttamente dalle fonti, ma ha anche un minore livello di incertezza.

Figura 6: Tiered Methodological complexity.



Fonte: Booyesen et al. (2018)

L'utilizzo di strumenti per il calcolo e la raccolta dati, come l'*IPCC Inventory Software* (applicativo digitale che guida i paesi attraverso il processo di compilazione degli inventari di gas serra) e l'*Emission Factor Database (EFDB)*, ovvero un database interattivo che fornisce una raccolta di fattori di emissione utilizzati nei calcoli delle emissioni, dove gli utenti possono cercare e selezionare i fattori più appropriati per il loro specifico contesto.

1.4.2 Altri strumenti metodologici

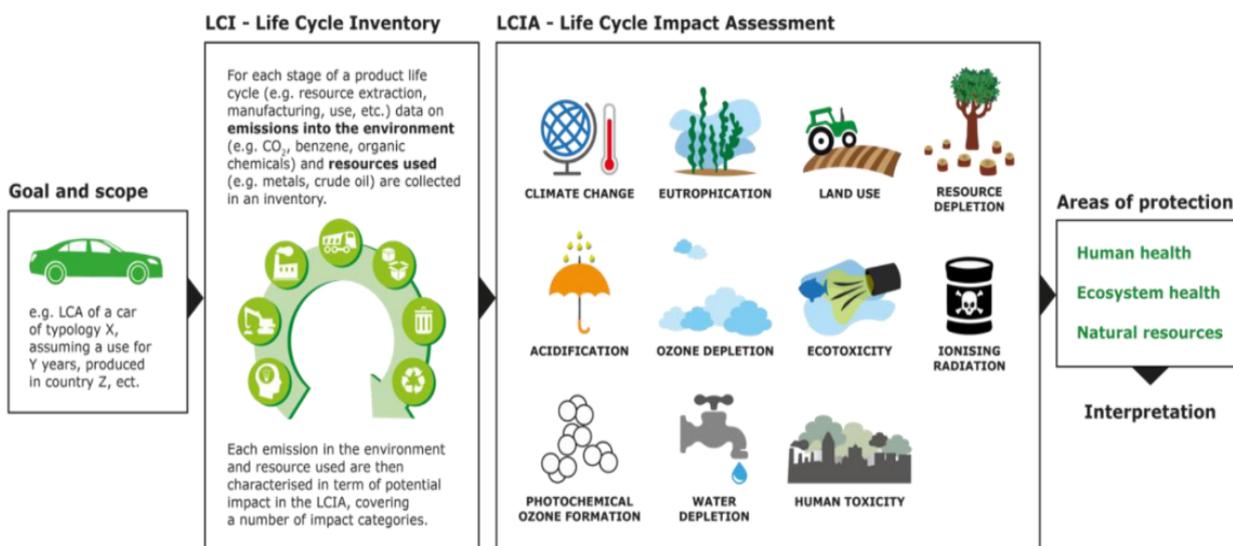
L'impronta di carbonio può essere calcolata utilizzando una varietà di approcci. Uno dei metodi più comuni è il **Life Cycle Assessment (LCA)**. Il *Life Cycle Assessment*, o Valutazione del Ciclo di Vita, è definito dall'**ISO 14040**⁴ come la compilazione e la valutazione degli input, degli output e dei potenziali impatti ambientali di un prodotto durante tutto il suo ciclo di vita. Tale ciclo di vita comprende tutte le fasi, dalla raccolta delle materie prime, passando per la produzione, l'uso e la gestione dei rifiuti, fino al riciclaggio o smaltimento finale. Si basa su quattro fasi principali:

⁴ La certificazione ISO è un attestato che dimostra l'attenzione dell'azienda alla conformità ai rigorosi standard internazionali stabiliti e l'impegno verso aspetti quali qualità ed efficienza. La certificazione ISO 14040 in particolare definisce i requisiti della LCA.

1. **Obiettivi e ambiti:** in questa fase vengono definiti gli obiettivi dello studio, le principali applicazioni, i motivi e le ragioni per lo svolgimento dello studio e i destinatari previsti. Vengono quindi prese le scelte metodologiche di avvio quali la definizione dell'unità funzionale, l'identificazione dei confini del sistema, le procedure di allocazione e i modelli di *Life Cycle Impact Assessment* (ovvero modelli che hanno lo scopo di valutare l'entità e la significatività dei potenziali impatti ambientali di un prodotto/servizio) da utilizzare, così come l'identificazione dei requisiti di qualità dei dati.
2. **Life Cycle Inventory (LCI):** questa fase prevede la raccolta dati e le procedure per la quantificazione degli inputs e degli outputs del sistema studiato. Input e output riguardano generalmente l'energia, le materie prime e altri input fisici, i prodotti e i rifiuti, le emissioni nell'aria/acqua/suolo e altri aspetti ambientali del caso. I dati raccolti riguardano i processi di "primo piano" (ad esempio, per la produzione di un bene di consumo, la fabbricazione e l'imballaggio di un prodotto) e processi di background (ad esempio, per la produzione di un bene di consumo, l'utilizzo dell'elettricità e dei materiali acquistati). I dati vengono quindi validati e misurati in relazione alle unità di processo e alle unità funzionali.
3. **Life Cycle Impact Assessment (LCIA):** in questa fase i risultati del LCI sono associati ai cosiddetti indicatori di impatto ambientale. Ciò avviene in primo luogo attraverso la classificazione delle emissioni in categorie di impatto, e successivamente in unità comuni, in modo da consentire il confronto e la comparazione con altri sistemi analizzati.
4. **Life Cycle Interpretation phase:** in quest'ultima fase i risultati provenienti dal LCI e dal LCIA vengono interpretati secondo gli obiettivi e la portata prefissati. Vengono anche prese in considerazione l'accuratezza e l'incertezza di tali risultati.

La **Figura 7** mostra un esempio di analisi LCA, che ha come obiettivo la valutazione del ciclo di vita di una macchina "X". Nella seconda fase vengono raccolti i dati sulle emissioni (di CO₂, chimiche, di carburante utilizzato, ...) e caricati all'interno di un inventario. Successivamente, all'interno dell'LCIA, le emissioni e le risorse utilizzate lungo il *Life Cycle Inventory* (di fase 2) vengono classificate in base al potenziale impatto in diverse categorie. Infine, vengono interpretati i risultati in base alle aree di ecosostenibilità ambientale, utilizzo delle risorse naturali e salute dell'uomo.

Figura 7: Le quattro fasi dell'approccio LCA



Fonte: Sala et al. (2016)

Un altro metodo di calcolo dell'impronta di carbonio che è importante citare è quello definito dall'**ISO 14064**: le emissioni sono calcolate moltiplicando i dati relativi al consumo delle risorse (Activity data) per i loro fattori di emissione (Emission factor), che dipendono dal tipo di combustibile usato, dal tipo di energia e dall'attività che si intende svolgere. La formula generale è la seguente (Greenhouse Gas Protocol, 2023):

$$\text{Carbon footprint} = \text{Activity Data} \times \text{Emission Factor}$$

dove l'Activity Data è calcolato sui costi delle utenze in Megawatt/ora (MWh), mentre i fattori di emissione possono essere basati sul territorio (location-based) o sul mercato (market-based) e sono misurati in milioni di tonnellate di CO₂ su MWh.

I metodi precedentemente trattati, nonostante la loro complessità, forniscono nei loro risultati un quadro dettagliato e accurato dell'impatto delle attività umane sulle emissioni globali di gas serra. Grazie ad essi è possibile sviluppare strategie di mitigazione più efficaci e mirate per ogni soggetto, rispondendo in modo specifico alle fonti e ai settori che contribuiscono maggiormente alle emissioni. L'uso di tali approcci permette inoltre di monitorare con rigore scientifico i progressi ottenuti verso il raggiungimento degli obiettivi internazionali di riduzione delle emissioni, garantendo così un miglior controllo delle politiche ambientali.

Capitolo 2

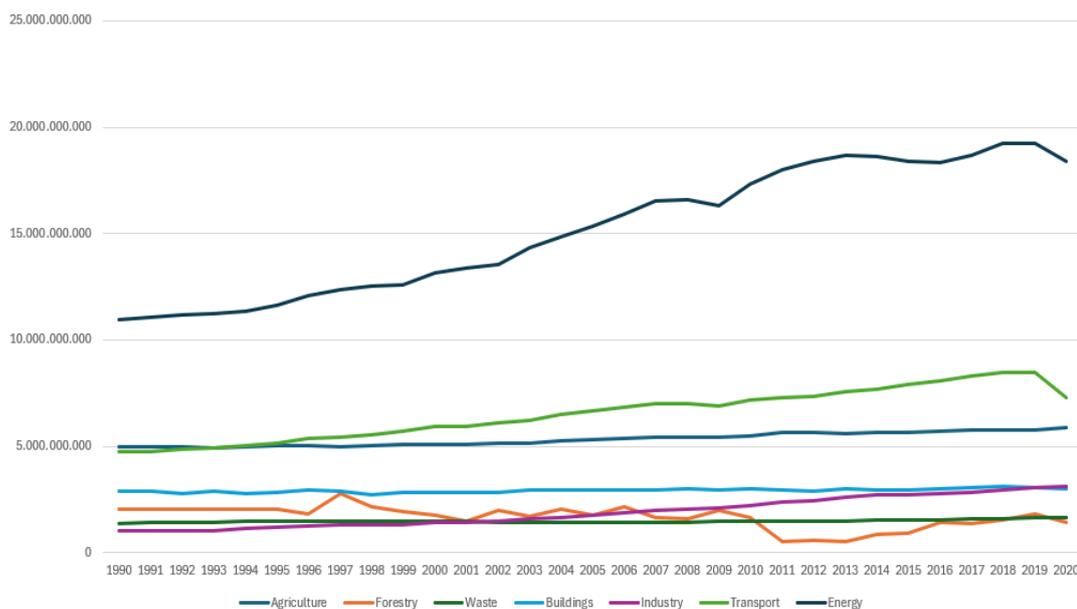
Analisi empirica comparativa tra paesi

In questo capitolo descriveremo l'evoluzione delle emissioni carboniche nelle sei principali economie globali: Unione Europea, Stati Uniti, Cina, India, e Russia, con l'aggiunta dell'Italia. L'obiettivo è di esaminare, oltre alle emissioni complessive di ciascun paese, le dinamiche interne che influenzano tali emissioni. Verranno analizzati i dati relativi ai diversi settori presi in considerazione dalle linee guida dell'IPCC di ogni economia (produzione di energia, trasporti, costruzioni, industria, agricoltura, silvicoltura/foreste e rifiuti), e verranno confrontati i valori relativi alle emissioni Production-based e Consumption-based.

La scelta dei paesi si basa, come detto in precedenza, sulla loro rilevanza economica e sul loro contributo significativo alle emissioni globali di gas serra, in modo da poter offrire una panoramica completa e poter comprendere al meglio le variabili che influenzano le emissioni di CO₂ su scala globale. L'analisi è supportata da dati e grafici presi dal sito "Our World in Data", un archivio digitale che ha come mission quella di rendere accessibili i dati inerenti ai grandi problemi che affliggono il mondo e le economie di oggi.

Come riferimento generale, la **Figura 8** mostra le emissioni mondiali in tonnellate di CO₂, dal 1990 al 2020, divisi per settori. È importante notare che il settore dell'energia comprende sia l'energia derivante dall'utilizzo di riscaldamento e corrente elettrica domestica, sia dalla produzione di energia. Dal grafico si nota come tutti i settori ad eccezione della selvicoltura seguano un andamento relativamente simile nel corso degli anni. Il settore della selvicoltura è quello più ecosostenibile, con una media di circa 1.661 miliardi di tonnellate di CO₂ emesse all'anno (alcuni paesi presenteranno valori di emissione negativi per questo campo), mentre il settore della produzione e utilizzo di energia è, seppur in lieve calo nell'ultimo anno a causa della pandemia globale, il più inquinante: quest'ultimo, infatti, ha raggiunto un aumento di circa il 68,5% rispetto all'anno di partenza. Anche il settore dei trasporti ha aumentato le proprie emissioni, passando dalle 4.726 alle 7.288 miliardi di tonnellate di CO₂ in 30 anni. I settori delle costruzioni, dei rifiuti e dell'agricoltura hanno mantenuto andamenti pressoché costanti nel tempo, mentre quello delle industrie ha registrato una modesta crescita, con una variazione di circa +2.124 miliardi di tonnellate di CO₂ emesse in più nell'atmosfera dal 1990.

Figura 8: emissioni di CO2 a livello globale, per settore



Fonte: Nostra elaborazione dati Our World in Data

2.1 UE⁵, Italia, Stati Uniti e Russia

2.1.1 Unione Europea

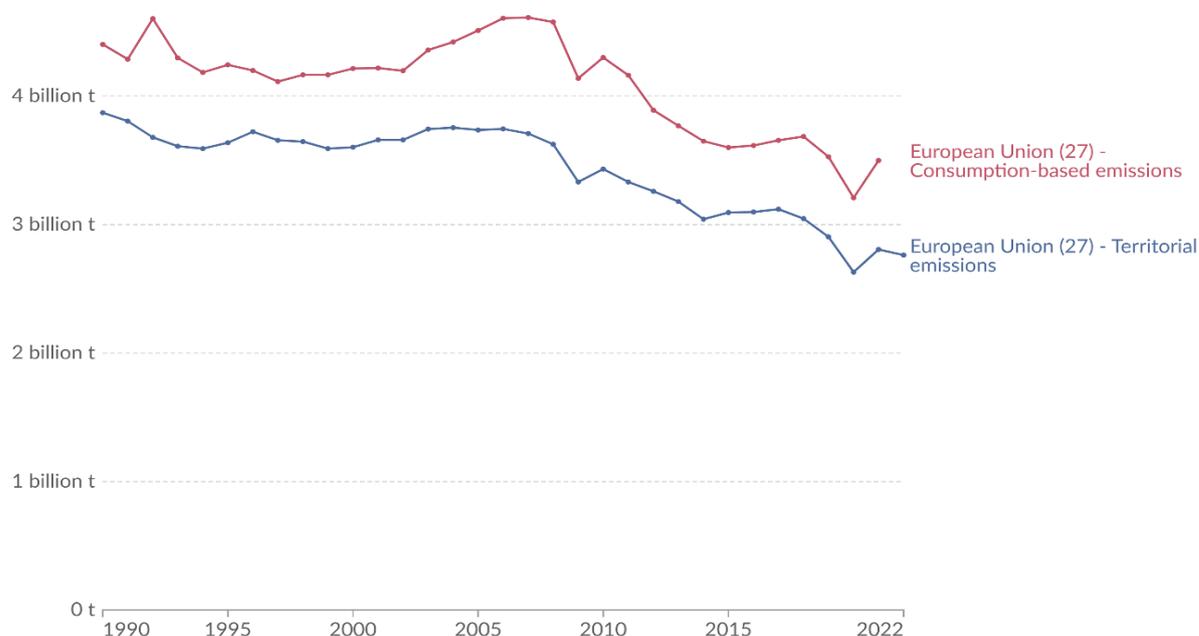
L'Unione Europea è riconosciuta a livello globale come leader nella lotta contro i cambiamenti climatici: i paesi europei sono stati i più determinati a promuovere decisioni avanzate a livello internazionale, e sono tra i primi ad attuare una significativa riduzione delle loro emissioni di gas serra. Tra il 1990 e il 2018, l'Unione Europea è riuscita a ridurre le proprie emissioni di gas serra del 23%, superando così l'obiettivo del 20% fissato per il 2020. Un traguardo raggiunto da tutti gli stati membri, tranne Germania, Irlanda e Malta, che hanno dovuto “acquistare” CO2 da altri paesi. Nel 2021 la Commissione Europea ha stimato tuttavia, che il conseguimento dell'obiettivo di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra del 55% entro il 2030 richiederebbe investimenti aggiuntivi nel solo sistema energetico per circa 392 miliardi di euro all'anno rispetto alla media del periodo 2011-2020. Gli esperti hanno stimato che, per azzerare le emissioni nette entro il 2050 nell'UE, sarebbe necessario un investimento totale (attuale e aggiuntivo) di circa 1 000 miliardi di euro all'anno² nel periodo 2021-2050.

Il grafico di **Figura 9** illustra le differenze tra i livelli di emissioni generate sul territorio, e quelli basati sul consumo di prodotti importati da altre economie, dei paesi appartenenti all'Unione Europea, in miliardi di tonnellate di CO2. L'arco temporale dei dati raccolti va dal

⁵ I dati proposti nel presente elaborato riguardanti l'UE fanno riferimento all'UE 28.

1990 al 2022, e sarà lo stesso per grafici che verranno trattati successivamente. Negli ultimi 30 anni, in media sono state prodotte all'interno dell'UE 3,24 miliardi di tonnellate, con un picco di 3,75 miliardi di tonnellate che viene raggiunto nel 2004. L'Unione Europea si conferma ormai da sempre un insieme di paesi prevalentemente consumption-based: il grafico dimostra che, sebbene le emissioni territoriali dell'UE siano diminuite nel tempo, le emissioni basate sul consumo sono rimaste relativamente alte (la linea rossa rimane superiore a quella blu). Questo suggerisce che, nonostante l'UE abbia ridotto le emissioni domestiche, una parte consistente delle emissioni associate ai beni e servizi consumati al suo interno viene esportata ad altri paesi attraverso l'importazione di beni. A livello territoriale, dalle 3.87 miliardi tonnellate di CO2 prodotte nel 1990, si è passati ad un totale di 2.76 miliardi di tonnellate nel 2022, con un paio di picchi recessivi in corrispondenza della crisi del 2009 e della pandemia globale del 2020. Ciò corrisponde ad una decrescita delle emissioni prodotte (PBE) di circa il -28,7% rispetto al 1990, ovvero 1,11 miliardi di tonnellate di CO2 in meno. Attualmente, il rapporto tra Production-based emissions e Consumption-Based emissions dell'UE corrisponde all'80%.

Figura 9: Emissioni di CO2 Production & Consumption based dell'Unione Europea

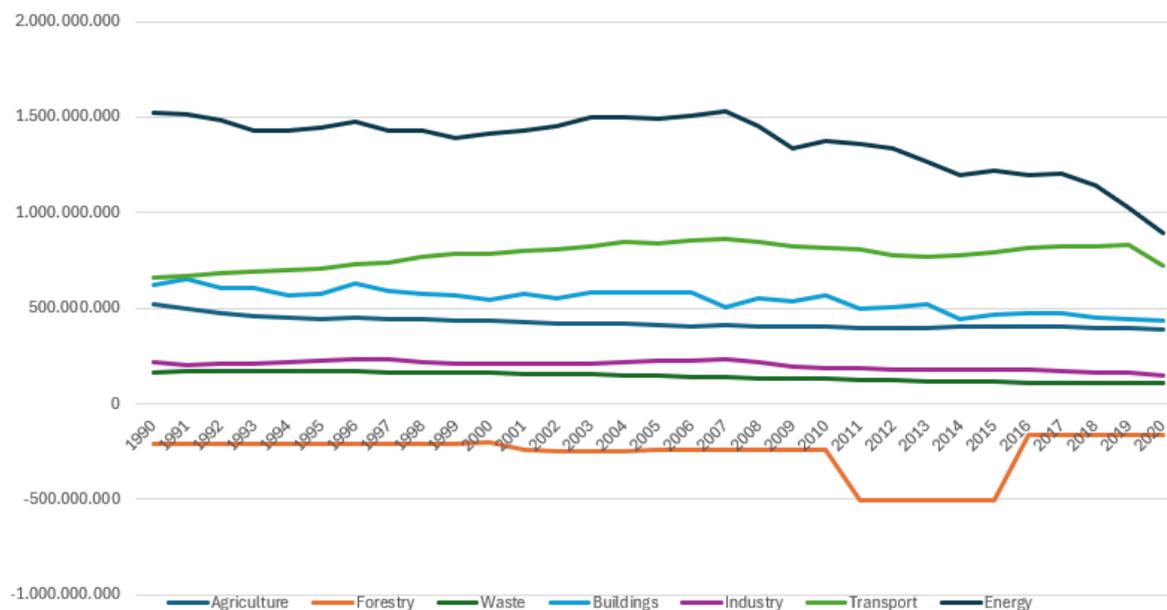


Fonte: Our World in Data

Per quanto riguarda i settori, il grafico in **Figura 10** evidenzia il forte calo del settore della produzione energetica, a dimostrazione del fatto che l'UE presenta al suo interno un gran numero di paesi "importatori". Si tratta di una variazione del -41,4% e una decrescita di circa 632 milioni di tonnellate di CO2 rispetto al 1990. La selvicoltura presenta valori costantemente sotto lo 0: è importante evidenziare che per emissioni negative si intende una rimozione dall'atmosfera di una quantità di CO2 superiore a quella che viene emessa, oltre che ad uno

stoccaggio permanente. Gli altri settori seguono un andamento prevalentemente costante nel tempo, in linea con le medie globali, ad eccezione del settore delle costruzioni che presenta una variazione delle emissioni di “sole” -182 milioni di tonnellate di CO2.

Figura 10: emissioni di CO2 per settore: Unione Europea



Fonte: Nostra elaborazione dati Our World in Data

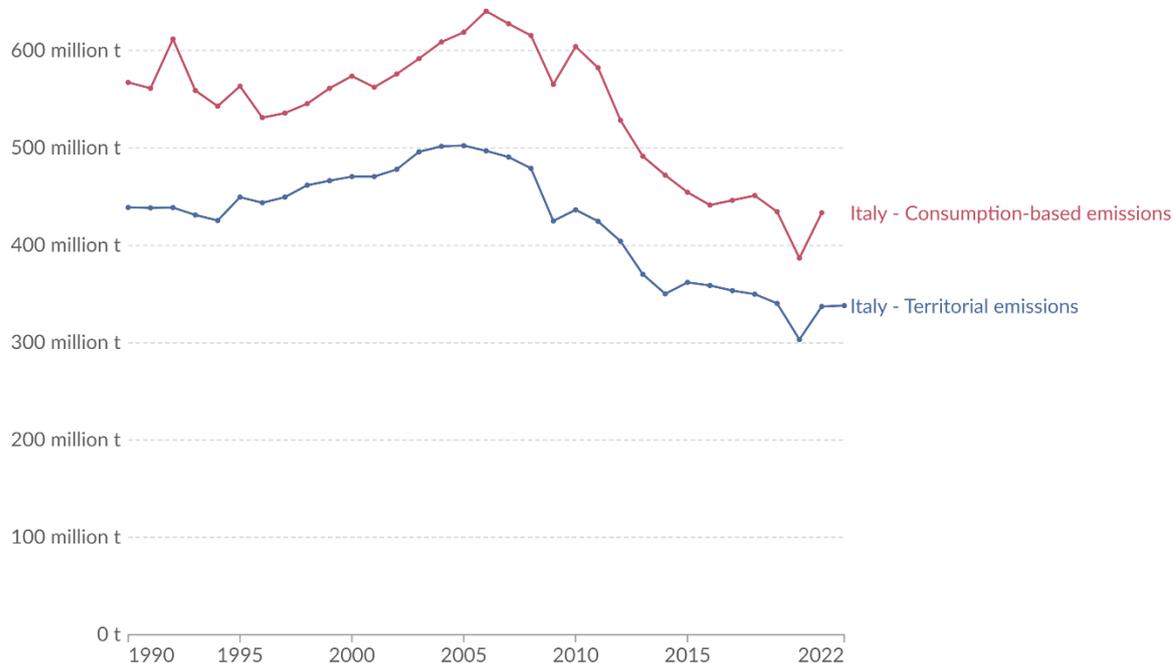
2.1.2 Italia

L'Italia ha compiuto progressi nella riduzione delle emissioni di CO2 negli ultimi decenni. Dal 1990 al 2020 ha ridotto le proprie emissioni di gas serra di circa il 20% (ESG360, 2022), allineandosi così agli obiettivi stabiliti dall'Unione Europea e agli accordi internazionali sul clima: le politiche di efficientamento energetico, l'espansione dell'utilizzo di fonti rinnovabili e, in parte, la riduzione del peso della produzione industriale nella formazione del PIL, sono gli elementi che hanno contribuito all'ottenimento di tale risultato. Tuttavia, la riduzione delle emissioni non è uniforme tra i vari settori e non è stata altrettanto significativa in confronto ad altri paesi dell'Unione Europea. Il progressivo adeguamento degli ultimi decenni alle politiche concernenti le emissioni di CO2 ha avuto un impatto significativo sull'economia italiana: nel campo del settore energetico, molte aziende hanno adottato sistemi di produzione ad energia rinnovabile, investendo soprattutto sul solare e sull'eolico. L'Italia, secondo i dati di Enel⁶, è attualmente il terzo produttore di energie rinnovabili in Europa. L'incentivazione delle rinnovabili ha creato nuove opportunità economiche, con significativi investimenti in

⁶ Fonte: <https://www.enelgreenpower.com/it/learning-hub/energie-rinnovabili>

tecnologie green, ricerca e sviluppo, e la creazione di numerosi posti di lavoro, portando le imprese a sostenere ingenti costi di transizione iniziali, in favore di ampi benefici futuri nel lungo termine.

Figura 11: Emissioni di CO2 Production & Consumption based: Italia



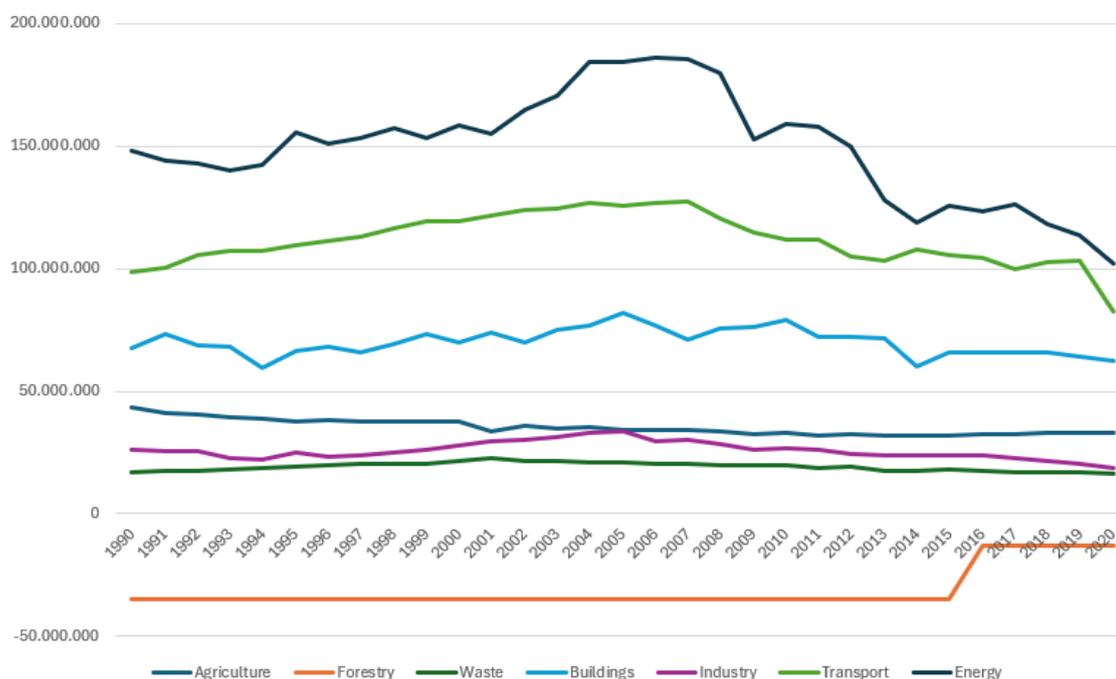
Fonte: Our World in Data

Nel grafico di **Figura 11** vediamo come l'Italia, così come la maggior parte dei paesi dell'UE, risulta essere un'economia importatrice di CO2: la linea che rappresenta le Consumption-based emissions, infatti, rimane costantemente sopra quella delle emissioni territoriali. L'andamento delle due spezzate presenta picchi più accentuati rispetto a quello dell'Unione Europea visto precedentemente, con un massimo storico di emissioni Production-based raggiunto nel 2005 (circa 502.35 milioni di tonnellate di CO2 prodotte). In base ai dati ufficiali della Commissione Europea, l'impronta di carbonio pro capite degli italiani è pari a circa 5,41 tonnellate di CO2 per anno, mentre le attuali emissioni territoriali si aggirano attorno alle 338.10 milioni di tonnellate, contro le 438.90 milioni di 30 anni fa (registrando una diminuzione del -23%).

Fatta eccezione per quello energetico, il settore dei trasporti (**Figura 12**) continua a contribuire in misura maggiore all'inquinamento atmosferico, con una media di 111.63 milioni di tonnellate di CO2 emesse negli ultimi tre decenni, seppur in calo negli ultimi anni (dalle 127.57 milioni di tonnellate nel 2007 alle 82.75 del 2020). Seguono quindi il settore delle costruzioni, quello agricolo e quello delle industrie, quest'ultimo in forte calo proprio

per l'adozione di fonti ad energia rinnovabile da parte delle imprese negli ultimi decenni. Da evidenziare infine il settore energetico, che dal 2007 ha subito una variazione del -45,12%.

Figura 12: emissioni di CO2 per settore: Italia



Fonte: Nostra elaborazione dati Our World in Data

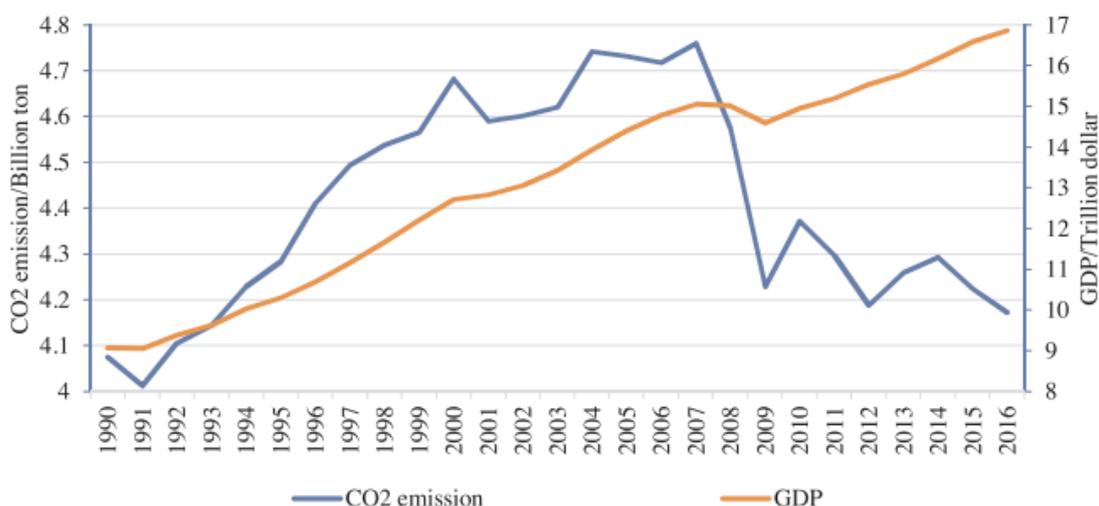
Per concludere, l'adeguamento dell'Italia alle politiche riguardanti le emissioni di CO2 ha avuto un profondo impatto sull'economia del paese. L'andamento delle emissioni Production-based e Consumption-based si conferma decrescente, con le prime che si mantengono inferiori alle seconde, seguendo il trend generale dell'Unione Europea verso una decarbonizzazione dell'economia.

2.1.3 Stati Uniti

La situazione degli Stati Uniti in relazione alle emissioni di CO2 è complessa e rivela dinamiche importanti sia a livello nazionale che internazionale. Secondo i dati di *Visual Capitalist* (Lu, 2023), gli Stati Uniti sono storicamente i maggiori emettitori di CO2, con oltre 422 miliardi di tonnellate metriche liberate nell'atmosfera dalla rivoluzione industriale. Nonostante i miglioramenti degli ultimi anni, si posizionano al secondo posto tra le attuali economie più inquinanti e sono responsabili della produzione del 13,5% delle emissioni mondiali. Dati sicuramente non positivi per una delle economie più potenti e avanzate del mondo, ma che se analizzati in fondo, mostrano passi verso la direzione giusta: gli USA infatti sono riusciti a mantenere crescente il loro livello di GDP (rateo annuo di crescita, pari al 2.42%), e allo stesso

tempo far calare il trend delle emissioni di CO2, con un importante declino dall'anno 2007, nonostante le fluttuazioni (**Figura 13**).

Figura 13: Cambiamenti nel tempo di emissioni di CO2 e GDP negli USA (1990-2016)



Fonte: Q. Wang, et al., 2019

Come precedentemente accennato, anche gli Stati Uniti mirano alla neutralità delle emissioni di CO2 entro il 2050, che puntano ad ottenere in particolar modo attraverso finanziamenti dedicati allo sviluppo di hub regionali per la cattura e l'immagazzinamento di CO2.

Figura 14: Emissioni di CO2 Production & Consumption based: Stati Uniti



Fonte: Our World in Data

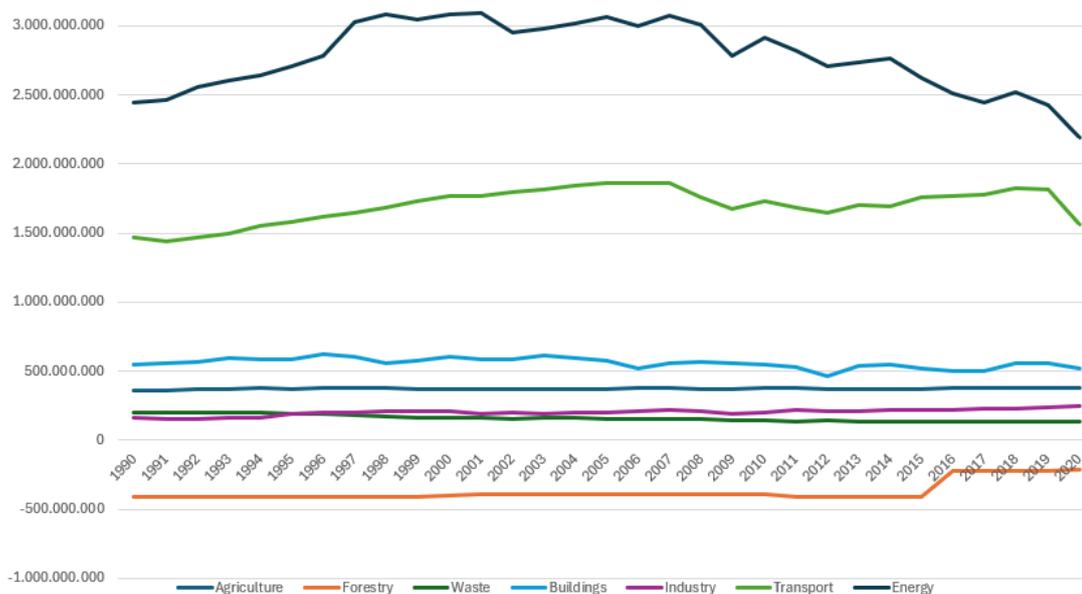
Gli Stati Uniti sono a tutti gli effetti una nazione importatrice di CO2, ma a differenza dell'Unione Europea, presentano livelli altrettanto elevati di emissioni Production-based, tanto

che fino al 1997 questi ultimi erano addirittura superiori alle importazioni dall'estero (**Figura 14**).

Negli ultimi 15 anni, la differenza media tra PBE e CBE è stata esigua, pari a circa 0,37 miliardi di tonnellate di CO2 annue (per un totale di 68.32 miliardi di tonnellate importate contro le 63.80 prodotte all'interno del paese). Il picco più alto di emissioni di CO2 è stato registrato tra il 2005 e il 2006 (6.72 miliardi di tonnellate), per poi decrescere lentamente negli anni successivi, nonostante le fluttuazioni.

Il consumo energetico pro capite negli Stati Uniti è tra i più alti al mondo. Dal 1990, sono state prodotte in media 2.777 miliardi di tonnellate di CO2 all'anno nel settore dell'energia. Questo per via dello stile di vita ad alto contenuto energetico degli abitanti del paese, dove il riscaldamento, il raffreddamento degli edifici e il consumo di elettrodomestici e beni di lusso costituiscono significativi fattori che determinano elevate emissioni consumption-based.

Figura 15: emissioni di CO2 per settore: Stati Uniti



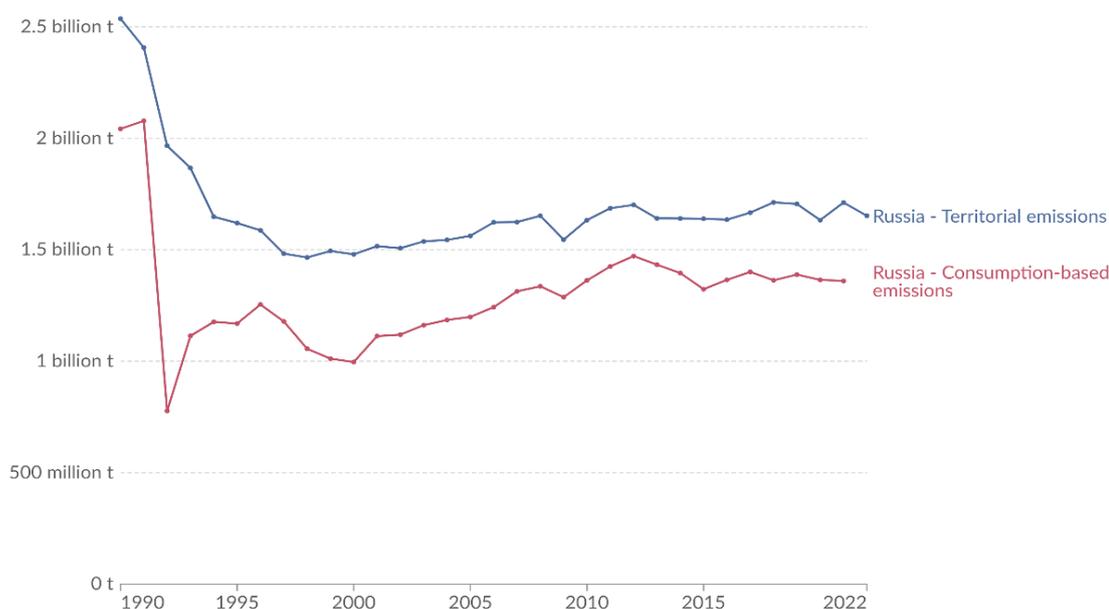
Fonte: Nostra elaborazione dati Our World in Data

Gli altri settori (**Figura 15**), ancorché con valori molto elevati, tendono a mantenere un andamento costante nel tempo, ad eccezione di quello dei trasporti: dal 1990 al 2007 ha sostenuto una crescita del 26,83% per poi fluttuare verso un valore attuale di 1.558 miliardi di tonnellate nell'anno 2020, rispetto alle 1.468 di 30 anni fa: segno della difficoltà nell'ottenere progressi "eco-friendly" in un settore fondamentale ed in continua evoluzione tecnologica come quello dei trasporti.

2.1.4 Russia

La riduzione del peso relativo del comparto manifatturiero, ed in particolare dell'industria pesante, che ha caratterizzato l'economia russa dal crollo dell'Unione Sovietica ha consentito di ottenere importanti risultati anticipati sulle diminuzioni di CO₂ emesse nell'atmosfera, ottenendo una riduzione di oltre il 30% già entro la fine del precedente decennio. La Russia è ad oggi il terzo produttore al mondo di petrolio e il secondo maggiore produttore di gas, ma è anche la quarta Nazione per emissioni di CO₂ dietro a Cina, Stati Uniti e India. Il settore energetico è il principale protagonista di questo risultato, che assieme all'utilizzo estensivo di combustibili fossili, contribuiscono a renderla responsabile del 5% delle emissioni globali di CO₂: una cifra significativamente superiore alla media mondiale su base pro capite. Sebbene la Russia importi una serie di beni industriali e di consumo, la sua economia rimane relativamente autosufficiente, con gran parte dei prodotti ad alta intensità energetica fabbricati all'interno del paese. Questo significa che la differenza tra Production-based e Consumption-based emissions non è così marcata rispetto ad altre nazioni importatrici di CO₂.

Figura 16: Emissioni di CO₂ Production & Consumption based: Russia



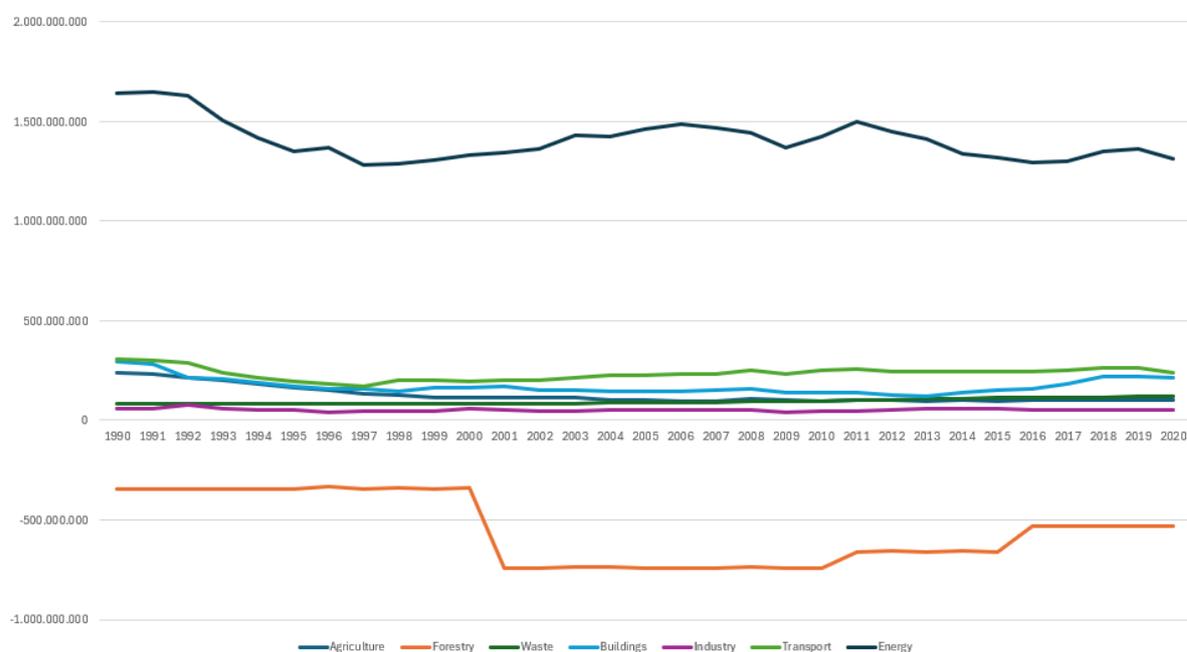
Fonte: Our World in Data

Le emissioni PBE superano le CBE (**Figura 16**), in parte a causa delle basse temperature che richiedono significativi apporti energetici, e in parte a causa del modello economico che, come detto, incentiva l'uso di energia da fonti fossili. Dal grafico, entrambe le linee seguono lo stesso andamento caratterizzato da diverse fluttuazioni nel tempo, ma su livelli differenti: questo perché la Russia, non essendo una grande importatrice di beni rispetto ad altre economie avanzate, tende ad avere Consumption-based emissions che riflettono in gran parte le variazioni

delle sue Production-based emissions. Attualmente, le emissioni territoriali sono pari a 1.650 miliardi di tonnellate di CO2, contro le importazioni di emissioni da altri paesi di 1.361 miliardi.

Con una media annua di 1.407 miliardi di tonnellate di CO2 emesse annualmente dal 1990, il settore dell'energia risulta essere il settore che contribuisce maggiormente all'inquinamento dell'atmosfera (**Figura 17**). Dalla caduta dell'Unione Sovietica, il picco di emissioni avviene nel 2011 (1.496 miliardi), rispetto ad un valore attuale di 1.314 (differenza del -13,9%), ma i valori rimangono ancora troppo distanti dagli obiettivi prefissati dal governo russo entro il 2060. Il settore dei trasporti e delle costruzioni tendono a seguire un andamento crescente nell'ultimo decennio, con una media annua rispettivamente di 2.341 e 1.717 miliardi, mentre quelli dei rifiuti, dell'agricoltura e dell'industria rimangono pressoché costanti.

Figura 17: emissioni di CO2 per settore: Russia



Fonte: Nostra elaborazione dati Our World in Data

La Russia è attualmente in collisione non solo con l'occidente, ma anche con le politiche climatiche: come riportato in un recente articolo de "il Bo Live" dell'Università di Padova, il governo non sembra avere intenzione di cambiare strategia sulla sostenibilità del sistema produttivo del suo Paese, strategia che si presenta altamente insufficiente, senza alcun passo in avanti verso il raggiungimento degli obiettivi climatici prefissati.

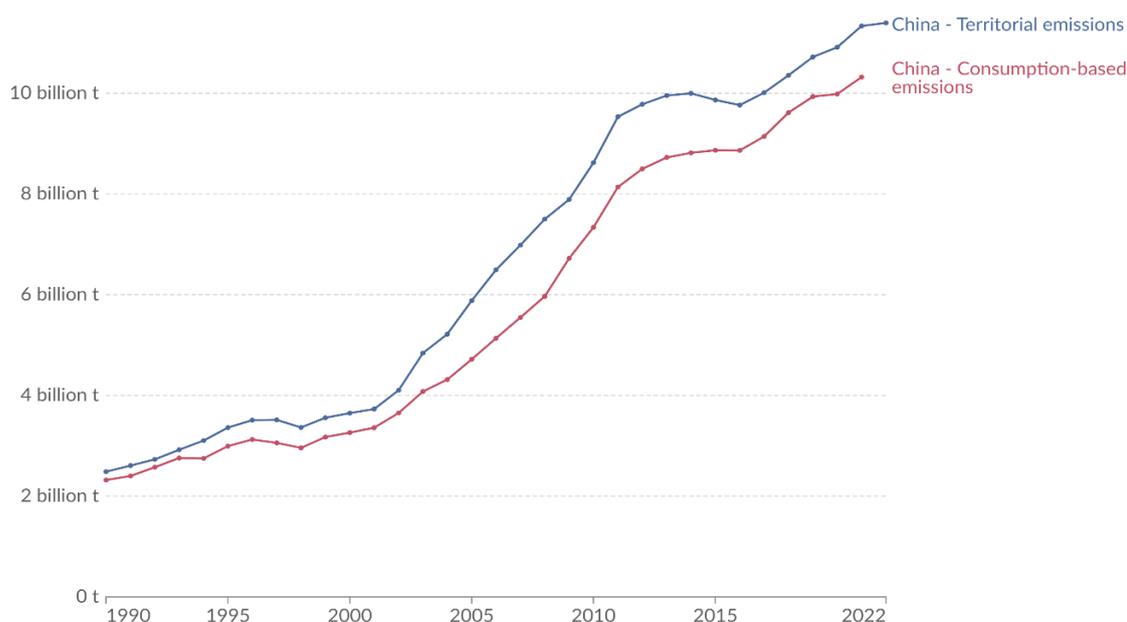
2.2 Cina, India

2.2.1 Cina

La Repubblica Popolare Cinese è attualmente il più grande emettitore di CO₂ al mondo, rappresentando oltre il 28% delle emissioni globali di anidride carbonica. Il suo rapido sviluppo economico, la forte dipendenza dai combustibili fossili e la rapida industrializzazione hanno contribuito a far sì che le emissioni di CO₂ del paese superassero di gran lunga la media mondiale. La sua espansione l'ha portata fuori dalle definizioni di "paese in via di sviluppo", rendendola una delle maggiori potenze economiche globali, e nonostante stia investendo molto nelle energie rinnovabili e nei veicoli elettrici, la transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio rimane lenta e costosa.

Il grafico di **Figura 18** mostra la variazione crescente di emissioni di CO₂ dal 1990 al 2022: Nel corso degli ultimi 30 anni, le emissioni legate alla produzione sono aumentate da 2.480 milioni di tonnellate a oltre 11.341 milioni di tonnellate, registrando un incremento del 357%. Una prima spinta è avvenuta dal 2001 al 2014 quando è passata dalle 3.730 alle 10 miliardi di tonnellate prodotte, mentre solamente dal 2016 al 2022 le emissioni sono cresciute del 17%. Quelle legate al consumo hanno seguito un aumento altrettanto impressionante, registrando una crescita del 330%: la Cina è un Paese prevalentemente esportatore di CO₂, ma come si può osservare, le importazioni dall'estero non giocano un ruolo per nulla indifferente.

Figura 18: Emissioni di CO₂ Production & Consumption based: Cina



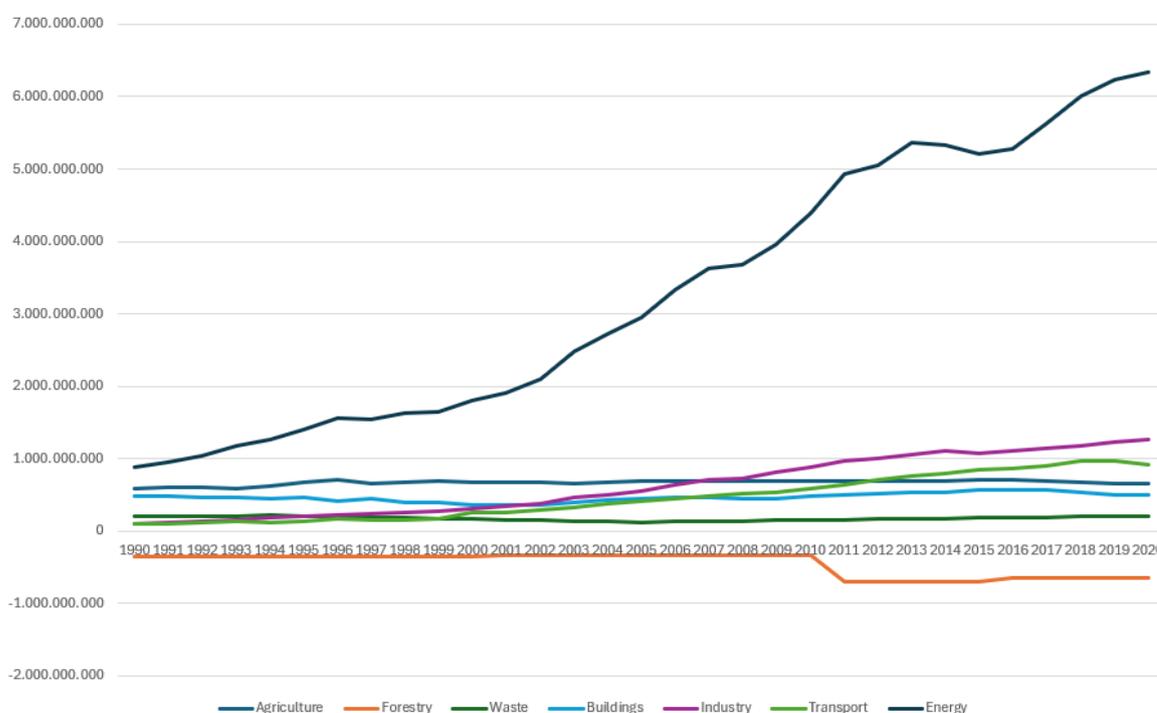
Fonte: Our World in Data

Il rapporto tra emissioni Production-based e Consumption-based, infatti, risulta essere molto basso, con valori medi intorno al 1,14. La differenza maggiore tra le due linee viene registrata

nel 2008 (rapporto pari a 1,26), divario che è andato sempre più a diminuire, segno che la Cina abbia perseguito la crescita economica attraverso l'aumento delle esportazioni.

Il settore energetico risulta ancora una volta essere quello trainante per quanto riguarda le emissioni di CO2 (**Figura 18**): dal 1990, ha subito una crescita del 618%: basti pensare che solo nel 2022 la Cina rappresentava oltre l'80% del totale delle esportazioni di celle solari, più della metà delle batterie agli ioni di litio e oltre il 20% dei veicoli elettrici. Inoltre, è il principale produttore e consumatore di idrogeno a livello globale, con la maggior parte della produzione derivante da fonti fossili. Anche i settori delle industrie e dei trasporti, se pur in misura relativamente minore, hanno subito importanti variazioni. Il primo in particolare vede una crescita di +1.166 miliardi di tonnellate di CO2, mentre il secondo si porta ad un +0.825 miliardi di tonnellate di CO2 rispetto ai valori del 1990.

Figura 19: emissioni di CO2 per settore: Cina



Fonte: Nostra elaborazione dati Our World in Data

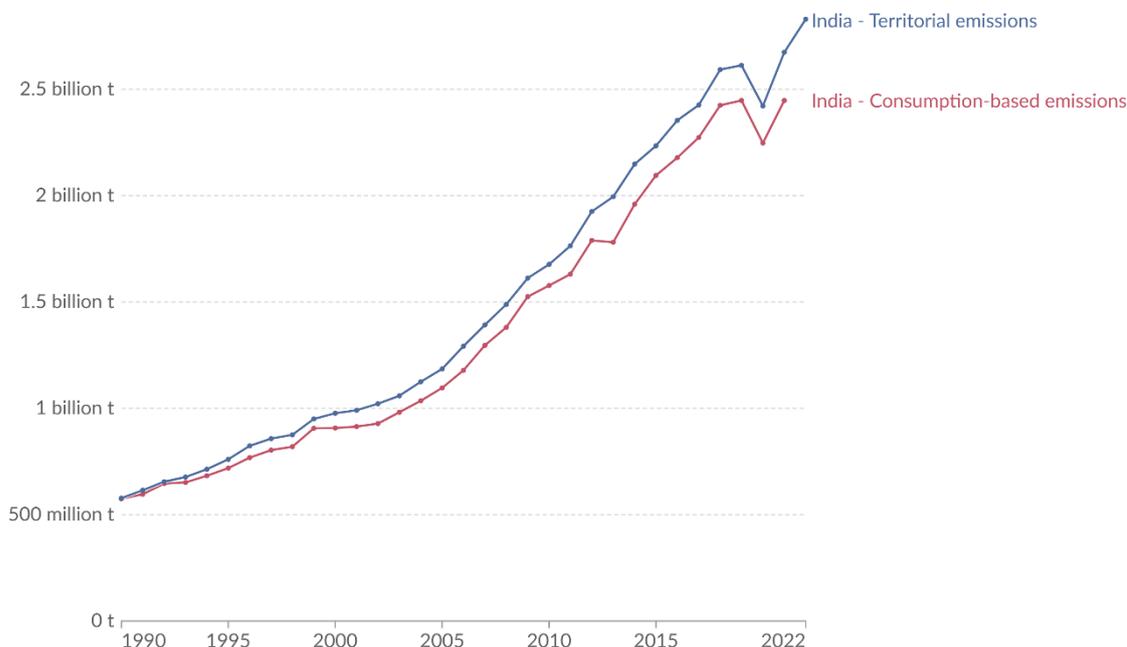
Le production-based emissions della Cina sono costantemente più alte rispetto alle sue consumption-based emissions, ma entrambe continuano a seguire una tendenza crescente, riflettendo la struttura e l'integrazione dell'economia cinese nel commercio globale.

2.2.2 India

L'India, con una popolazione di oltre 1,4 miliardi di persone e una rapida crescita economica, rappresenta la terza economia al mondo per emissioni di CO₂. Nel contesto mondiale, l'India è contemporaneamente uno dei maggiori emettitori ed importatori di CO₂, contribuendo significativamente alle emissioni globali. Tuttavia, Mentre paesi come gli Stati Uniti Cina hanno emissioni pro capite molto elevate, l'India, con una popolazione numerosa e un'economia in crescita, ha emissioni pro capite relativamente basse, ma il suo totale contribuisce in modo sostanziale alle emissioni globali.

Il grafico di **Figura 20** mostra l'andamento delle emissioni di CO₂ basate sul territorio e sul consumo in India dal 1990 al 2022: negli ultimi 30 anni le emissioni production-based hanno mostrato una crescita costante e marcata, passando dalle 578 milioni alle 2.830 miliardi di tonnellate di CO₂ annue: una crescita del 389% in soli tre decenni. L'unico picco negativo è avvenuto durante la pandemia del 2020, per poi tornare a valori che superano di gran lunga quelli degli anni passati. Le emissioni basate sul consumo seguono una tendenza simile, ma restano generalmente inferiori rispetto alle emissioni territoriali, mantenendo un rapporto medio molto basso, di circa 1,08.

Figura 20: Emissioni di CO₂ Production & Consumption based: India

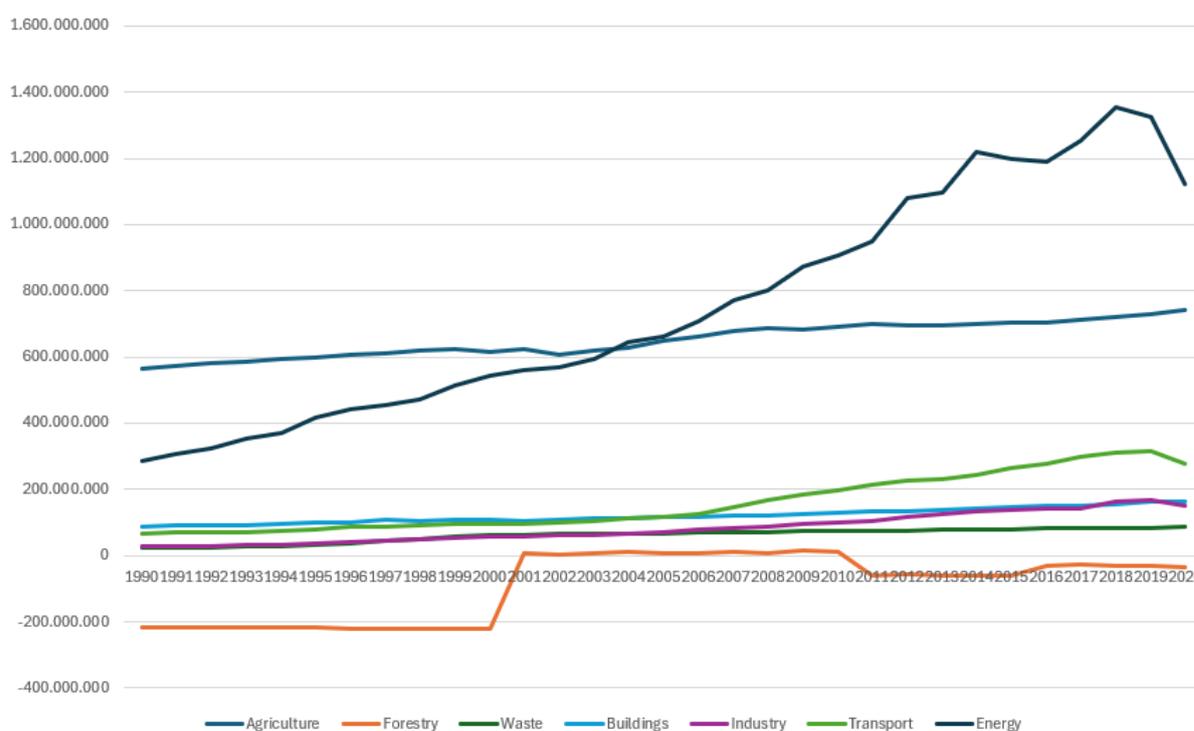


Fonte: Our World in Data

Per quanto riguarda i settori dell'economia indiana, Il grafico in **Figura 21** evidenzia chiaramente come l'India, con la sua crescita economica, abbia visto un significativo aumento delle emissioni di CO₂ soprattutto nel settore energetico, che domina le emissioni totali. In

media all'anno, dal 1990, le emissioni derivanti dalla produzione e consumo di energia corrispondono a 753 milioni di tonnellate di CO₂. Il crescente fabbisogno energetico, industriale e dei trasporti riflette la rapida urbanizzazione e industrializzazione del Paese, mentre il settore agricolo ha visto un incremento moderato, passando da circa 200 milioni di tonnellate a poco più di 300 milioni di tonnellate, nonostante negli ultimi anni il contributo del settore primario al Pil dell'India sia andato sempre più riducendosi. Le foreste continuano a svolgere un ruolo cruciale come pozzi di assorbimento del carbonio, sebbene la loro efficacia sembri diminuire nel tempo, passando da -217 a -33 milioni di tonnellate di CO₂. Il settore terziario si dimostra il settore dominante dell'economia indiana, con una media dei consumi negli ultimi 30 anni seconda solo a quello energetico.

Figura 21: emissioni di CO₂ per settore: India



Fonte: Nostra elaborazione dati Our World in Data

Capitolo 3

Carbon leakage e strategie di mitigazione delle emissioni di CO₂

Abbiamo visto come negli ultimi decenni le economie globali di ogni settore si ritrovino a dover riadattare il proprio sistema produttivo in funzione delle decisioni prese dalle istituzioni mondiali, al fine di mitigare le proprie emissioni production-based senza abbassare i propri livelli di output. L'impronta di carbonio è diventata una metrica centrale nella valutazione dell'impatto ambientale delle attività economiche, e numerose politiche climatiche e obiettivi di neutralità carbonica fissati da diverse nazioni ne richiedono una significativa riduzione. In questo capitolo verranno analizzate alcune importanti policy climatiche adottate dall'Unione Europea, e il crescente fenomeno del *carbon leakage* che ne ostacola l'efficacia.

3.1 Carbon Leakage

Il "Carbon Leakage" (letteralmente, dispersione del carbonio) è un fenomeno che consiste nel trasferimento delle emissioni intensive di CO₂ da una regione che ha legiferato per ridurle, ad una con politiche climatiche e condizioni di produzione meno rigide, determinando, in alcune circostanze, un aumento complessivo delle emissioni globali, anziché ad una riduzione. In un esempio concreto, se l'Unione Europea decidesse di tassare il carbonio per le industrie ad alta intensità di CO₂, come le acciaierie, la produzione dell'acciaio risulterà più costosa. Di conseguenza, un produttore europeo può decidere di chiudere la sua fabbrica e trasferire la produzione in un paese dove questa tassazione non è presente, risultando così in un offshoring delle emissioni, senza ridurre il livello globale di queste. Si presenta quindi come un ostacolo verso gran parte delle policy di mitigazione delle emissioni, spostando il rischio percepito verso altre giurisdizioni con politiche climatiche più deboli. Il carbon leakage può essere misurato attraverso un apposito indicatore, che calcola la percentuale delle emissioni ridotte in uno Stato, compensata da un incremento nel resto del mondo. Nel nostro esempio, se con la tassazione introdotta l'UE abbattesse le proprie emissioni di 100 milioni di tonnellate di CO₂, ma queste aumentassero globalmente di 30 milioni di tonnellate, il tasso di carbon leakage sarebbe pari al 30% (30Mt/100Mt). Per Michael Jakob (2021), esistono tre principali canali per i quali le policy climatiche in una parte del mondo potrebbero portare ad un aumento di emissioni altrove:

- Mercato energetico: le misure climatiche in una regione del mondo riducono la domanda dei combustibili fossili, riducendone il prezzo sul mercato mondiale. Di conseguenza, le altre parti del mondo aumenteranno il consumo di combustibili fossili, controbilanciando parte delle riduzioni di CO₂ ottenute: questo meccanismo è detto “canale del mercato energetico”.
- Competizione: Dati i costi delle policy sul clima introdotte da una regione, le industrie seguiranno una ricollocazione della produzione in regioni dove queste policy sono assenti, assieme alle corrispondenti emissioni di CO₂. Le policy introdotte potrebbero quindi recare danno alla competitività delle industrie nazionali ad alta intensità di energia, senza ottenere effettivi risultati di riduzione delle emissioni a livello globale.
- Free Riding: la mitigazione del cambiamento climatico rappresenta un *global public good*. Di conseguenza, il beneficio privato del contribuire alla mitigazione è minore rispetto ai benefici collettivi ottenibili. Ecco che per ciascun paese, la migliore risposta alle riduzioni delle emissioni apportate da altri paesi è consentire a sé stesso di aumentare le proprie emissioni (canale del “free riding”).

La regolamentazione delle emissioni basate sulla produzione (PBE) in un mondo globalizzato comporta inevitabilmente rischi della rilocalizzazione delle emissioni di carbonio determinata dalle politiche climatiche. Finora questo rischio, come vedremo di seguito, è stato ampiamente aggirato esentando i settori carbon emissions-intensive da ogni forte incentivo (come il carbon pricing o la definizione di uno standard di produzione), ma tali esenzioni sono fortemente incompatibili con l’ambizione di stabilizzare le temperature globali.

3.2 Il sistema di scambio di quote di emissione dell’UE (ETS)

Il Sistema di scambio di quote di emissione dell’Unione Europea (EU Emissions Trading System, o EU ETS) è uno dei principali strumenti politici dell’UE per contrastare il cambiamento climatico e ridurre in modo efficiente le emissioni di gas a effetto serra. Secondo la direttiva 2003/87/CE emanata dalla Commissione Europea, dal primo gennaio 2005 i grandi impianti emettitori dell’Unione Europea non possono funzionare senza un’autorizzazione alle emissioni di gas serra. Inizia dunque il primo sistema di scambio di quote di emissioni, per il quale ogni impianto autorizzato è obbligato a compensare annualmente le proprie emissioni con quote che possono essere comprate e vendute dai singoli operatori interessati. Le quote, o European Union Allowances (EUA, che equivalgono a una tonnellata di CO₂eq), possono essere acquistate nell’ambito di aste pubbliche europee, ricevute a titolo gratuito o essere

approvvigionate sul mercato. Il sistema funziona secondo il principio "cap-and-trade": viene stabilito un tetto massimo (cap) alla quantità totale di emissioni di gas serra che possono essere emesse dagli impianti e dai settori regolamentati, che viene ridotto nel tempo, con l'obiettivo di garantire una diminuzione complessiva e progressiva delle emissioni. Ogni impianto riceve o acquista un certo numero di quote di emissione, che rappresentano il diritto di emettere una tonnellata di CO₂, e quelli che riescono a ridurre le proprie emissioni sotto il livello delle quote possedute possono vendere quelle in eccesso ad altre imprese che invece necessitano di emettere più di quanto le loro quote permettano.

L'efficacia delle ETS è stata oggetto di dibattito poiché, da un lato, ha contribuito a ridurre le emissioni nei settori regolamentati, soprattutto grazie alla progressiva riduzione del tetto massimo di emissioni e all'aumento del prezzo delle quote negli ultimi anni; dall'altro, nei primi anni di implementazione, il sistema ha sofferto di un eccesso di quote disponibili, che ha mantenuto i prezzi delle emissioni troppo bassi per incentivare investimenti significativi nella decarbonizzazione. Dal 2013, il numero totale di quote viene determinato a livello europeo, e successivamente allocato secondo regole predefinite. Il "cap" è gradualmente sceso del 1.74% annuo (dal 2021 è sceso ulteriormente, toccando il 2,2% annuo), e il metodo base per aggiudicarsi le quote è rimasto prevalentemente quello delle aste. Secondo la relazione della commissione al Parlamento Europeo del 2022, dall'implementazione del sistema le emissioni dei settori inclusi sono diminuite di circa il 37%, un risultato che testimonia l'efficacia del sistema nel promuovere la decarbonizzazione (Schuman, R., 2017).

Per quanto riguarda gli impianti industriali, invece, la formula varia in base al rischio che tale impianto incorre nel delocalizzare la sua produzione, contribuendo al fenomeno del carbon leakage. Come regola cardine, i settori più esposti al rischio di delocalizzazione a causa dei costi del carbonio verso paesi con policy climatiche meno rigide beneficiano di un'assegnazione di quote a titolo gratuito pari al 100% del proprio benchmark di efficienza di riferimento: una formula che non va incontro agli obiettivi climatici europei, ma che sta progressivamente venendo sostituita da un meccanismo più equilibrato di adeguamento del carbonio alle frontiere (CBAM).

3.3 Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)

L'Unione Europea è tra i leader mondiali nella lotta contro i cambiamenti climatici, grazie in particolare modo all'adozione di numerose politiche aggressive volte a ridurre le emissioni di gas serra. Per rispettare gli obiettivi prefissati dal pacchetto "Fit for 55" del Green Deal, la

Commissione Europea ha proposto nel luglio del 2021 di attuare un meccanismo di adeguamento del carbonio alle frontiere (CBAM, “Carbon Border Adjustment Mechanism”), in modo da sostituire l’allocazione a titolo gratuito delle quote messe a disposizione dall’Emission Trading System europeo per le industrie ad alta intensità di emissioni. In altre parole, è la risposta più efficace e consistente al fenomeno del carbon leakage, fungendo da meccanismo di riequilibrio tra le politiche climatiche interne all’UE, e quelle esterne.

3.3.1 Funzionamento

Il CBAM si applica come una tassa (di fatto, una sorta di "dazio") sui beni ad alta intensità di carbonio che vengono importati nell’UE: i paesi importatori sono obbligati ad acquistare permessi di emissione (certificati CBAM), che corrispondono alla quantità di emissioni di CO₂ dei beni da importare, dove il prezzo di questi è originariamente legato al costo delle quote di emissione del sistema EU ETS. Di conseguenza, il prezzo delle quote di emissioni nel sistema ETS aumenta, per due ragioni principali: in primo luogo, il CBAM sostituisce le free allowances assegnate agli impianti ad alta intensità di emissioni, portando ad un aumento della domanda dei permessi di emissione, e quindi del loro prezzo; in secondo luogo, il CBAM espande la portata delle quote messe all’asta (più soggetti in gioco a comprare permessi), aumentando ulteriormente la domanda (e quindi il prezzo) di quest’ultime. Inoltre, i beni esportati verso l’Unione Europea da paesi senza un sistema di prezzo del carbonio (o con sistemi meno rigidi) diventano più costosi, poiché gli importatori sono costretti ad acquistare certificati per compensare le emissioni associate a quei beni. Di conseguenza, i paesi esportatori sarebbero motivati ad introdurre o rafforzare i propri sistemi di prezzo del carbonio, per mantenere la competitività dei loro prodotti all’interno del mercato europeo: se un paese esportatore adottasse un sistema di carbon pricing simile o equivalente a quello dell’UE, i produttori di quel paese potrebbero evitare o ridurre il costo aggiuntivo imposto dal CBAM. Inoltre, i produttori europei vengono maggiormente protetti da una possibile concorrenza sleale da parte di paesi con politiche ambientali meno rigide. Per riassumere, citando un articolo del network “esg360.it”, il CBAM si presenta come una sorta di “dazio sulle emissioni”, finalizzato alla protezione delle aziende europee rispettose delle normative, ma che sono allo stesso tempo impegnate ad affrontare un aumento dei costi necessari per conformarsi ai requisiti ambientali fissati dall’UE.

3.3.2 Sfide e limiti

Il potenziale di questo meccanismo è minato da alcuni fattori interni ed esterni, che ne sottolineano le inefficienze a livello sia territoriale, che extra-europeo. Per quanto riguarda i

primi, l'introduzione del CBAM potrebbe avere un impatto negativo sulla competitività dei settori industriali europei: mentre i settori ad alta intensità di emissioni vengono “protetti”, alcuni settori a valle (come quello automobilistico per i componenti in ferro) che utilizzano questi prodotti come input sarebbero soggetti di un aumento dei costi delle materie prime; inoltre, le fluttuazioni del prezzo del carbonio nel sistema ETS causate dai prodotti importati ed esportati causeranno incertezze sul prezzo del carbonio nel mercato europeo. Infine, il monitoraggio e l'analisi dei dati sulle emissioni dei prodotti importati risultano ancora operativamente complessi e con costi di conformità elevati. Per quanto riguarda i fattori esterni, il CBAM potrebbe incontrare opposizione da parte di altri paesi che potrebbero percepirlo come una misura protezionistica o come un meccanismo di introiti per l'UE, elevando barriere commerciali o azioni di ritorsione; inoltre, alcuni paesi in via di sviluppo hanno espresso preoccupazioni per il carico economico aggiuntivo e le possibili violazioni dei principi internazionali di responsabilità condivisa (ESG360, 2024). Un'altra scuola di pensiero riflette sul fatto che, sebbene il CBAM sia efficace nel ridurre il carbon leakage diretto, ossia lo spostamento delle produzioni verso paesi con regolamentazioni meno rigorose, ha un impatto limitato sul carbon leakage indiretto, che avviene attraverso i mercati internazionali dell'energia. Questo significa che, sebbene le emissioni possano essere ridotte all'interno dell'UE, il CBAM potrebbe non riuscire ad impedire l'aumento delle emissioni globali attraverso altri canali, come l'aumento del consumo di energia da fonti ad alta intensità di carbonio in altri paesi.

Attualmente l'UE si trova ancora in una fase transitoria per quanto riguarda l'implementazione del CBAM: la regolamentazione sul Carbon Border Adjustment Mechanism diventerà pienamente operativa dal primo gennaio 2026. Per massimizzarne l'efficacia e i benefici, è fondamentale che ci sia grande cooperazione a livello internazionale, e che anche altri paesi adottino politiche ambientali più ambiziose e aggressive come quelle perseguite dall'UE.

Considerazioni Finali

Nel presente studio è stato evidenziato come l'impronta di carbonio sia un parametro di grande importanza ed utilità per le pubbliche amministrazioni, in quanto permette di valutare e quantificare gli impatti emissivi in materia di cambiamenti climatici nell'ambito delle politiche di settore, ma anche per monitorare l'efficienza ambientale ed energetica delle proprie strutture. Per le aziende, in un contesto che vede premiati i fornitori di prodotti o servizi a basse emissioni, può essere uno strumento per valorizzare le proprie attività e promuovere le proprie politiche di responsabilità sociale ed ambientale.

Nonostante la crescente attenzione verso l'ecosostenibilità e alle emissioni, risulta chiaro le imprese continuano a perseguire la generazione di valore proprio senza limitare i fattori inquinanti, innalzando il livello globale di emissioni derivanti dalla produzione. In particolare, economie emergenti come Cina e India, per soddisfare la domanda globale, sono responsabili approssimativamente del 40% delle emissioni mondiali annue, con il settore della produzione di energia che trascina verso l'alto le medie percentuali. Dall'analisi dei grafici comparativi delle emissioni consumption-based e production-based, si può cogliere come le prime risultino generalmente più alte delle seconde per le economie Occidentali, mentre spostandosi verso l'Oriente risultano più basse: questo perché, tra i vari fattori incidenti, i paesi sviluppati come gli Stati Uniti tendono ad importare beni da quelli in via di sviluppo dove il costo di produzione è minore e le politiche climatiche sono meno stringenti, aumentando di conseguenza le proprie emissioni associate al consumo. Il settore con la più alta intensità di emissioni di CO₂ si conferma essere quello della produzione energetica, con la Cina che mostra un aumento del 618% nelle emissioni dal 1990; esistono tuttavia alcune differenze tra i paesi importatori e quelli esportatori di CO₂: nei primi, infatti, la tendenza negli ultimi anni è prevalentemente decrescente, mentre nei secondi sembra seguire andamenti crescenti o costanti. D'altro canto, il settore della selvicoltura si distingue come uno dei più sostenibili, soprattutto nell'Unione Europea, dove si osserva una rimozione netta di CO₂ dall'atmosfera, evidenziata da emissioni negative prevalentemente costanti nel tempo.

Per quanto riguarda l'Unione Europea, come evidenziato nella tesi, essa è uno dei principali protagonisti nella lotta contro le emissioni di CO₂: tra le diverse policy climatiche intraprese dalla Commissione, il sistema di scambio di quote di emissione dell'UE rappresenta un'arma efficace per limitare le emissioni territoriali, rivelando però quella che in questo momento rappresenta una delle più grandi sfide da affrontare: il fenomeno del carbon leakage.

Questo problema ostacola l'efficacia delle politiche climatiche, incentivando la delocalizzazione di impianti di produzione ad alta intensità di carbonio verso altri paesi. Si è visto come, attraverso l'implementazione di una seconda importante direttiva politica europea denominata "Carbon Border Adjustment Mechanism", l'UE sta progressivamente arginando il problema del carbon leakage, e sta riuscendo a garantire un costo del carbonio equivalente dei prodotti importati rispetto a quello dei prodotti europei, mantenendo la competitività delle industrie del territorio e incentivando i paesi esportatori a introdurre o rafforzare le proprie politiche climatiche.

Con il seguente elaborato si è voluto evidenziare come la misurazione delle emissioni legate alle produzioni domestiche e l'impronta carbonica dei consumi offrano una visione completa delle dinamiche globali delle emissioni di gas serra: mentre le production-based emissions riflettono le emissioni generate all'interno dei confini nazionali, l'impronta carbonica dei consumi misura la quantità totale di emissioni di gas serra generate dalla produzione di beni e servizi consumati all'interno di un paese, indipendentemente dal luogo in cui sono stati prodotti. A livello globale, l'analisi di questi due approcci mostra come il commercio internazionale influenzi la distribuzione delle emissioni tra paesi produttori ed esportatori, e paesi consumatori ed importatori.

Le azioni delle autorità internazionali, dei governi e dei leader di stato sono fondamentali per responsabilizzare e indirizzare nella giusta direzione le economie del mondo, ma attualmente non esistono ancora direttive globali che incentivino, allo stesso tempo, i giusti riguardi climatici ed una corretta competitività settoriale. L'attuale sfida più difficile che sta affrontando l'economia di oggi è proprio questa: limitare le emissioni di gas serra e rispettare gli obiettivi climatici prefissati, in un contesto dove nessuno è intenzionato ad abbassare la propria utilità marginale.

Riferimenti bibliografici

ANON., 2016. OECD CO2 emissions embodied in consumption. *OECD*, 1-2 [online].
Disponibile su: <https://web-archivio.oecd.org/2016-03-07/390406-EmbodiedCO2_Flyer.pdf>
[Data di accesso: 02/08/2024].

ANON., 2018. Ridurre le emissioni di anidride carbonica: obiettivi e politiche dell'UE.
Parlamento europeo [online], 15 marzo. Disponibile su:
<<https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20180305STO99003/ridurre-le-emissioni-di-anidride-carbonica-obiettivi-e-azioni-dell-ue>> [Data di accesso: 22/08/2024].

ANON., 2021. Metodologie di stima delle emissioni di gas serra. *ISPRA* [online]. Disponibile su: <<https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/cambiamenti-climatici/landamento-delle-emissioni/metodologie-di-stima>> [Data di accesso: 09/08/2024].

ANON., 2023. Clima, gli Stati Uniti puntano a rimuovere almeno 400 milioni di tonnellate metriche di CO2 all'anno (per raggiungere l'obiettivo di emissioni nette zero entro il 2050). *Il Sole 24 Ore* [online], 19 agosto. Disponibile su:
<<https://www.infodata.ilsole24ore.com/2023/08/19/clima-gli-stati-uniti-puntano-a-rimuovere-almeno-400-milioni-di-tonnellate-metriche-di-co2-allanno-per-raggiungere-lobiettivo-di-emissioni-nette-zero-entro-il-2050/>> [Data di accesso: 23/08/2024].

ANON., 2023. Cos'è l'impronta di carbonio e come si calcola. *Enel Green Power* [online].
Disponibile su: <<https://www.enelgreenpower.com/it/learning-hub/transizione-energetica/impronta-carbonio>> [Data di accesso: 15/08/2024].

ANON., 2024. What is a carbon footprint and why is it important?. *Repsol* [online].
Disponibile su: <<https://www.repsol.com/en/sustainability/sustainability-pillars/climate-change/reducing-carbon-footprint/index.cshtml>> [Data di accesso: 14/08/2024].

BAKER, T., et al., 2007. Climate Change 2007: Mitigazione dei Cambiamenti Climatici. *IPCC* [online]. Disponibile su <<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/03/ar4-wg3-spm-1.pdf>> [Data di accesso: 24/08/2024].

BALLOCCHI, A., 2024. L'impatto della Cina sulla transizione energetica nel mondo. *Elettrico Magazine* [online], 16 maggio. Disponibile su: <<https://elettricomagazine.it/attualita-news/transizione-energetica-in-cina-impatto/#:~:text=La%20Cina%20in%20numeri,->

[In%20Cina%20vive&text=Il%20Paese%20utilizza%20un%20quarto,il%2020%25%20dei%20veicoli%20elettrici](#)> [Data di accesso: 27/08/2024].

BERNERS-LEE, M., *The Carbon Footprint of Everything*. Inghilterra, Greystone Books, 2022.

BORRELL, J., 2020. La neutralità della Cina in termini di emissioni di carbonio nel 2060: un possibile fattore di cambiamento per il clima. *European External Action Service* [online], 23 ottobre. Disponibile su: <https://www.eeas.europa.eu/eeas/la-neutralit%C3%A0-della-cina-termini-di-emissioni-di-carbonio-nel-2060-un-possibile-fattore-di_it> [Data di accesso: 25/08/2024].

BOOYSEN, W. et al., 2018. A risk management strategy to identify and prioritise factors affecting industry's carbon tax liability [online]. Disponibile su: <https://www.researchgate.net/publication/328882355_A_risk_management_strategy_to_identify_and_prioritise_factors_affecting_industry%27s_carbon_tax_liability> [Data di accesso: 30/08/2024].

CLORA, F., 2020. Cos'è il carbon leakage: quando le emissioni si spostano all'estero. *duegradi* [online], 1° maggio. Disponibile su: <<https://www.duegradi.eu/news/carbon-leakage/>> [Data di accesso: 27/08/2024].

Commissione Europea, 2021. Carbon leakage. *European Commission* [online]. Disponibile su: <https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/free-allocation/carbon-leakage_en> [Data di accesso: 28/08/2024].

DI DONFRANCESCO, G., 2023. Cop27, le emissioni di CO2 paese per paese. *Il Sole 24 Ore* [online]. Disponibile su: <<https://lab24.ilsole24ore.com/cop27-dati-CO2-mondo/>> [Data di accesso: 23/08/2024].

ELVINGER, J., et al., 2023. Obiettivi dell'UE in materia di energia e di clima. *Corte dei conti europea* [online]. Disponibile su: <https://www.eca.europa.eu/ECAPublications/SR-2023-18/SR-2023-18_IT.pdf> [Data di accesso: 25/08/2024].

European Commission: Joint Research Centre, Cristobal-Garcia, J., Pant, R., Reale, F. and Sala, S., 2016. Life cycle assessment for the impact assessment of policies, Publications Office. Disponibile su: <<https://data.europa.eu/doi/10.2788/318544>> [Data di accesso: 14/08/2024].

Global Carbon Budget data. *Global Carbon Budget* [online]. Disponibile su: <<https://globalcarbonbudgetdata.org/>> [Data di accesso: 06/09/2024].

Greenhouse Gas Protocol, Scope 2 Guidance (2023).

GRUBB, M., et al., 2022. Annual review on environment and resources. *Annual Reviews* [online], volume 47, 756-758. 14 settembre. Disponibile su:

<<https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-environ-120820-053625>>

[Data di accesso: 09/08/2024].

JAKOB, M., 2021. Why carbon leakage matters and what can be done against it.

ScienceDirect [online], volume 4, 609-614. 21 maggio. Disponibile su:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344919303386>> [Data di accesso:

28/08/2024].

KARAKAYA, E., YILMAZ, B., ALATAS, S., 2019. How production-based and consumption-based emissions accounting systems change climate policy analysis: the case of CO2 convergence. *Springer Link* [online]. Disponibile su:

<<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-05007-2>> [Data di accesso:

25/08/2024].

LU, M., 2023. Visualizing All the World's Carbon Emissions by Country. *Visual Capitalist*

[online]. Disponibile su: <[https://www.visualcapitalist.com/carbon-emissions-by-country-](https://www.visualcapitalist.com/carbon-emissions-by-country-2022/)

2022/> [Data di accesso: 04/09/2024].

Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2020. EU ETS - Sistema di scambio di quote di emissione dell'Unione Europea. *Governo Italiano* [online]. Disponibile su:

<<https://www.mase.gov.it/energia/sostenibilita/gas-effetto-serra/sistema-europeo-per-lo-scambio-di-emissioni-eu-ets#1>> [Data di accesso: 29/08/2024].

Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2020. L'Unione Europea e il clima.

Governo Italiano [online], 13 maggio. Disponibile su:

<<https://www.mase.gov.it/pagina/lunione-europea-e-il-clima#:~:text=Dal%201990%20al%202018%20,2030%20saranno%20necessari%20ulteriori%20sforzi>> [Data di accesso: 25/08/2024].

MULVANEY, K., 2022. What is a carbon footprint - and how to measure yours. *National Geographic* [online]. Disponibile su:

<<https://www.nationalgeographic.com/environment/article/what-is-a-carbon-footprint-how-to-measure-yours>> [Data di accesso: 21/08/2024].

Parlamento Europeo, 2018. Il sistema di scambio delle quote di emissione e la sua riforma in breve. *Parlamento Europeo* [online]. Disponibile su:

<<https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20170213STO62208/il-sistema-di-scambio-delle-quote-di-emissione-e-la-sua-riforma-in-breve>> [Data di accesso: 29/08/2024].

QUIANG, W., XUE-TING, J., SHUTING, G., RUI, J., 2019. Is economic growth compatible with a reduction in CO2 emissions? Empirical analysis of the United States. *ScienceDirect* [online], volume 151, 19 dicembre. Disponibile su:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344919303386>> [Data di accesso: 25/08/2024].

RAMSEY, R., 2023. IPCC Tier 2 methodology - Assessing agriculture's carbon footprint. *agrecalc* [online], 8 agosto. Disponibile su: <<https://www.agrecalc.com/home/insights/ipcc-tier-2-methodology-agriculture-carbon-footprint/#:~:text=The%20IPCC%20guidelines%20provide%20methods,a%20greater%20level%20of%20complexity>> [Data di accesso: 14/08/2024].

Redazione ESG360, 2024. ETS, Emission Trading System: cos'è e come funziona il mercato delle emissioni. *ESG360* [online], 3 aprile. Disponibile su: <<https://www.esg360.it/esg-world/ets-come-funziona-il-mercato-delle-emissioni-di-co2-in-europa/>> [Data di accesso: 29/08/2024].

RITCHIE, H., 2019. Who has contributed most to global CO2 emissions? *Our World in Data* [online], 1 ottobre. Disponibile su <<https://ourworldindata.org/contributed-most-global-co2>> [Data di accesso: 06/09/2024].

SALA, S., et al., 2016. Life cycle assessment for the impact assessment of policies. *Comissione Europea* [online]. Disponibile su <https://www.researchgate.net/profile/Serenella-Sala/publication/312384681_Life_cycle_assessment_for_the_impact_assessment_of_policies/links/587cf57908aed3826aeffd4/Life-cycle-assessment-for-the-impact-assessment-of-policies.pdf> [Data di accesso: 30/09/2024].

SCHUMAN, R., 2017. Free allowance allocation in the EU ETS. *European University Institute* [online], 2-4. Disponibile su: <https://cadmus.eui.eu/bitstream/handle/1814/46048/RSCAS_FSR_PB_2017_02.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Data di accesso: 28/08/2024].

SUMAN, F., 2024. Elezioni 2024: la Russia continua a sottrarsi alle politiche climatiche. *Il BO Live* [online], 20 marzo. Disponibile su: <<https://ilbolive.unipd.it/it/news/elezioni-2024-russia-continua-sottrarsi-politiche>> [Data di accesso: 27/08/2024].

UNI EN ISO 14040:2006, Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento.