



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA**

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE ED AZIENDALI  
"M. FANNO"**

**CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA**

**PROVA FINALE**

**"La relazione tra consumo di energia rinnovabile e crescita economica:  
aspetti teorici, evidenze empiriche e considerazioni per interventi pubblici"**

**RELATORE:**

**CH.MO PROF. Bassetti Thomas**

**LAUREANDO: Guizzardi Gianmarco**

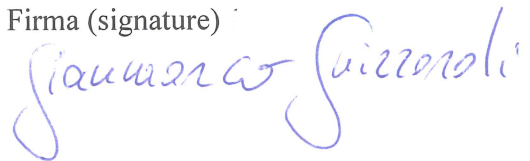
**MATRICOLA N. 2002474**

**ANNO ACCADEMICO 2022 – 2023**

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)

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gianmarco Guizzardi', written in a cursive style.



## SOMMARIO

<i>Introduzione</i> .....	6
<i>Capitolo 1: Transizione energetica e conseguenti effetti sulla crescita ed il welfare</i> .....	7
1.1 La transizione energetica: un'analisi economica del ruolo della produttività energetica.....	9
1.2 Il ruolo della ricerca nella transizione energetica .....	11
1.3 Investimenti e produttività delle fonti energetiche: il caso delle rinnovabili .....	12
<i>Capitolo 2: Studi empirici sulla relazione tra energia rinnovabile e crescita economica per paesi OCSE</i> .....	13
2.1 Ipotesi Feedback e ipotesi di crescita in alcuni paesi OCSE .....	15
2.1.1 Ipotesi di crescita in Italia .....	16
2.2 Ipotesi neutrale in Europa .....	17
2.3 La relazione tra fonti energetiche e crescita economica e l'ipotesi negativa.....	18
<i>Capitolo 3: Quantità di energia rinnovabile utilizzata e crescita economica: Il modello a soglia</i> .....	19
3.1 Dati e variabili .....	20
3.2 Modello lineare e modello a soglia a confronto .....	21
<i>Capitolo 4: Policy makers ed il loro ruolo per incentivare l'utilizzo di energia rinnovabile</i> .....	28
4.1 Interventi per il contenimento dei costi e agevolazioni fiscali .....	30
4.2 Politiche per l'aumento della quota dell'energia rinnovabile e per la produttività energetica.....	30
<i>Conclusione</i> .....	32
<i>Bibliografia</i> .....	34



## **Introduzione**

L'energia rinnovabile ha assunto un ruolo fondamentale nel panorama energetico mondiale, prospettando di avere un'importanza ancor più significativa in futuro, poiché le nazioni globali necessitano di sempre più energia per sostenere la crescita economica e lo sviluppo, ma allo stesso tempo è urgente affrontare il cambiamento climatico e ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> (Key world energy statistics, 2020) (Sixth Assessment Report, 2021). Questo elaborato, dunque, si focalizza sulla crescente importanza delle energie alternative e sulla conseguente necessità di studiare la relazione tra il consumo di energia sostenibile e lo sviluppo economico. L'obiettivo principale di questa ricerca è quello di comprendere la natura della relazione tra energia rinnovabile e crescita economica, oltre a esaminare gli altri aspetti tecnici ed economici coinvolti in questa dinamica. Un'analisi approfondita di queste connessioni può fornire una base solida per i responsabili delle politiche pubbliche al fine di prendere decisioni efficaci su eventuali investimenti nel campo dell'energia alternativa.

Il primo capitolo esamina alcuni modelli teorici esistenti riguardanti la connessione tra energia rinnovabile e crescita economica, ipotizzando l'andamento dello sviluppo economico durante la transizione energetica e focalizzandosi sul ruolo della produttività energetica nel cambiamento del mix energetico. Il secondo capitolo analizza una vasta gamma di indagini empiriche effettuate su paesi OSCE, tra cui quella di Apergis e Payne (2010) e quella di Menegaki (2011), che investigano la relazione tra consumo di energia sostenibile e crescita economica, evidenziando risultati discordanti e sfide interpretative. Successivamente, nel terzo capitolo viene introdotto un modello a soglia, tratto dallo studio di Chen, Pinar e Stengos (2020), che esplora le divergenze nei risultati degli studi precedenti, aprendo nuove prospettive di analisi grazie alla nuova metodologia adottata. L'elaborato dedica poi l'ultima sezione ad esaminare le politiche pubbliche per l'energia rinnovabile, esplorando strategie e iniziative adottate dai governi per promuovere l'adozione diffusa delle fonti energetiche sostenibili. Attraverso questa tesi si mira a contribuire alla comprensione della complessa relazione tra energia rinnovabile e crescita economica, offrendo l'analisi di alcuni modelli teorici, una visione globale delle evidenze empiriche e un accenno alle politiche pubbliche rilevanti per una transizione energetica sostenibile.

## Capitolo 1: Transizione energetica e conseguenti effetti sulla crescita ed il welfare

Come riportato dalla Agenzia Internazionale dell'Energia nel report del 2020 (Key world energy statistics) le richieste di energia dell'economia moderna sono in costante crescita e spingono ad un sempre più intenso sfruttamento delle fonti energetiche. La figura uno illustra l'andamento del consumo energetico mondiale dal 1971 al 2018 e le diverse categorie di energia utilizzate.

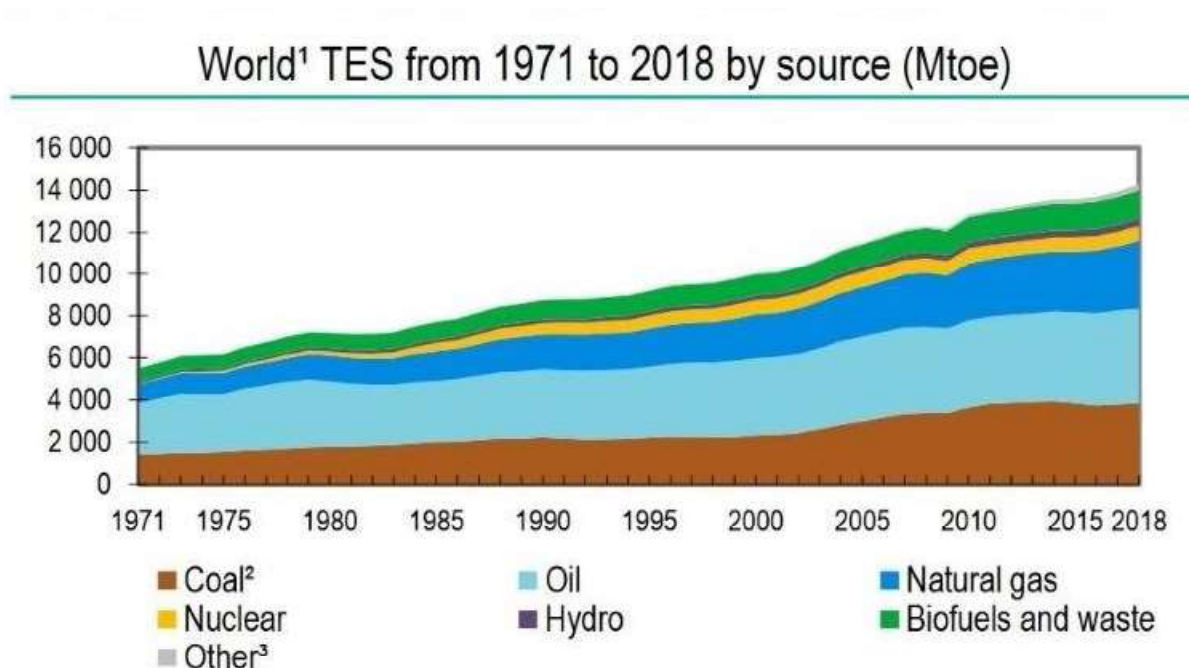


Figura 1: Andamento del consumo energetico e le rispettive fonti dal 1970 al 2018. L'unità di misura utilizzata per l'energia è la Tonnellata equivalente di petrolio<sup>1</sup> (Key world energy statistics, 2020).

Le fonti energetiche possono essere divise in due gruppi, distinti per esauribilità:

- Fonti esauribili o non rinnovabili, intese sostanzialmente come combustibili fossili (gas, carbone, petrolio). In questo elaborato viene preso come riferimento principale il petrolio.
- Fonti non esauribili o rinnovabili, riferibili alle biomasse (energia idroelettrica, eolica, solare e geotermica)

<sup>1</sup> Unità di misura energetica usata in tecnica e in economia, pari all'energia termica ottenibile dalla combustione di una tonnellata di petrolio, mediamente assunta pari a 41,86106 kJ.

Le fonti energetiche esauribili, oltre ad andare incontro ad un sicuro depauperamento hanno un impatto negativo sull'ambiente e sulla salute delle persone. Per limitare le esternalità negative, negli anni sono stati approvati diversi accordi internazionali sull'abbattimento di emissioni di carbonio, primo tra questi il Protocollo di Kyoto (1997), seguito poi dall'Accordo di Parigi (2015). Queste limitazioni politiche e la natura non rinnovabile dei combustibili fossili rende necessario lo sfruttamento di fonti alternative e una progressiva transizione ecologica per soddisfare il fabbisogno energetico globale. Negli ultimi tre decenni, infatti, l'utilizzo di energia rinnovabile è aumentato sia per i paesi OCSE che non-OCSE. Nella figura 2 è mostrata la progressione nell'impiego di energia rinnovabile.

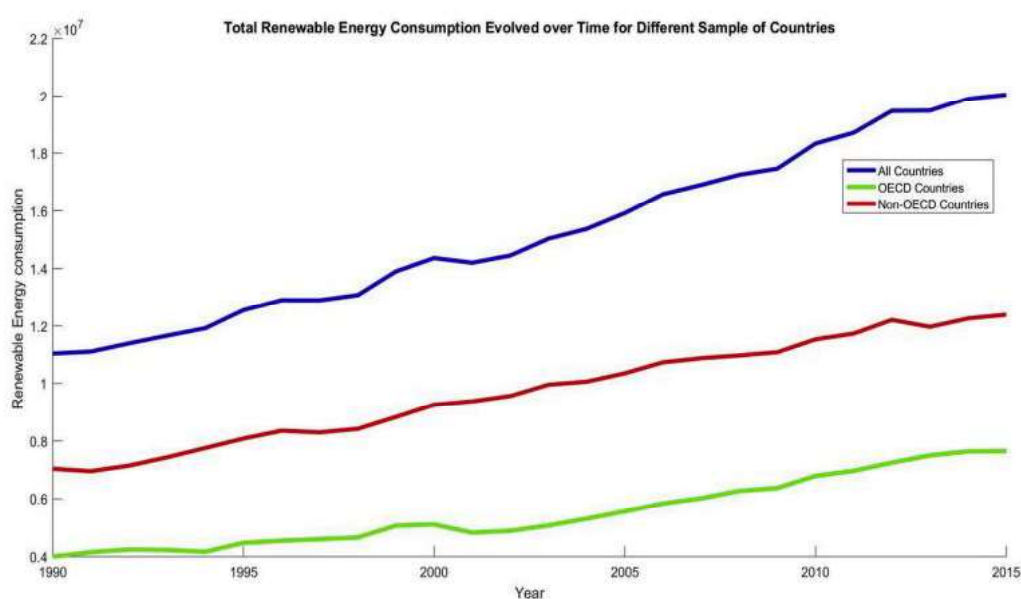


Figura 2: andamento del consumo di energia rinnovabile per diversi campioni di paesi (Chen, Pinar, & Stengos, 2020).

Queste nuove energie alternative assumeranno un ruolo sempre più centrale per la produzione, il report del 2020 dell'IEA (Key world energy statistics, 2020) riporta che la quota di consumo di energia rinnovabile raggiungerà il 30% nel 2025 e il 48% entro il 2040. È necessario quindi studiare l'efficienza delle fonti alternative nel promuovere la crescita economica e confrontarla con quella delle fonti non rinnovabili. La letteratura scientifica indaga dunque l'efficacia dell'energia sostenibile nel moderare le esternalità negative, le potenzialità di impatto sulla crescita della produttività e come avverrà la transizione da un'economia dominata dal petrolio ad una dipendente dalle fonti rinnovabili. Lo studio di Barreto (2018) presenta un modello di crescita endogeno che descrive la transizione dalle fonti tradizionali a quelle alternative, il



modello di sviluppo proposto permette la sostituzione tra fonti non rinnovabili e sostenibili e l'andamento del consumo energetico per raggiungere l'equilibrio stazionario è descritto da una funzione con una traiettoria a sella: l'utilizzo di energia raggiunge un picco iniziale quando il costo delle fonti fossili è basso e la loro disponibilità è elevata ed inizia a calare con l'aumento dei prezzi e la loro diminuita reperibilità per poi invertire il trend e raggiungere un nuovo picco grazie all'utilizzo graduale di fonti rinnovabili. Quest'ultimo punto è l'equilibrio stazionario individuato, dove l'energia è fornita per intero da fonti alternative. Lo studio dimostra che l'energia rinnovabile è in grado mitigare gli effetti negativi sull'economia delle fonti tradizionali sostituendosi ad esse ma il tempo in cui avverrà la transizione è indefinito, maggiore l'efficacia nell'utilizzo delle fonti rinnovabili minore sarà il tempo impiegato nella transizione e minore sarà la profondità della gobba tra i due picchi di consumo. Viene successivamente indagata la produttività delle fonti energetiche rinnovabili rispetto al petrolio ed è ritenuto necessario un miglioramento nell'efficacia dell'utilizzo delle fonti rinnovabili. Vengono attribuite ad esse i seguenti problemi: necessitano di investimenti costosi e l'energia estratta non è costante né semplice da conservare. Questi miglioramenti, oltre a ridurre l'impatto della transizione sul consumo effettivo per capita, determinano l'altezza del secondo picco del consumo di energia promosso dalle fonti alternative. Se il consumo dopo la transizione tornerà ai livelli iniziali dell'economia dipendente dal petrolio dipenderà dalla capacità della società di investire per il miglioramento della produttività delle tecnologie verdi.

### **1.1 La transizione energetica: un'analisi economica del ruolo della produttività energetica**

L'economia globale dai tempi della rivoluzione industriale basa il proprio consumo energetico sulle fonti fossili che hanno permesso la crescita e lo sviluppo economico, il progresso ha reso poi sempre più efficiente il consumo energetico stimolandone al contempo la domanda. La domanda in costante crescita, la natura di queste fonti e le esternalità negative hanno reso necessario cercare fonti energetiche alternative. L'economia attuale e futura non può essere basata unicamente sul consumo di fonti tradizionali poiché nonostante inizialmente queste siano meno costose e più produttive, Barreto (2018) mostra che in un modello in cui l'energia è fornita unicamente da fonti non rinnovabili il consumo e la crescita collassano allo zero rapidamente, fatta eccezione per un'eventualità di un tasso di crescita della produttività dell'energia non rinnovabile pari a  $z^*$  ottimo necessario a sopperire all'inevitabile depauperamento. Più il tasso di crescita  $z$  della produttività dell'energia non rinnovabile si avvicina a  $z^*$  più lentamente il

modello collasserà verso lo zero. La figura tre descrive l'andamento del consumo pro capite e del tasso di estrazione del petrolio nel tempo in un mondo esclusivamente dipendente da fonti fossili con  $z=z^*$ .

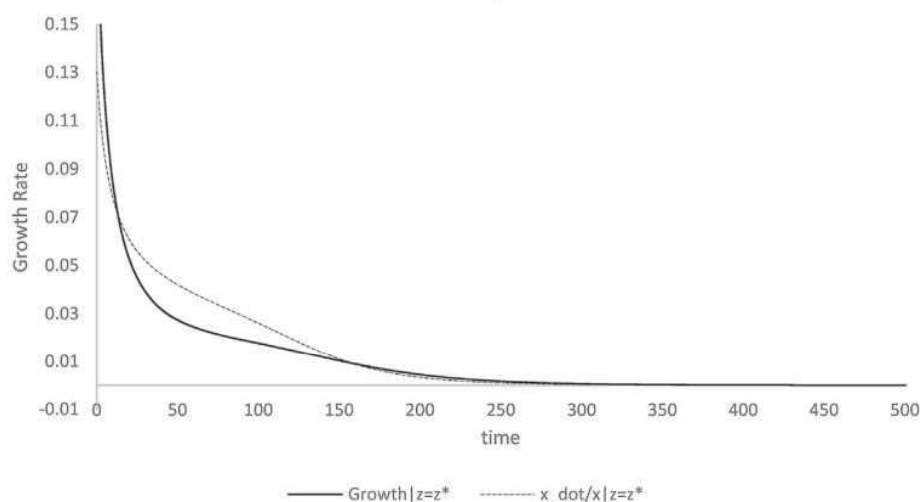


Figura 3: Andamento del consumo pro capite e del tasso di estrazione di petrolio con  $z = z^*$  (Barreto, 2018).

Consideriamo ora un modello economico dipendente dall'energia che oltre avere disponibilità di energia non rinnovabile dispone anche di fonti alternative: con il crescere del prezzo e l'avvicinarsi dell'esaurimento delle fonti fossili è possibile cambiare la fonte energetica utilizzata. Barreto (2018) sottolinea come la differenza di produttività determini i risultati. Assumendo il petrolio e le fonti alternative come imperfetti sostituti il primo periodo è caratterizzato da una maggiore produttività del petrolio, le estrazioni in questo caso saranno estremamente elevate: chi possiede le fonti non rinnovabili vuole sfruttarle il più possibile prima che la produttività dell'energia alternativa raggiunga quella del petrolio. La produttività delle fonti alternative è assunta migliorare con l'aumento nella quota di mercato nel mix energetico. L'energia rinnovabile, quindi, sostituisce il petrolio durante il suo periodo di esaurimento aumentando la propria efficienza grazie alla sempre più grande quota di mercato ed alla fine rimpiazza completamente l'energia fossile e si raggiunge un punto di equilibrio. Questo punto è il secondo picco di produzione citato precedentemente ed è economicamente rilevante: se la produttività delle fonti rinnovabili ha raggiunto il livello del petrolio o superiore potremmo aspettarci un picco uguale o più alto di quello dell'economia basata sull'energia dipendente dalle fonti tradizionali. Nell'investigare quindi la produttività energetica e il suo impatto sulla crescita è chiaro che l'orizzonte temporale e la quantità di energia rinnovabile utilizzata non possano essere trascurati: i risultati saranno estremamente diversi nei vari

momenti in cui vengono fatte le misurazioni. Quando il petrolio inizialmente è abbondante infatti risulterà stimolare maggiormente l'economia, mentre più si avanza con il tempo migliori saranno i benefici delle fonti alternative. Superare una certa soglia di quota di mercato di utilizzo delle fonti rinnovabili sembra essere un punto chiave per avere una produttività sufficiente per competere con le fonti fossili ed avere un impatto positivo sui consumi. Al di sotto invece di un certo livello di utilizzo si avranno costi fissi troppo elevati e una produttività limitata che non favoriranno la crescita. Questo livello minimo da raggiungere sarà un elemento critico per l'investigazione degli studi empirici poiché determina l'entità dell'impatto delle fonti rinnovabili sullo sviluppo economico e dipende fortemente dal campione scelto.

## **1.2 Il ruolo della ricerca nella transizione energetica**

La transizione ad un mondo dipendente dall'energia rinnovabile è quindi inevitabile considerato che le riserve di petrolio diminuiscono mentre il suo prezzo aumenta. L'attenzione è quindi riposta nell'indagare la produttività delle nuove fonti energetiche, nel capire come il suo variare impatti la crescita economica e quale sia il ruolo della società nel condizionare il miglioramento nello sfruttamento delle fonti rinnovabili. Per innalzare il rendimento delle fonti rinnovabili sono necessari investimenti nella ricerca che portano ad una maggior crescita economica nel lungo periodo poiché migliorano i rendimenti degli input utilizzati nella produzione. A differenza dello studio di Barreto (2018), in cui la produttività dell'energia rinnovabile è assunta come crescente al crescere della quota di mercato, lo studio di Thanh Le (2018) presenta un modello in cui anche il settore della ricerca viene investigato. In particolare, viene evidenziata la connessione tra il settore di estrazione delle risorse e quello della ricerca poiché entrambi utilizzano lavoro (L) come input. La preferenza temporale occupa un ruolo centrale in questo modello, il lavoro infatti può essere impiegato nell'estrazione di risorse o nella ricerca. Se il consumo attuale è valutato come più importante di quello futuro le estrazioni saranno maggiori e il consumo sarà più alto nel breve periodo risultando poi inferiore del lungo a causa degli scarsi investimenti nel settore della ricerca. Un miglioramento nell'estrazione delle risorse risulta sempre in un miglioramento dell'output per le fonti rinnovabili mentre è ambiguo per quelle fossili: nonostante spinga ad estrarre di più nel breve periodo, estrazioni più efficienti permetterebbero di ricollocare il lavoro anche nel settore della ricerca che potrebbe generare abbastanza produttività da sopperire alla loro esauribilità. Quest'ultimo elemento causa ambiguità anche nella crescita dell'output, se l'energia tradizionale nel tempo è usata in modo abbastanza efficace in determinati casi supera i risultati delle fonti rinnovabili, poiché

manterrebbe i suoi vantaggi in produttività e costi relativamente più bassi rispetto alle fonti alternative.

### **1.3 Investimenti e produttività delle fonti energetiche: il caso delle rinnovabili**

L'utilizzo efficace delle risorse è un elemento chiave per la crescita economica, sia per le fonti rinnovabili che per quelle tradizionali. Se il tasso di crescita di produttività dell'energia non rinnovabile non cresce ad un ritmo sufficiente in un'economia dipendente dal petrolio, come evidenziato sia da Barreto (2018) che da Thanh Le (2018) la crescita economica si arresta o diventa negativa. In un'economia dominata dalle fonti fossili la crescita può essere negativa mentre questa ipotesi non si verifica con l'energia alternativa: grazie alla sua natura inesauribile non ha bisogno di tassi di crescita della produttività costantemente elevati per evitare di impattare negativamente l'economia. Le fonti rinnovabili sono più sostenibili nel lungo periodo, poiché soffrono meno fluttuazioni di prezzo; tuttavia, il ruolo del petrolio è ancora centrale nell'economia mondiale e nel promuovere la crescita. È dimostrato che l'elettricità generata dalle fonti alternative aumenta ad un ritmo crescente con l'aumento degli investimenti in ricerca e sviluppo e ciò suggerisce che i costi delle energie rinnovabili diminuiscono ad un ritmo crescente quando gli investimenti nelle energie sostenibili sono più alti (Schilling & Esmundo, 2009). L'entità degli investimenti determina quindi la produttività delle fonti energetiche e la differenza di denaro investito può essere un fattore decisivo per determinare le differenze tra i paesi nella produzione di energia da fonti alternative. È plausibile aspettarsi un livello di utilizzo elevato ed efficiente per le fonti energetiche rinnovabili in paesi sviluppati poiché queste nazioni hanno maggiori risorse finanziarie e tecnologiche da investire, ingenti somme di denaro sono state infatti spese a livello globale per il miglioramento della capacità dell'energia rinnovabile e i maggiori responsabili di questi investimenti sono paesi con un PIL elevato (Global Trends in Renewable Energy Investment, 2019), tra cui anche numerose nazioni europee. Inoltre, spesso nei paesi più avanzati a causa di una maggior sensibilità della società e delle istituzioni ai temi ambientali i governi e le aziende sono spinti ad investire sulle energie rinnovabili. I paesi europei, infatti, hanno concordato degli obiettivi di sviluppo sostenibile da raggiungere entro il 2030 (17 Sustainable Development Goals, 2015). Questo accordo sancisce la volontà di ridurre le emissioni di gas serra e un modo per raggiungere questo obiettivo è l'investimento in fonti di energia alternativa (Lyeonov & al, 2019), dunque a causa di questo patto aumenteranno ulteriormente i soldi spesi nello sviluppo delle tecnologie verdi. Il ruolo della politica nazionale nel sostegno della transizione ecologica è riportato da Meckling et al.

(2022): i paesi che hanno più successo nell'introdurre tecnologie per l'energia pulita presentano istituzioni che hanno sostenuto le imprese e i consumatori aiutando a ridurre l'impatto dei costi a breve termine aumentando la spesa pubblica. Secondo i dati dell'IPCC<sup>2</sup> (2021) L'energia pulita occuperà un'abbondante quota di mercato e avrà dunque la possibilità di aumentare la propria produttività grazie ai soldi investiti nel settore della ricerca. Sulla base di questi dati, infatti, grazie all'investimento sulla ricerca e lo sviluppo questi paesi avranno produttività più elevata per l'energia rinnovabile (Schilling & Esmundo, 2009). La produttività dipende anche dalle infrastrutture e dalle tecnologie utilizzate, senza di queste è complesso sfruttare l'energia alternativa anche con condizioni naturali favorevoli (Bugaje, 2006). Tutti questi elementi ci fanno comprendere che migliorare la produttività delle fonti energetiche richiede notevoli sforzi economici e politici che non tutti i paesi sono in grado di sostenere.

## **Capitolo 2: Studi empirici sulla relazione tra energia rinnovabile e crescita economica per paesi OCSE**

Nel capitolo precedente sono stati indagati alcuni modelli teorici che studiano la relazione tra il consumo di energia e la crescita economica e le differenze tra fonti fossili e fonti alternative. È stata evidenziata la differenza di produttività tra le fonti di energia tradizionali e quelle rinnovabili e sono state avanzate delle ipotesi su come la transizione energetica impatterà la crescita economica. Sulla base dell'andamento di questo processo di transizione possiamo aspettarci effetti diversi del consumo di energia rinnovabile sullo sviluppo economico nei paesi. Come accennato nel capitolo uno, l'energia alternativa presenta delle criticità: la difficoltà nell'essere conservata (Forsberg, 2009), alti costi per la transizione dalle fonti tradizionali alle nuove tecnologie sostenibili (Marques & Fuinhas, 2012) e un possibile prezzo finale energetico più alto a causa delle politiche di spesa pubblica per implementare le nuove tecnologie (Marques & Fuinhas, 2012). Tuttavia, questi problemi possono essere mitigati dagli effetti sulla crescita economica nel lungo periodo mostrati al capitolo uno, l'energia rinnovabile è infatti più conveniente rispetto alle fonti fossili con l'avanzare del tempo. La transizione all'energia verde è anche fondamentale per l'abbattimento delle emissioni di gas serra e per limitare il processo di riscaldamento globale e come riportato dal "Intergovernmental Panel on Climate Change" (Sixth Assessment Report, 2021) è necessaria l'adozione di tecnologie a basse emissioni di carbonio per diminuire l'impatto dell'uomo sui cambiamenti climatici. Lo studio

---

<sup>2</sup> The Intergovernmental Panel on Climate Change

di Chen, Pinar e Stengos (2020) osserva che negli ultimi 3 decenni l'impiego dell'energia rinnovabile è in aumento così come la quota di mercato occupata da quest'ultima nel soddisfare le richieste energetiche dei paesi OSCE e che questa tendenza si confermerà nei prossimi anni. A causa del crescente utilizzo dell'energia rinnovabile numerosi studi empirici sono stati svolti per analizzare la relazione tra il consumo di energia rinnovabile e la crescita economica. La letteratura vuole infatti indagare la natura di questa relazione per capire l'efficacia di eventuali investimenti in queste nuove fonti energetiche e per verificare se gli effetti a lungo termine compensano le limitazioni presentate precedentemente. Questi studi sono stati condotti con campioni che includono paesi differenti, con metodi diversi e ottenendo risultati distinti: si sono infatti creati filoni di letteratura che sostengono tesi contrapposte. Come evidenziato nel capitolo uno il campione scelto è determinante nel risultato finale, analizzando paesi diversi ci si aspetta che siano in diverse fasi del processo di transizione ecologica e ciò comporta un dissimile livello di utilizzo dell'energia rinnovabile. Chen, Pinar e Stengos (2020) infatti, assumono che la crescita di energia rinnovabile utilizzata determini la diminuzione del suo costo accentuando l'impatto positivo sulla crescita. Secondo questo studio quindi il diverso livello di utilizzo di energia rinnovabile consumata influenza la crescita e potrebbe essere la causa delle diverse conclusioni della letteratura in merito. Le correnti della letteratura possono essere organizzate come segue (Chen, Pinar, & Stengos, 2020) e sostengono queste quattro tesi divergenti: l'ipotesi feedback (questa ipotesi sostiene l'esistenza di una relazione crescente bilaterale tra l'utilizzo dell'energia rinnovabile e la crescita economica), l'ipotesi di crescita (questo filone supporta una relazione crescente unidirezionale dall'energia rinnovabile alla crescita economica), l'ipotesi conservativa (questa parte della letteratura avanza l'ipotesi di una relazione crescente unidirezionale dalla crescita economica all'utilizzo di energia sostenibile) e l'ipotesi neutrale (questa ipotesi nega una relazione significativa tra l'utilizzo di energia rinnovabile e la crescita economica). In questo elaborato viene anche analizzato uno studio che rileva una relazione negativa tra utilizzo di energia rinnovabile e il tasso di crescita economica. L'ipotesi conservativa è implicitamente inclusa nella sezione dedicata all'ipotesi feedback, in quanto è ampiamente accettato che la crescita economica porti ad un aumento della domanda energetica (Narayan & Doytch, 2017). In base alla metodologia scelta e al campione selezionato tutte le ipotesi sono state verificate empiricamente. Ogni filone ha quindi motivo di credibilità ed è necessaria un'indagine profonda per capire quali fattori del procedimento determinano i diversi risultati ottenuti. Oltre ad essere investigata strettamente la relazione tra energia rinnovabile e crescita altri aspetti sono sottolineati nei paragrafi successivi: vengono ad esempio verificate la capacità di mitigare le emissioni di CO<sub>2</sub> e la possibilità che l'energia alternativa se prodotta a livello locale possa rappresentare un'occasione per ridurre l'importazione energetica

per alcuni paesi. Anche questi elementi, infatti, stabiliscono la convenienza o meno nell'adottare forme di energia alternativa all'interno del mix energetico. Nei successivi paragrafi vengono analizzati alcuni studi che si concentrano su paesi OCSE o paesi europei e arrivano a conclusioni discordi.

## 2.1 **Ipotesi Feedback e ipotesi di crescita in alcuni paesi OCSE**

L'ipotesi feedback come accennato nel paragrafo precedente sostiene l'esistenza di una relazione crescente bidirezionale tra l'energia e la crescita economica. Questo significa che al crescere dell'una corrisponde un aumento dell'altra e viceversa, a differenza dell'ipotesi conservativa. Gli studi empirici analizzati utilizzano campioni di dati che vanno approssimativamente dal 1990 al 2012. In questo elaborato lo studio di Apergis e Payne (2010) è preso come riferimento per questo filone della letteratura per due ragioni: analizza 20 paesi OCSE ed è tra i primi ad utilizzare il modello a radice unitaria panel e il test di cointegrazione fornendo la base ad altri studi successivi che esaminano campioni diversi. Viene utilizzato inoltre il test di causalità di Granger per verificare il verso e l'intensità causale della relazione tra i dati esaminati. La regressione lineare utilizzata è così caratterizzata: Y (PIL) è la variabile dipendente, mentre (K) capitale, (L) lavoro e (RES) energia rinnovabile sono le variabili indipendenti. Questo tipo di regressione è il modello per numerosi studi successivi, i quali eventualmente aggiungono altre variabili per esplorare diversi aspetti della relazione. Per quanto riguarda i risultati trovati, il test di cointegrazione rivela una relazione di lungo periodo tra le variabili e il PIL ed evidenzia coefficienti positivi per tutte le variabili. In particolare, La regressione indica che l'aumento del consumo di energia rinnovabile dell'1% determina un aumento del PIL dell'0,76%. Il test di Granger mostra una relazione bidirezionale statisticamente significativa sia nel breve che nel lungo periodo tra l'utilizzo delle fonti alternative e la crescita economica. Data questa relazione positiva, lo studio mostra come investire sull'energia verde determini un impatto positivo sulla crescita economica e sostiene il beneficio di politiche pubbliche che incentivino l'implementazione di tecnologie per lo sfruttamento di queste risorse. L'altro elemento evidenziato dalla bi-direzionalità della relazione è che il tasso di crescita economica di un paese, la sua struttura industriale e la sua efficienza energetica influenzano quanto l'energia impatti lo sviluppo economico stesso, poiché quando un paese è in crescita necessita di più energia e dispone di maggiori risorse da impiegare per lo sfruttamento delle fonti alternative, come sostenuto dall'ipotesi conservativa.

L'ipotesi di crescita per i paesi OCSE è avanzata dallo studio di Inglesi-Lotz (2016) che indaga la relazione tra energia rinnovabile e crescita economica utilizzando un modello a dati panel potendo così controllare le differenze tra i paesi ed eliminando gli effetti di possibili fattori non osservabili. Questo studio riprende in parte il modello proposto da Apergis e Payne (2010) ma ne allarga il campione, sia dal punto di vista geografico, passa infatti da 20 a 30 paesi considerati, sia dal punto di vista temporale, utilizzando anche dati più recenti. Lo studio conferma quanto affermato nella cointegrazione effettuata da Apergis e Payne (2010): esiste una relazione a lungo termine tra lo sviluppo economico e il consumo di energia rinnovabile. Successivamente è stabilita l'esistenza di una relazione positiva statisticamente significativa tra l'utilizzo di energia alternativa e la crescita economica. La relazione positiva trovata è più intensa rispetto a quella trovata da Apergis e Payne (2010) a causa della presenza della variabile della ricerca e sviluppo (R&D) nel modello come addizionale fattore di produzione e a causa della maggiore ampiezza del campione. A differenza dello studio di Menegaki (2011), questo studio, oltre a confermare l'efficacia delle fonti rinnovabili nel mitigare le esternalità negative, promuove anche l'efficacia degli investimenti sull'energia alternativa dal punto di vista macroeconomico nel lungo periodo. Lo studio ritiene che i policy makers dovrebbero incentivare la produzione di energia rinnovabile per sfruttare questi effetti positivi sulla crescita economica e sull'ambiente.

### **2.1.1 Ipotesi di crescita in Italia**

L'indagine condotta sul ruolo dell'energia rinnovabile in Italia dallo studio di Magnani e Vaona (2013) riprende alcuni elementi dello studio di Apergis e Payne (2010) dal punto di vista metodologico e nella raccolta dei dati. Viene utilizzato il modello a radice unitaria panel e il test di cointegrazione e le variabili analizzate sono le seguenti: PIL come variabile indipendente, capitale, lavoro ed energia rinnovabile generata come variabili dipendenti. Viene anche condotto un test di non-causalità Granger. Il modello però tiene in considerazione le differenze regionali poiché il divario dello sviluppo economico tra le regioni del nord e le regioni del sud può offrire spunti di interesse nell'osservare come l'energia rinnovabile influenzi la crescita in contesti diversi. In particolare, è indagata l'eventuale capacità delle fonti alternative di colmare le differenze regionali. Magnani e Vaona (2013) riportano che in Italia, a seguito di incentivi europei, sono stati fatti investimenti nel tentativo di appianare questo divario e questo presenta l'occasione di osservare come investimenti su questo tipo di energia impattino la crescita economica. L'Italia inoltre importa la maggior parte della propria energia, situazione che la



accomuna con altri paesi che dipendono fortemente dall'importazione di energia. Per questo lo studio focalizza l'attenzione alla produzione di energia rinnovabile, la quale può alleviare la necessità di spesa per l'importazione energetica ed avere effetti positivi sullo sviluppo economico grazie al miglioramento della bilancia commerciale. È stimato quindi un vettore di cointegrazione tra tutte le variabili del modello che considera gli effetti regionali e mostra una relazione positiva tra produzione di energia e crescita economica: un aumento dell'1% dell'energia rinnovabile generata comporta un aumento dello 0.02% di PIL nel lungo periodo, il valore è basso ma rivela del potenziale: è positivo nonostante l'utilizzo di questa energia sia limitato in alcune regioni. Per quanto riguarda il test di non-causalità Granger nel breve periodo è stata trovata relazione positiva maggiore di quella del test di cointegrazione mentre nel lungo periodo non è stata trovata causalità, il motivo secondo lo studio è da imputare ai recenti investimenti nell'energia alternativa i quali effetti si vedranno in futuro.

#### **1.4 Ipotesi neutrale in Europa**

Lo studio di riferimento per questa corrente della letteratura è quello di Menegaki (2011) poiché prende come campione 27 paesi europei e utilizza un metodo differente da quello proposto nel paragrafo 2.1. Questo studio utilizza un modello a effetti casuali che permette di tenere in considerazione le differenze tra le singole unità statistiche, ovvero i paesi. In particolare, il modello tiene conto degli effetti casuali specifici di ciascun paese, consentendo di catturare le peculiarità e le specificità delle diverse realtà nazionali. Un ulteriore elemento di novità inserito nella regressione è la quota di mercato dell'energia rinnovabile, sono infatti presenti due variabili indipendenti, RES e CON, che rappresentano rispettivamente il consumo di energia rinnovabile e il consumo totale di energia. La presenza contemporanea di queste due variabili permette di indagare se l'effetto sul PIL varia al crescere della quota di mercato occupata dall'energia rinnovabile, infatti RES è espressa in percentuale. Lo studio indica che tra la crescita economica e l'utilizzo di energia rinnovabile non esiste una relazione significativa. In questo modello, infatti, non è stata rilevata una relazione di causalità Granger e ciò implica che l'energia alternativa abbia un ruolo marginale nello sviluppo economico. Per quanto riguarda invece le fonti tradizionali è stata trovata una causalità Granger, l'aumento di emissioni di gas serra ha un impatto positivo sulla crescita economica maggiore rispetto al consumo di energia rinnovabile. Le cause di questo secondo lo studio sono la recente introduzione di queste tecnologie e la ridotta diffusione sul mercato delle energie rinnovabili. Menegaki (2011)

afferma che l'Europa necessita di investimenti pubblici per sviluppare il mercato delle energie rinnovabili e di norme che incentivino maggiormente gli investimenti in energia rinnovabile per limitarne i costi iniziali. Nonostante sia evidenziata una relazione di neutralità, è mostrato che mitigare le esternalità negative delle fonti fossili è possibile grazie alle fonti alternative: al crescere della variabile RES le emissioni di gas serra diminuiscono.

### **2.3 La relazione tra fonti energetiche e crescita economica e l'ipotesi negativa**

Nell'indagare la relazione tra l'energia rinnovabile e la crescita economica Marques e Fuinhas (2012) utilizzano un differente approccio rispetto alla letteratura citata finora. Viene innanzitutto effettuata una riflessione sul motivo per cui la letteratura precedente allo studio risulti discorde, lo studio, oltre a identificare la causa nella differenza nel campionamento, discute la scelta degli studi precedenti di omettere l'impatto delle altre fonti energetiche sulla crescita. L'assenza di queste variabili nel modello potrebbe comportare ad arrivare a conclusioni errate sul rapporto di causalità tra l'energia rinnovabile e quella alternativa poiché l'effetto sul PIL delle fonti tradizionali non è misurato. Marques e Fuinhas (2012) procedono quindi con un modello che indaga l'impatto delle diverse fonti energetiche sulla crescita per cercare quali abbiano una relazione positiva e quali negativa. A differenza delle fonti fossili di energia, l'energia rinnovabile risulta avere una relazione negativa statisticamente significativa con la crescita economica. L'aumento dell'1% della quota di energia rinnovabile utilizzata nel mix energetico determina un calo del 3% del tasso di crescita del PIL. La dipendenza dal petrolio come fonte energetica primaria e il suo ampio utilizzo in molti paesi, lo rendono il maggior contribuente alla crescita economica. Lo studio, tuttavia, in modo simile a Menegaki (2011), afferma che le fonti alternative hanno la capacità di moderare le emissioni di CO<sub>2</sub>, nella regressione infatti la crescita del consumo di energia alternativa determina una riduzione di emissione di gas serra. La produzione di energia rinnovabile può essere decisiva dal punto di vista macroeconomico per alcuni paesi nel ridurre la dipendenza dalle importazioni energetiche, la produzione di energia alternativa da fonti locali può diminuire la spesa per l'importazione d'energia, migliorare quindi la bilancia commerciale e favorire la crescita come sottolineato anche da Magnani e Vaona (2013). Nonostante questi elementi positivi, lo studio si concentra sul costo opportunità nell'implementare queste nuove fonti energetiche e riscontra che queste caratteristiche positive trovate non siano sufficienti ad arginare quelli negativi. I costi per l'implementazione di nuove tecnologie per lo sfruttamento di questa energia sono troppo alti e la produttività energetica non è abbastanza elevata per sopperire a ciò. Le fonti tradizionali di

energia sono meno costose, non necessitano di costi per un processo di transizione per essere sfruttate e per questi motivi hanno un impatto positivo maggiore sulla crescita economica.

### **Capitolo 3: Quantità di energia rinnovabile utilizzata e crescita economica: Il modello a soglia**

Nel precedente capitolo sono state presentate diverse indagini empiriche che esplorano la connessione tra il consumo di energia rinnovabile e la crescita economica su differenti campioni di paesi; tuttavia, le conclusioni discordi a cui giungono le ricerche lasciano spazio ad ulteriori investigazioni riguardo quale sia la relazione tra la crescita economica e l'utilizzo di energia alternativa. Lo studio condotto da Chen, Pinar e Stengos (2020) effettua una revisione della letteratura che si occupa di esaminare tale relazione per poi analizzare le ragioni per cui i risultati degli studi riguardo questa connessione sono contrastanti. L'obiettivo è indagare il motivo per cui ci sono filoni di letteratura che sostengono tesi opposte proponendo un metodo differente da quelli utilizzati nelle precedenti ricerche. Gli autori per investigare la relazione utilizzano dunque un modello a soglia panel, il quale consente di esaminare come l'effetto del consumo di energia alternativa sulla crescita economica possa variare a seconda della quantità di energia pulita consumata. Riprendendo quanto visto nel capitolo uno, lo studio prevede che nei paesi in cui vengono utilizzati livelli relativamente più bassi di energia rinnovabile il costo relativo dell'utilizzo dell'energia sostenibile rispetto ai combustibili fossili potrebbe essere maggiore e quindi il consumo di energia alternativa o la crescita del consumo di energia rinnovabile potrebbero non avere un effetto significativo, o addirittura un effetto negativo, sullo sviluppo economico di questi paesi (Schilling & Esmundo, 2009). Al contrario per i paesi con un consumo di energia pulita relativamente più alto il costo per l'utilizzo di questa è relativamente minore rispetto al costo dell'energia tradizionale. Per testare questa supposizione nel modello proposto dallo studio è utilizzato come soglia il livello di energia rinnovabile consumata verificando se gli effetti sulla crescita economica variano al di sopra e al di sotto di essa. Questo approccio può fornire una spiegazione alla divergenza dei risultati quando si considerano diversi gruppi di paesi nell'analisi poiché la quantità di energia sostenibile consumata nei paesi in esame potrebbe determinare la natura e l'entità degli effetti sulla crescita economica rilevati. In sostanza Chen, Pinar e Stengos (2020) utilizzano un modello che permette di indagare un'eventuale relazione non lineare tra il consumo di energia pulita e lo sviluppo economico. Al contrario, gli studi analizzati nel capitolo due sfruttavano modelli lineari. Le osservazioni in questa ricerca vengono effettuate prendendo in esame due

sottogruppi all'interno del campione: i paesi OCSE e i paesi non-OSCE ed i risultati vengono confrontati sia tra questi due insiemi sia con il campione intero. Successivamente, per dare robustezza all'analisi, gli autori variano i campioni esaminati. I seguenti paragrafi riassumono la ricerca di Chen, Pinar e Stengos (2020), sottolineando le differenze di metodo con gli studi del capitolo due e giustificando le loro conclusioni discordi grazie ai risultati ottenuti con il modello a soglia non lineare.

### 3.1 Dati e variabili

Le variabili inserite nel modello di Chen, Pinar e Stengos (2020) sono: il PIL (GDP), il consumo di energia rinnovabile (REC), il consumo di energia tradizionale (NREC), il lavoro (L) e il capitale (K). Il livello di consumo di energia alternativa (REC) è la variabile di soglia adottata, usata per verificare i potenziali diversi effetti al di sopra e al di sotto di essa. Le variabili utilizzate in questa ricerca sono simili a quelle di alcuni studi esaminati del capitolo due (Apergis & Payne, 2010) (Inglese-Lotz, 2016) così da poter comparare i risultati a quelli ottenuti studiando relazioni lineari. La tabella uno riporta le correlazioni tra le variabili ed è evidenziato come nel modello tutte le variabili sono positivamente correlate con la produzione aggregata. Una relazione significativa per l'indagine dello studio è quella tra il consumo di energia rinnovabile e il consumo di energia tradizionale: le due variabili sono negativamente correlate nei paesi OSCE sottolineando che una può sostituire l'altra a livello aggregato.

Correlation matrix for different groups of countries.

All Countries					
Variables	Ln(GDP)	Ln(Capital)	Ln(Labour)	Ln(REC)	Ln(NREC)
Ln(GDP)	1.0000*** (0.0000)				
Ln(Capital)	0.9871*** (0.0000)	1.0000*** (0.0000)			
Ln(Labour)	0.7315*** (0.0000)	0.7053*** (0.0000)	1.0000*** (0.0000)		
Ln(REC)	0.7456*** (0.0000)	0.7241*** (0.0000)	0.7860*** (0.0000)	1.0000*** (0.0000)	
Ln(NREC)	0.5683*** (0.0000)	0.5869*** (0.0000)	0.0919*** (0.0000)	0.2054*** (0.0000)	1.0000*** (0.0000)
OECD Countries					
Variables	Ln(GDP)	Ln(Capital)	Ln(Labour)	Ln(REC)	Ln(NREC)
Ln(GDP)	1.0000*** (0.0000)				
Ln(Capital)	0.9924*** (0.0000)	1.0000*** (0.0000)			
Ln(Labour)	0.9215*** (0.0000)	0.9231*** (0.0000)	1.0000*** (0.0000)		
Ln(REC)	0.6885*** (0.0000)	0.6800*** (0.0000)	0.6843*** (0.0000)	1.0000*** (0.0000)	
Ln(NREC)	0.2831*** (0.0000)	0.2843*** (0.0000)	0.3013*** (0.0000)	-0.3577*** (0.0000)	1.0000*** (0.0000)
Non-OECD Countries					
Variables	Ln(GDP)	Ln(Capital)	Ln(Labour)	Ln(REC)	Ln(NREC)
Ln(GDP)	1.0000*** (0.0000)				
Ln(Capital)	0.9766*** (0.0000)	1.0000*** (0.0000)			
Ln(Labour)	0.7827*** (0.0000)	0.7372*** (0.0000)	1.0000*** (0.0000)		
Ln(REC)	0.6908*** (0.0000)	0.6558*** (0.0000)	0.8121*** (0.0000)	1.0000*** (0.0000)	
Ln(NREC)	0.4802*** (0.0000)	0.5064*** (0.0000)	0.0031 (0.8913)	0.0853*** (0.0001)	1.0000*** (0.0000)

Tabella 1: Matrice di correlazione per le variabili all'interno di diversi gruppi di paesi.  $\ln(\text{GDP})$ ,  $\ln(\text{Labour})$ ,  $\ln(\text{Capital})$ ,  $\ln(\text{REC})$  e  $\ln(\text{NREC})$  sono i logaritmi rispettivamente di PIL aggregato, K, L, REC e NREC. \*\*\* significativamente diverso da zero al livello dell'1%.

I dati utilizzati coprono il periodo dal 1990 al 2015 per un campione di 103 paesi e sono stati acquisiti dall'Agenzia Internazionale dell'Energia e dagli Indicatori di Sviluppo Mondiale della Banca Mondiale. Come riportato nel capitolo uno i dati mostrano che lo sfruttamento di energia pulita è aumentato sia nei paesi appartenenti all'OSCE che in quelli non appartenenti all'OSCE. Tuttavia, la percentuale di energia alternativa utilizzata è in crescita nei paesi OSCE, mentre è in diminuzione nei paesi non-OSCE. La figura quattro illustra l'andamento nel tempo della quota di mercato dell'energia rinnovabile per i diversi sottogruppi di paesi.

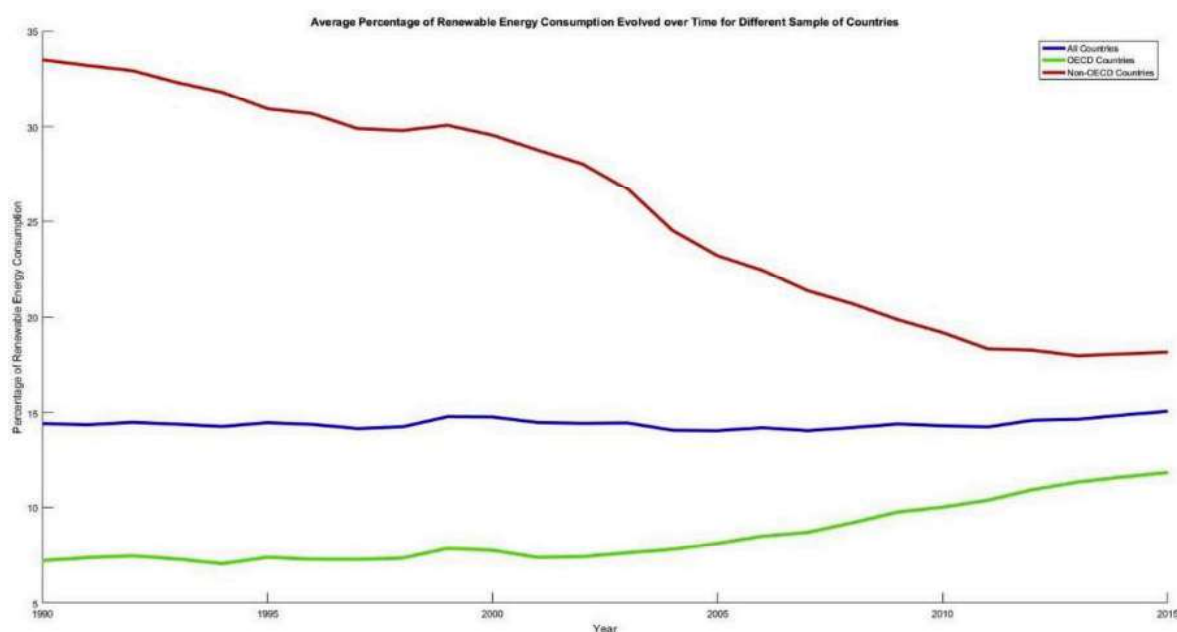


Figura 4: Consumo di energia alternativa espresso come percentuale del totale del consumo energetico nei diversi gruppi di paesi

Nel prossimo paragrafo, viene esaminato l'effetto dell'aumento dell'utilizzo totale del consumo di energia rinnovabile sulla crescita economica sia per i paesi OSCE che per i paesi non-OCSE e viene verificata l'eventuale presenza di una relazione non lineare tra le variabili di input e lo sviluppo economico.

### 3.2 Modello lineare e modello a soglia a confronto

L'analisi empirica nello studio di Chen, Pinar e Stengos (2020) per indagare la relazione di lungo periodo tra le variabili è condotta utilizzando metodi di cointegrazione panel di seconda

generazione, GMM<sup>3</sup> lineare e metodi di stima di soglia. Inizialmente, è esaminata la possibile presenza di dipendenza trasversale nei dati al fine di poter utilizzare eventuali test di radice unitaria panel e di cointegrazione che tengano conto di questa dipendenza. Questa prima verifica differenzia lo studio di Chen, Pinar e Stengos (2020) dalla letteratura antecedente, nella quale era assunta indipendenza trasversale. È comune, infatti, che a livello di dati macroeconomici l'assunzione venga violata, il che significa che i dati di diversi paesi possono essere correlati tra loro, conducendo a stime distorte e incapaci di rilevare un effetto significativo. La tabella due mostra i risultati del test di Pesaran (2004) condotto per verificare l'eventuale presenza di dipendenza trasversale.

The cross-section dependence test results.

	All		OECD		Non-OECD	
	Statistic	P-value	Statistic	P-value	Statistic	P-value
Ln(GDP)	332.65***	0.000	244.49***	0.000	90.758***	0.000
Ln(K)	220.65***	0.000	174.43***	0.000	52.358***	0.000
Ln(L)	315.11***	0.000	234.74***	0.000	78.877***	0.000
Ln(REC)	183.14***	0.000	119.13***	0.000	66.546***	0.000
Ln(NREC)	28.847***	0.000	67.186***	0.000	31.145***	0.000

*Tabella 2: Risultati del test di dipendenza trasversale di Pesaran (2004). Sotto l'ipotesi nulla di indipendenza trasversale, la statistica è distribuita come una normale standard a due code. \*\*\* significativamente diverso da zero al livello dell'1%, \*\*, significativamente diverso da zero al livello del 5%, \*, significativamente diverso da zero al livello del 10%.*

Sulla base di questi valori lo studio respinge l'ipotesi nulla di indipendenza trasversale tra i dati per tutte le variabili in tutti i campioni selezionati ed indica la presenza di una dipendenza tra le variabili considerate per tutti i campioni di paesi esaminati, rendendo necessario l'utilizzo di un test di radice unitaria panel e di un test di cointegrazione adatti che permettano di ottenere risultati robusti e coerenti con l'obiettivo dell'analisi empirica condotta nello studio.

Il test delle radici unitarie CIPS<sup>4</sup> (Pesaran, 2007) riporta che le variabili sono stazionarie nelle differenze prime che sono misurate tra i valori successivi nelle serie temporali. Dato che è stata verificata dipendenza tra le variabili i test di cointegrazione di Pedroni (1999) (2004) usati ad esempio nello studio di Apergis e Payne (2010) sono invalidi. Lo studio, dunque, procede effettuando il test di cointegrazione proposto da Westerlund (2007) per verificare la presenza di

<sup>3</sup> "Generalized Method of Moments": è un metodo di stima econometrico utilizzato per ottenere stime consistenti ed efficienti dei parametri di un modello lineare.

<sup>4</sup> "Cross-sectionally Augmented IPS". È un test utilizzato per verificare la stazionarietà di una serie temporale, è una versione migliorata del test IPS (Im, Pesaran, Shin) che tiene conto della possibile dipendenza trasversale dei dati.

una relazione di lungo periodo tra le variabili. Questo test consente e riconosce l'eterogeneità tra le variabili ed è sviluppato per gestire dati con dipendenza trasversale. L'analisi conferma l'esistenza di una relazione di lungo periodo tra le variabili considerate nel modello.

Una volta accertata la presenza di una relazione di cointegrazione di lungo periodo Chen, Pinar e Stengos (2020) passano al punto centrale dello studio: investigare sia la relazione lineare che quella non lineare tra le variabili nei diversi campioni. La ricerca analizza inizialmente la dipendenza lineare, la tabella tre riporta le stime lineari ottenute con il metodo FD-GMM<sup>5</sup> per tre gruppi di paesi: l'intero campione, i paesi OSCE e i paesi non-OSCE. Le variabili da osservare per le finalità dello studio sono la crescita del consumo di energia rinnovabile e l'utilizzo di energia alternativa con un ritardo di lunghezza uno.

Linear dynamic panel error correction regression results.

Variables	All	OECD	Non-OECD
$\Delta \text{Ln}Y_{it-1}$	0.0744 (0.1867)	-0.0961 (0.1099)	0.1316* (0.0591)
$\Delta \text{Ln}K_{it}$	0.2323*** (0.0000)	0.3401*** (0.0000)	0.1457*** (0.0000)
$\Delta \text{Ln}L_{it}$	0.5796** (0.0438)	0.6084*** (0.0000)	-0.2415 (0.4278)
$\Delta \text{Ln}REC_{it}$	0.0114 (0.5426)	0.0364*** (0.0055)	0.0012 (0.9411)
$\Delta \text{Ln}NREC_{it}$	0.0275 (0.4898)	0.1201* (0.0907)	0.0588* (0.0802)
$\text{Ln}Y_{it-1}$	-0.7993*** (0.0000)	-0.6828*** (0.0000)	-0.6058*** (0.0000)
$\text{Ln}K_{it-1}$	0.1871*** (0.0000)	0.2307*** (0.0000)	0.1762*** (0.0000)
$\text{Ln}L_{it-1}$	1.0806*** (0.0000)	0.7783*** (0.0000)	0.5975*** (0.0000)
$\text{Ln}REC_{it-1}$	0.0091 (0.7407)	0.0452*** (0.0028)	0.0465* (0.0890)
$\text{Ln}NREC_{it-1}$	0.0101 (0.8121)	0.1468 (0.1468)	0.0494 (0.2041)
Observations	2060	540	1520

*Tabella 3: La tabella riporta le stime lineari ottenute utilizzando il metodo FD-GMM. La lunghezza del ritardo è di uno. I valori del P-value sono riportati tra parentesi. \*\*\* significativamente diverso da zero al livello dell'1%, \*\*, significativamente diverso da zero al livello del 5%, \*, significativamente diverso da zero al livello del 10%.*

La regressione evidenzia che l'aumento del consumo di energia rinnovabile ha un impatto significativo e positivo sulla crescita economica per i paesi OSCE significativo all'1%, in modo simile allo studio di Inglesi-Lotz (2016), mentre la relazione tra le due variabili non è statisticamente significativa se preso in esame l'intero campione o solamente i paesi non-OSCE.

<sup>5</sup> Il metodo FD-GMM (Fixed Effects Generalized Method of Moments) è una tecnica utilizzata nell'econometria per stimare i parametri di modelli che incorporano effetti fissi o effetti specifici delle unità di analisi. Questo metodo è adatto quando si affrontano dati panel, che comprendono osservazioni ripetute nel tempo per diverse unità individuali.

Dopo aver accertato questo con il modello lineare lo studio si concentra sull'indagare la possibilità che l'impatto sulla crescita economica dell'energia alternativa dipenda dalla quantità di energia rinnovabile utilizzata. Per verificare questa eventualità è testata la presenza di una relazione non lineare utilizzando il livello di consumo di energia sostenibile come variabile soglia. Il modello seguente è il nocciolo della ricerca poiché permette di verificare come la quantità di energia rinnovabile consumata incida sulla significatività e sulla direzione della relazione tra il consumo di energia sostenibile e lo sviluppo economico. Questo tipo di indagine va oltre alle analisi condotta con solamente il modello lineare poiché misurando anche gli effetti non-lineari mira ad integrare i risultati discordi del capitolo due tramite il confronto dei risultati delle stime utilizzando i diversi metodi. Dunque, utilizzando il modello a soglia, per l'intero campione e i paesi non-OSCE è rifiutata l'ipotesi nulla di una relazione lineare, che invece viene confermata solamente per i paesi OSCE. I risultati per questo gruppo di paesi avvalorano la relazione lineare positiva osservata da Apergis e Payne (2010) e Inglesi-Lotz (2016), la quantità di energia rinnovabile utilizzata quindi non determina l'entità dell'effetto sulla crescita economica per i paesi OSCE. Al contrario è identificata una soglia di consumo di energia rinnovabile significativa considerando tutti i paesi del campione e i paesi non-OSCE ed i risultati mostrano che il consumo di energia rinnovabile influisce positivamente in modo significativo sulla crescita solo e solo se l'uso di questa energia supera il livello critico. La soglia è espressa con il logaritmo naturale di REC e misura 9.5058 per l'intero campione e 9.5926 per i paesi non-OSCE. Per le nazioni che non superano questo limite di consumo energetico gli effetti dell'aumento di utilizzo di energia sostenibile sulla crescita economica sono statisticamente non significativi, in modo simile a quello che ha evidenziato la relazione lineare per l'intero campione e per i paesi non-OSCE. La tabella quattro riporta le stime per l'intero campione e per i paesi non-OSCE. I risultati per i paesi OSCE non sono riportati in quanto per questo campione l'ipotesi nulla di linearità non è stata rifiutata.



Non-linear Dynamic Panel Error Correction Regression Results when REC is used as a threshold variable.				
Countries	All		Non-OECD	
Threshold	9.5058***		9.5926***	
	Low	High	Low	High
$\Delta \ln Y_{it-1}$	0.1561* (0.0970)	-0.0569 (0.6623)	0.1143 (0.3212)	-0.0349 (0.8642)
$\Delta \ln K_{it}$	0.1382*** (0.0004)	0.2503*** (0.0000)	0.0604 (0.1278)	0.1922*** (0.0001)
$\Delta \ln L_{it}$	1.0107 (0.1518)	0.5169 (0.3188)	1.7972** (0.0059)	-0.7692 (0.2627)
$\Delta \ln REC_{it}$	-0.0457 (0.1147)	0.1508** (0.0139)	-0.0236 (0.3243)	0.3133** (0.0024)
$\Delta \ln NREC_{it}$	-0.0307 (0.6303)	0.0868 (0.4960)	0.0580 (0.3518)	-0.1322 (0.3873)
$\ln Y_{it-1}$	-0.7404*** (0.0000)	-0.6600*** (0.0000)	-0.7228*** (0.0000)	-0.5300*** (0.0001)
$\ln K_{it-1}$	0.2025*** (0.0000)	0.1215** (0.0171)	0.1871*** (0.0004)	0.0927 (0.1633)
$\ln L_{it-1}$	0.8402*** (0.0000)	0.8614*** (0.0000)	0.7117** (0.0013)	0.6011*** (0.0056)
$\ln REC_{it-1}$	-0.0437 (0.2823)	0.0970* (0.0517)	0.0546 (0.1685)	0.2208** (0.0301)
$\ln NREC_{it-1}$	0.0432 (0.4581)	0.1059 (0.1106)	0.0477 (0.4810)	0.06#26 (0.4808)
SupWald P value	0.0000		0.0000	
SupWald Statistic	60.16		43.45	
Observations	2060		1520	

Tabella 4 Questa tabella fornisce le stime del modello non lineare utilizzando il metodo FD-GMM. La lunghezza del ritardo è di uno. I valori del p-value sono forniti tra parentesi. Il valore di soglia che risulta significativo viene riportato come "threshold" nell'analisi campionaria corrispondente. \*\*\* significativamente diverso da zero al livello dell'1%, \*\* significativamente diverso da zero al livello del 5%, \* significativamente diverso da zero al livello del 10%.

I risultati ottenuti per i paesi al di sotto della soglia evidenziano che gli studi a supporto dell'ipotesi neutrale, come quello di Menegaki (2011), potrebbero essere arrivati a tale conclusione a causa dei metodi di stima lineare. Se il consumo di energia pulita dei paesi inclusi nei modelli avesse superato la soglia, la relazione trovata sarebbe stata positiva e significativa. Di conseguenza, l'omissione dei potenziali effetti non-lineari può rendere le stime ottenute da Menegaki (2011) fuorvianti, in quanto, come precedentemente evidenziato, i coefficienti ottenuti con metodi di stima lineare per i paesi non-OCSE e per l'intero campione non sono significativi.

Lo studio conduce poi un'ulteriore analisi di robustezza variando i campioni utilizzati. L'intero campione in precedenza era diviso in paesi OCSE e non-OCSE mentre ora vengono individuati due gruppi distinti per livello di sviluppo economico, un gruppo caratterizzato da alto sviluppo e un gruppo caratterizzato da basso sviluppo. Su questi due campioni individuati viene seguito lo stesso percorso analitico descritto precedentemente. Per entrambi i macrogruppi viene

rifiutata l'ipotesi nulla di indipendenza trasversale tra le variabili e viene confermata una relazione di cointegrazione nel lungo periodo tra i parametri considerati. Vengono poi effettuate le stime per il modello lineare e per il modello a soglia. Per i paesi ad alto sviluppo economico sia con il modello lineare che con quello a soglia vengono ottenuti risultati in linea con lo studio di Menegaki (2011): l'aumento del consumo dell'energia rinnovabile non influenza in modo statisticamente significativo la crescita economica. Per quanto riguarda invece i paesi in via di sviluppo nel modello a soglia è trovata una relazione negativa significativa in linea con quella evidenziata da Marques e Fuinhas (2012) per i paesi che consumano sotto il livello di soglia individuato. Al contrario la relazione è positiva e significativa al di sopra di essa. Le tabelle cinque e sei riportano le stime rispettivamente del modello lineare e del modello a soglia.

Linear Dynamic Panel Error Correction Regression Results with developed and developing countries.

Variables	Developed	Developing
$\Delta \ln Y_{it-1}$	-0.0126 (0.7636)	0.0370 (0.5912)
$\Delta \ln K_{it}$	0.2025*** (0.0000)	0.1379*** (0.0000)
$\Delta \ln L_{it}$	0.4289** (0.0316)	-0.4098 (0.2078)
$\Delta \ln REC_{it}$	-0.0006 (0.9519)	0.0205 (0.3583)
$\Delta \ln NREC_{it}$	-0.0146 (0.8516)	0.0583* (0.0840)
$\ln Y_{it-1}$	-0.7034*** (0.0000)	-0.5255*** (0.0000)
$\ln K_{it-1}$	0.1444*** (0.0000)	0.1374*** (0.0005)
$\ln L_{it-1}$	1.0731*** (0.0000)	0.5254*** (0.0000)
$\ln REC_{it-1}$	0.0071 (0.6743)	0.0901** (0.0171)
$\ln NREC_{it-1}$	0.1643 (0.1464)	0.0168 (0.6686)
Observations	580	1480

Tabella 5: Questa tabella fornisce le stime del modello lineare per i due sottogruppi distinti per livello di sviluppo economico utilizzando il metodo FD-GMM. La lunghezza del ritardo è di uno. I valori del p-value sono forniti tra parentesi. \*\*\* significativamente diverso da zero al livello dell'1%, \*\*, significativamente diverso da zero al livello del 5%, \*, significativamente diverso da zero al livello del 10%.

Non-linear Dynamic Panel Error Correction Regression Results for developed and developing country samples when REC is used as a threshold variable.

Countries	Developed		Developing	
	Threshold		Threshold	
	Low	High	Low	High
$\Delta \ln Y_{it-1}$	0.0412 (0.6263)	-0.4144*** (0.0008)	-0.0954 (0.3889)	-0.2543* (0.0705)
$\Delta \ln K_{it}$	0.1259*** (0.0000)	0.4231*** (0.0000)	0.0279 (0.5128)	0.1801*** (0.0000)
$\Delta \ln L_{it}$	0.5363 (0.1061)	0.3783 (0.3000)	0.4379 (0.3920)	-0.3465 (0.5970)
$\Delta \ln REC_{it}$	-0.0218 (0.1160)	-0.0547 (0.2345)	-0.0537* (0.0849)	0.2122*** (0.0086)
$\Delta \ln NREC_{it}$	-0.2168** (0.0414)	-0.0077 (0.9572)	0.0267 (0.6235)	0.0776 (0.5232)
$\ln Y_{it-1}$	-0.6926*** (0.0000)	-0.4101*** (0.0003)	-0.4650*** (0.0000)	-0.4434*** (0.0000)
$\ln K_{it-1}$	0.0776*** (0.0023)	0.1170** (0.0197)	0.1436*** (0.0058)	0.1204** (0.0442)
$\ln L_{it-1}$	0.7907*** (0.0000)	0.5125*** (0.0036)	0.4216*** (0.0046)	0.3808** (0.0105)
$\ln REC_{it-1}$	0.0115 (0.6237)	-0.0042 (0.8741)	0.0819 (0.1553)	0.1097 (0.1931)
$\ln NREC_{it-1}$	0.3049* (0.0815)	-0.1032 (0.4867)	-0.0012 (0.9837)	0.0724 (0.3587)
SupWald P value	0.0302		0.0050	
SupWald Statistic	31.6888		55.8608	
Observations	580		1480	

Tabella 6: La tabella riporta le stime del modello di soglia per i due sottogruppi di paesi utilizzati nell'analisi di robustezza. La lunghezza del ritardo è di uno. I valori del p-value sono forniti tra parentesi. \*\*\* significativamente diverso da zero al livello dell'1%, \*\*, significativamente diverso da zero al livello del 5%, \*, significativamente diverso da zero al livello del 10%.

Questa analisi provvede una spiegazione alla discordanza degli studi sulla natura di questa relazione per questo gruppo di paesi: se il consumo è sotto la soglia i costi d'investimento e la capacità limitata dell'energia rinnovabile ostacolano la crescita economica mentre al di sopra della soglia il costo relativo cala influenzando positivamente lo sviluppo economico. La quantità di energia rinnovabile utilizzata è quindi una variabile significativa per determinare l'effetto del consumo di energia alternativa sulla crescita economica.

Come evidenziato, i modelli lineari mostrano una relazione statisticamente significativa e positiva tra l'energia rinnovabile e la crescita economica solo nei paesi dell'OCSE. Questo suggerisce che l'aumento del consumo di energia sostenibile non ha un effetto significativo sullo sviluppo economico per i paesi non-OCSE ed in via di sviluppo. Dunque, se i responsabili delle politiche pubbliche basassero le loro decisioni solamente sulle stime del modello lineare, concluderebbero che l'aumento del consumo di energia rinnovabile è associato positivamente e significativamente alla crescita economica solamente nei paesi dell'OCSE e che quindi gli investimenti in energia alternativa convengano solo per questo specifico gruppo di paesi.

Tuttavia, il modello a soglia presentato in questo capitolo rivela un quadro diverso. Viene mostrato come i paesi non-OCSE ed in via di sviluppo possano trarre significativi benefici investendo nelle fonti di energia rinnovabile, a condizione che l'uso di energia alternativa superi una soglia specifica. Se il livello di utilizzo di energia rinnovabile in questi paesi fosse relativamente basso avrebbe un effetto negativo sulla crescita economica mentre se il consumo totale superasse la soglia identificata, l'effetto sullo sviluppo economico cambierebbe direzione e i risultati positivi a lungo termine potrebbero compensare i costi degli investimenti necessari per superare la soglia. Di conseguenza, questi risultati incoraggiano gli investimenti e le politiche pubbliche a favore dell'energia rinnovabile per i paesi dell'OCSE nella maggior parte dei casi, mentre per i paesi non-OCSE è fondamentale raggiungere e superare un livello di consumo sufficiente per beneficiare degli effetti positivi a lungo termine. Il ruolo dei responsabili delle politiche pubbliche nel promuovere il consumo di energia rinnovabile viene esaminato in dettaglio nel capitolo quattro.

#### **Capitolo 4: Policy makers ed il loro ruolo per incentivare l'utilizzo di energia rinnovabile**

Nei precedenti capitoli è stata analizzata la relazione tra il consumo di energia rinnovabile e la crescita economica ed altri aspetti influenzati dalla transizione energetica con la finalità di approfondire il ruolo che l'energia sostenibile avrà sia all'interno del mix energetico sia in relazione allo sviluppo economico. Il ruolo dell'uso crescente di energia pulita è stato studiato nei capitoli due e tre; Innanzitutto, le fonti alternative hanno dimostrato la capacità a livello aggregato di potersi sostituire alle fonti tradizionali di energia per i paesi OSCE (Chen, Pinar, & Stengos, 2020). Successivamente, è stata verificata una delle qualità fondamentali per soddisfare le esigenze globali di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> (Sixth Assessment Report, 2021): più ricerche empiriche evidenziano una correlazione negativa tra il consumo di energia rinnovabile e le emissioni di carbonio (Menegaki, 2011) (Ingesi-Lotz, 2016) (Marques & Fuinhas, 2012). Oltre alla diminuzione delle esternalità negative, è riportato come per alcuni paesi grazie alla produzione locale di energia alternativa sia possibile aumentare la propria autonomia energetica e ottenere maggiore stabilità dei prezzi energetici influenzando positivamente lo sviluppo economico (Magnani & Vaona, 2013). Tuttavia, per quanto riguarda strettamente lo sviluppo economico, nei capitoli precedenti è stata sottolineata l'importanza del ruolo della società e degli investimenti da fare se si desidera che l'effetto del consumo di energia rinnovabile sia positivamente correlato con la crescita economica nel medio-lungo periodo. Nel

capitolo uno è stata evidenziata l'importanza della preferenza temporale (Thanh Le, 2018) e il ruolo della produttività dell'energia: L'investimento nelle fonti rinnovabili offre vantaggi a lungo termine, e se la produttività sarà adeguatamente elevata, avrà un impatto positivo sullo sviluppo economico (Barreto, 2018). Allo stesso modo la quantità di risorse impiegate per l'aumento della produttività dell'energia incide sulla transizione energetica: maggiore l'esborso destinato alla ricerca e lo sviluppo maggiore il tasso di crescita della produttività dell'energia rinnovabile (Schilling & Esmundo, 2009). È evidente che per trarre vantaggi dagli investimenti in fonti alternative di energia, le decisioni prese dai governatori devono essere orientate al lungo termine e devono essere in grado di sostenere le imprese che affrontano notevoli costi iniziali (Meckling & al., 2022). Inoltre, nel terzo capitolo, sfruttando il modello a soglia, è stata sottolineata l'importanza della quantità di energia rinnovabile consumata e come al fine di ottenere investimenti che abbiano effetti positivi sullo sviluppo economico l'obiettivo debba essere superare una certa soglia di utilizzo, soprattutto in determinati paesi (Chen, Pinar, & Stengos, 2020). Sono necessarie, dunque, politiche specifiche che non solo limitino i costi iniziali ma anche che promuovano sia la produttività energetica che l'aumento della quota occupata dalle fonti alternative di energia nel mix energetico.

I problemi climatici tipicamente necessitano di interventi governativi per affrontare i fallimenti di mercato che si ripercuotono sull'ambiente. Nel capitolo uno sono citati alcuni accordi internazionali come il protocollo di Kyoto (1997) o l'accordo di Parigi (2015); tuttavia, le politiche nazionali rimangono ancora lo strumento più efficace per contrastare il cambiamento climatico e moderare il riscaldamento globale (Nicolli & Vona, 2019). A differenza di altre politiche per l'ambiente, quelle che promuovono l'utilizzo di energia rinnovabile influenzano numerosi altri aspetti oltre all'abbattimento delle emissioni, come ad esempio lo sviluppo tecnologico e la produttività energetica (Nicolli & Vona, 2019). Gli strumenti utilizzabili dai governi sono numerosi e sono solitamente più efficaci se combinati tra loro in un mix bilanciato (Nicolli & Vona, 2019). Le politiche pubbliche per l'energia rinnovabile includono diverse misure, con strumenti specifici in base all'obiettivo dell'intervento da effettuare ed i governi nazionali svolgono un ruolo chiave nell'attenuare gli oneri iniziali al fine di promuovere gli investimenti nelle fonti di energia alternative (Meckling & al., 2022). I successivi paragrafi ricapitolano gli strumenti più utili nello stimolare l'utilizzo dell'energia alternativa e quali siano le politiche pubbliche più efficaci per i diversi obiettivi identificati nelle sezioni precedenti

#### **4.1 Interventi per il contenimento dei costi e agevolazioni fiscali**

I governatori possono utilizzare strumenti finanziari o fiscali per ridurre l'impatto dei costi iniziali derivanti dall'adozione di tecnologie sostenibili. Conforme a quanto riportato nel capitolo due i costi iniziali per la transizione verso l'energia rinnovabile rappresentano uno dei maggiori ostacoli per la crescita economica nel breve periodo (Marques & Fuinhas, 2012), cercare di limitarli può quindi ridurre il tempo in cui gli effetti positivi sulla crescita economica potrebbero superare i costi di transizione. L'adozione di strumenti finanziari, come sussidi e incentivi per i progetti di energia rinnovabile, consente di ridurre i costi e migliorare la stabilità finanziaria. In alternativa, i governatori potrebbero intervenire fiscalmente e limitare le tasse sugli investimenti per l'adozione di energia sostenibile. Il sostegno fiscale può essere garantito in due modalità: tramite incentivi fiscali positivi per promuovere gli investimenti nell'energia sostenibile e come parte di iniziative fiscali ambientali più ampie che penalizzano l'impiego di combustibili fossili. Entrambi i tipi di misure sono sempre più utilizzati con il fine di rendere le energie rinnovabili competitive rispetto alle fonti di energia convenzionali (Abdmouleh, A.M. Alammari, & Gastli, 2015). Alcune imposte, dette tasse ambientali, possono essere applicate alle imprese proporzionalmente alle emissioni di CO<sub>2</sub>. Per un sostegno fiscale efficace, è indispensabile una politica fiscale strutturata con un meccanismo di applicazione rigoroso e un sistema di amministrazione efficiente. Questi elementi non solo favoriscono l'efficienza degli incentivi, ma contribuiscono anche ad affrontare le problematiche legate ai pagamenti delle imposte e a scoraggiare pratiche scorrette (Abdmouleh, A.M. Alammari, & Gastli, 2015). Come ulteriore alternativa per ridurre il costo del capitale nello sviluppo energetico, le autorità potrebbero considerare l'implementazione di tassi di interesse ridotti sui prestiti fornendo finanziamenti agevolati per questo tipo di progetti. Un altro meccanismo che svolge un ruolo significativo in questo contesto è il meccanismo tariffario incentivante (FIT - Feed-in Tariff). Il FIT offre un prezzo fisso e garantito, generalmente superiore a quello dell'energia tradizionale (Abdmouleh, A.M. Alammari, & Gastli, 2015), per l'elettricità generata da fonti rinnovabili assicurando così un flusso di reddito stabile per gli investitori nel lungo termine.

#### **4.2 Politiche per l'aumento della quota dell'energia rinnovabile e per la produttività energetica**

Al fine di incrementare la quota energetica proveniente da fonti rinnovabili i governi possono adottare regolamentazioni mirate a promuovere l'uso di tecnologie energetiche efficienti e

l'impiego di energie sostenibili stabilendo obiettivi specifici per la produzione di energia da fonti rinnovabili (Nicolli & Vona, 2019). In altre parole, potrebbe essere imposto ai fornitori l'obbligo di garantire una percentuale del loro approvvigionamento energetico da fonti alternative. Un'altra strategia possibile da attuare è l'implementazione di un sistema di certificati verdi emessi da un'autorità regolante che riconoscono valore alla produzione di energia rinnovabile, i quali possono essere scambiati tra gli attori coinvolti. Con questi vincoli si cerca di aumentare la quota occupata nel mix energetico dall'energia pulita in modo da utilizzarne una quantità sufficiente ad ottenere benefici significativi per lo sviluppo economico (Chen, Pinar, & Stengos, 2020). Come sottolineato nel capitolo uno, la ricerca per il miglioramento tecnologico è importante nella riduzione del costo dell'energia alternativa relativamente a quella tradizionale (Schilling & Esmundo, 2009). Data l'importanza dei tassi di crescita della produttività energetica per accelerare la transizione verso le energie alternative (Barreto, 2018), è essenziale intervenire in modo efficace: Uno strumento a disposizione dei governi è rappresentato dall'allocazione di fondi pubblici per la ricerca e lo sviluppo di tecnologie innovative nel settore delle energie rinnovabili (Nicolli & Vona, 2019). L'obiettivo di queste politiche è incentivare lo sviluppo e l'adozione delle energie rinnovabili favorendo l'aumento della produttività di queste ultime, promuovendo la transizione verso un sistema energetico più sostenibile. La tabella sette fornisce un riepilogo degli strumenti per favorire il consumo di energia proveniente da fonti rinnovabili con un breve riassunto per ciascuno di essi.

<b>Instrument</b>	<b>Brief explanation</b>
<b>Investment incentives</b>	Capital grants and all other measures aimed at reducing the capital cost of adopting renewables. They may also take the form of third-party financial arrangements, where governments assume part of the risk or provide low interest rates on loans. They are generally provided by state budgets.
<b>Tax measure</b>	Economic instruments used either to encourage production or discourage consumption. They may take the form of investment tax credits or property tax exemptions to reduce tax payments for the project owner. Excises are not directly accounted for here unless they were explicitly created to promote renewables (for example excise tax exemptions).
<b>Incentive tariff</b>	Through guaranteed price schemes, the energy authority obliges energy distributors to feed in the production of renewable energy at fixed prices varying according to the various sources. Some countries (UK, Ireland) have developed so-called bidding system schemes in which the most cost-effective offer is selected to receive a subsidy. This last case is also accounted for in the dummy due to its similarity to the feed-in systems.
<b>Voluntary programme</b>	These programmes generally operate through agreements between the government, public utilities and energy suppliers, where they agree to buy energy generated from renewable sources. One of the first voluntary programmes was in Denmark in 1984, when utilities agreed to buy 100 MW of wind power.
<b>Obligations</b>	Obligations and targets generally take the form of quota systems that place an obligation on producers to provide a share of their energy supply from renewable energy. These quotas are not necessarily covered by a tradable certificate.
<b>Tradable certificate</b>	Renewable energy Certificates (REC) are used to track or document compliance with the quota system and consist of financial assets, issued by the regulating authority, which certify the production of renewable energy and can be traded among the actors involved. Along with the creation of a certificate scheme, more generally a separate market is established where producers can trade the certificates, creating certificate "supply", while the demand depends on political choices. The price of the certificate is determined through relative trading between the retailers.
<b>Public Research and Development</b>	Public financed R&D programme disaggregated by type of renewable energy.
<b>EU directive 2001/77/EC</b>	Established the first shared framework for the promotion of electricity from renewable sources at the European level.

*Tabella 7: Riassunto degli strumenti per l'intervento a favore del consumo di energia rinnovabile. La tabella è ottenuta dallo studio di Nicolli e Vona. (2019)*

## **Conclusion**

Questo elaborato ha avuto l'obiettivo di indagare la relazione tra energia rinnovabile e crescita economica, concentrandosi su più elementi per avere una comprensione approfondita. Dai modelli teorici riportati nel capitolo uno è emersa l'importanza della produttività dell'energia per il futuro del mix energetico: la capacità di sfruttare le fonti alternative rispetto a quelle tradizionali determina l'andamento della transizione energetica sia in termini di velocità del cambiamento sia per quanto riguarda lo stato di equilibrio finale. Particolare attenzione è stata poi dedicata agli esiti delle indagini empiriche esaminate nel capitolo due e nello studio di Chen, Pinar e Stengos (2020). Durante la ricerca, sono emerse evidenze contrastanti riguardo l'impatto delle fonti energetiche sostenibili sulla crescita economica. I risultati ottenuti dagli studi esaminati nei capitoli due e tre sono stati eterogenei e variabili, spesso influenzati da alcuni



fattori come il metodo di ricerca adottato o il campione selezionato per lo studio. L'osservazione effettuata nel capitolo terzo rivela che la quota di energia pulita utilizzata nel mix energetico rappresenta un fattore cruciale nel determinare la natura della relazione con la crescita economica, i risultati per determinati paesi variano infatti anche in base alla quantità di energia rinnovabile consumata. Nel capitolo finale sono state ricapitolate le misure più note ed efficaci adottate dai policymakers per promuovere l'utilizzo dell'energia sostenibile, evidenziando come ciascuna di esse sia mirata a raggiungere specifici obiettivi. La pluralità di misure presentate dimostra l'importanza di una strategia oculata e specifica per affrontare le sfide della transizione energetica e promuovere con successo l'adozione diffusa delle fonti energetiche sostenibili. La rilevanza del campione utilizzato nell'influenzare i rapporti di causalità rende necessarie analisi dettagliate sui diversi paesi poiché differenti realtà geografiche e socioeconomiche possono influenzare significativamente la relazione osservata tra energia rinnovabile e sviluppo economico. Dunque, per una comprensione più completa della complessa relazione tra energia sostenibile e crescita economica, future ricerche dovrebbero condurre analisi a lungo termine su contesti regionali e nazionali, al fine di identificare come le peculiarità locali e le politiche governative possano influenzare le dinamiche tra energia pulita e sviluppo economico. <sup>i</sup>

## Bibliografia

- Abdmouleh, Z., A.M. Alammari, R., & Gastli, A. (2015). Review of policies encouraging renewable energy integration & best practices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 249-262.
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2010). Renewable energy consumption and economic growth: Evidence from a. *Energy Policy*, 656-660.
- Barreto, R. A. (2018). Fossil fuels, alternative energy and economic growth. *Economic Modelling*, 196-220.
- Bugaje, I. (2006). Renewable energy for sustainable development in Africa: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 603-612.
- Chen, C., Pinar, M., & Stengos, T. (2020). Renewable energy consumption and economic growth nexus: Evidence. *Energy Policy*, 111295.
- Forsberg, C. W. (2009). Sustainability by combining nuclear, fossil, and renewable energy sources. *Progress in nuclear energy*, 192-200.
- Inglesi-Lotz, R. (2016). The impact of renewable energy consumption to economic growth:. *Energy Economics*, 58-63.
- International Energy Agency. (2020). *Key world energy statistics*.
- Lyeonov, S., & al, e. (2019). Assessment of Green Investments' Impact on Sustainable Development: Linking Gross Domestic Product Per Capita, Greenhouse Gas Emissions and Renewable Energy. *Energies*.
- Magnani, N., & Vaona, A. (2013). Regional spillover effects of renewable energy generation in Italy. *Energy Policy*, 663-671.
- Marques, A. C., & Fuinhas, J. A. (2012). Is renewable energy effective in promoting growth? *Energy Policy*, 434-442.
- Meckling, J., & al., e. (2022). Why nations lead or lag in energy transitions. *Science*, 31-33.
- Menegaki, A. N. (2011). Growth and renewable energy in Europe: A random effect model with evidence for. *Energy Economics*, 257-263.
- Narayan, S., & Doytch, N. (2017). An investigation of renewable and non-renewable energy consumption and economic growth nexus using industrial and residential energy consumption. *Energy Economics*, 160-176.

- Nicolli, F., & Vona, F. (2019). Energy market liberalization and renewable energy policies in OECD. *Energy Policy* , 853-867.
- Pedroni, P. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 653-670.
- Pedroni, P. (2004). Panel cointegration: Asymptotic and finite sample properties of pooled time series tests with an application to the PPP hypothesis. *Econometric Theory*, 597-625.
- Pesaran, H. (2004). General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels. *Discussion Paper Series*, no. 1240.
- Pesaran, H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Applied Econometrics*, 265-312.
- Schilling, M. A., & Esmundo, M. (2009). Technology S-curves in renewable energy alternatives: Analysis and implications for industry and government. *Energy Policy*, 1767-1781.
- Thanh Le, C. L. (2018). Research and development and sustainable growth over alternative types of natural resources. *Economic Modelling*, 215-229.
- The Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Sixth Assessment Report*.
- United Nations. (2015). *17 Sustainable Development Goals*.
- United Nations. (2019). *Global Trends in Renewable Energy Investment*.
- Westerlund, J. (2007). Testing for error correlation in panel data. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* , 709-748.

---

<sup>i</sup> Numero di parole: 9304