

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

# **Consumo energetico e sviluppo economico**

Analisi econometrica mediante utilizzo di dati panel



Relatore:

Prof. Cambini Carlo

Correlatore:

Prof.ssa Ravetti Chiara

Candidato:

Pastore Federica

Aprile 2021



# Indice

Introduzione .....	4
1. Rassegna della Letteratura .....	5
1.1 Indicatori .....	5
1.1.1 Indicatori di Sviluppo e di Benessere.....	5
1.1.2 Indicatori di Consumo energetico .....	7
1.2 Metodologia e modelli econometrici.....	9
1.3 Risultati degli studi .....	10
1.3.1 Consumo di Energia e Sviluppo.....	10
1.3.2 Consumo di Elettricità e Sviluppo.....	14
1.3.3 Intensità energetica e Sviluppo.....	15
1.3.4 Sviluppo sostenibile ed emissioni di CO2.....	15
2. Metodologia .....	24
2.1 Analisi descrittiva.....	24
2.1 Analisi econometrica.....	31
2.1.1 Variabili.....	32
2.1.2 Modello econometrico.....	34
3. Risultati .....	35
3.1 PIL e consumi .....	35
3.1.1 PIL e Consumo di energia.....	35
3.1.2 PIL e Consumo elettrico.....	39
3.1.3 PIL e Intensità energetica.....	44
3.2 HDI-HIHD e consumi .....	49
3.2.1 HDI-HIHD e Consumo di energia.....	49
3.2.2 HDI-HIHD e Consumo elettrico .....	53
3.3 Reddito Nazionale Netto Corretto e consumi.....	58
3.3.1 Reddito Nazionale Netto Corretto e Consumo di energia .....	58
3.3.2 Reddito Nazionale Netto Corretto e Consumo elettrico.....	63
3.3.3 Reddito Nazionale Netto Corretto e Intensità energetica.....	67
4. Conclusioni .....	73
Bibliografia .....	75
Appendice .....	79
Ringraziamenti .....	91

## **Introduzione**

La presente trattazione esamina la relazione tra consumo energetico e crescita economica attraverso l'analisi di 132 Paesi nel periodo di tempo che intercorre tra il 1960 e il 2019.

Comprendere quale sia la direzione della causalità tra le due grandezze, è di grande importanza per stabilire in quali casi il consumo energetico alimenta lo sviluppo umano (e quindi eventuali politiche di conservazione dell'energia hanno un impatto negativo sulla crescita di un'economia), e quando invece tale consumo risulta essere non più sostenibile dal punto di vista sociale e ambientale.

Nel corso degli anni si sono susseguiti innumerevoli studi a riguardo, con l'obiettivo di analizzare il nesso tra diversi indicatori di consumo e di sviluppo economico: tali studi non hanno portato ad alcuna conclusione unanime, poiché i risultati mutano a seconda degli Stati presi in considerazione, del periodo di tempo esaminato e della scelta degli indicatori e della metodologia.

Nella presente tesi, come indicatori di consumo sono stati selezionati il consumo energetico e il consumo elettrico, mentre per valutare lo sviluppo economico, in aggiunta al PIL, sono stati considerati anche l'Human Development Index, l'Historical Index of Human Development e il Reddito Nazionale Netto Corretto. Il tentativo è stato quello di considerare indicatori che permettano di indagare non solo il beneficio derivato dalla ricchezza di un Paese, ma anche altri aspetti legati allo sviluppo umano quali l'aspettativa di vita, l'istruzione o il consumo di capitale e risorse.

In seguito ad una rassegna della letteratura esistente, verranno presentati nel dettaglio gli indicatori citati nonché il modello econometrico scelto e saranno esposti i dati raccolti di tutti i Paesi analizzati. Infine, l'ultima parte è dedicata alla discussione dei risultati e alle conclusioni finali.

# **1. Rassegna della Letteratura**

Nel seguente capitolo verranno presi in esame alcuni studi presenti in letteratura che analizzano il legame tra consumo energetico e sviluppo economico. Emergono quattro ipotesi sui possibili risultati della causalità: (i) Ipotesi della crescita: causalità unidirezionale dal consumo di energia alla crescita economica; una diminuzione del consumo di energia porta a una riduzione del PIL reale. (ii) Ipotesi di conservazione: causalità unidirezionale dal PIL al consumo energetico; politiche di risparmio hanno un effetto minimo o nullo sul PIL reale. (iii) Ipotesi di feedback: relazione causale bidirezionale, il consumo energetico e la crescita economica si determinano e si influenzano a vicenda. (iv) Ipotesi di neutralità: il consumo di energia non è correlato al PIL, una riduzione del consumo non influisce sullo sviluppo e viceversa.

La prima parte del capitolo è dedicata alla presentazione dei diversi indicatori utilizzati; successivamente verranno analizzate le metodologie e i modelli econometrici maggiormente impiegati negli studi e, infine, l'ultima sezione è dedicata alla presentazione dei risultati ottenuti.

## **1.1 Indicatori**

### **1.1.1 Indicatori di Sviluppo e di Benessere**

Uno degli indicatori di sviluppo utilizzato con maggiore frequenza è sicuramente il PIL, che misura il valore aggregato di tutti i beni e i servizi finali prodotti sul territorio di un Paese. Esso viene infatti preso in considerazione come misura del progresso e del benessere della popolazione ad esempio da Kebede et al. (2010), e da Rajbhandari e Zhang (2018), i quali rispettivamente esaminano anche la relazione con il prezzo del petrolio e il prezzo dell'energia elettrica non residenziale. Lee (2005), Huang et al. (2008) Apergis e Payne (2011) e Ohler e Fetters (2014), invece, unitamente al Prodotto Interno Lordo, analizzano gli Investimenti fissi lordi. Altri, prendono in considerazione il PIL pro capite (calcolato dividendo il PIL per la popolazione di una Nazione) per esprimere il livello di ricchezza per abitante, in modo tale da poter confrontare aree di dimensione demografica diverse. Tale indicatore viene misurato in PPS (Potere d'acquisto standard) per depurarlo dall'influenza delle diverse monete e da quella dei diversi poteri d'acquisto. Alcuni esempi di autori che utilizzano il PIL pro capite sono Dinda e Coondoo (2006), Huang et al. (2008), Nguyen-Van

(2010), Belke et al. (2011) e, tra i più recenti, P. Tonkovic e Hussain (2017), Agovino et al. (2019), Chica-Olmo et al. (2020) e Liddle e Huntington (2020b).

In alcuni studi, tuttavia, emergono dei limiti sull'utilizzo del PIL come indicatore non solo economico ma anche di benessere. Ouedraogo (2013), ad esempio, sottolinea il fatto che il PIL misuri esclusivamente la crescita economica in un Paese, ma che questa non sia necessariamente sintomo di un miglioramento di benessere sociale, aspettativa di vita, salute o istruzione. Per questo motivo, come riportato da Pasternak (2000), dal 1990 le Nazioni Unite hanno compilato e pubblicato annualmente delle statistiche sugli indici di sviluppo umano, tra cui emerge l'Human Development Index (HDI), definito come la media geometrica tra l'indice di aspettativa di vita, l'indice di istruzione e l'indice di reddito. A utilizzare l'HDI come indicatore di benessere sono ad esempio anche Moran et al. (2008), Steinberger e Roberts (2010), Arto et al. (2016) e Akizu-Gardoki et al. (2018).

Nadimi e Tokimatsu (2018) introducono invece un indicatore della Qualità della vita (Quality of Life – QoL) come funzione lineare di sei variabili: Tasso di mortalità infantile (Infant Mortality Rate – IMR), Aspettativa di vita, Tasso di istruzione (Mean Years of Schooling – MYS), PIL, RNN e Accesso all'acqua (Improving Water Access – IWA). L'obiettivo degli autori è stato quello di creare un indicatore in grado di coprire aree più ampie della qualità della vita che andasse a sostituire l'HDI come indicatore di benessere. L'anno successivo, Liu e Matsushima (2019), approfondendo lo studio di Lambert et al. (2014), definiscono un altro indicatore di QoL in funzione di otto indici differenti: HDI, Indice di disuguaglianza di genere (Gender Inequality Index – GII), Indice di percezione della corruzione (Corruption Perceptions Index - CPI), Indice di prestazione ambientale (Environmental Performance Index - EPI), Indice di istruzione (Education Index - EI), Aspettativa di vita (Life Expectancy at Birth - LEB), Tasso di disoccupazione (Total Unemployment Rate - TUR) e Tasso di mortalità sotto i cinque anni (Under-five Mortality Rate - UMR).

Altri indicatori presi in esame sono l'Urbanizzazione (Apergis e Tang, 2013; Mohammadi e Parvaresh, 2014; Kahouli, 2017; Mohammadi e Amin, 2015), l'Indice di GINI (Uddin, Mishra, e Smyth 2020) utilizzato per misurare la disuguaglianza nella distribuzione del reddito o anche della ricchezza e il Tasso di Occupazione (Pablo-Romero e Sánchez-Braza, 2015; Inglesi-Lotz, 2016; Ohler and Fetters, 2014).

### 1.1.2 Indicatori di Consumo energetico

Tra gli indicatori utilizzati per lo studio della relazione tra sviluppo economico e consumo energetico si trova il Consumo di Energia (“Energy Consumption” - EC) espresso in tonnellate equivalenti di petrolio (“tonne of oil equivalent” – toe), impiegato ad esempio da Narayan e Smyth (2008). Una toe rappresenta la quantità di energia rilasciata dalla combustione di una tonnellata di petrolio grezzo e vale circa 42 GJ o 11630 kWh. In alcuni casi vengono utilizzati i multipli Ktoe (un migliaio di toe, ad esempio da Lee, 2005 e Chiou-Wei et al, 2008) e Mtoe (un milione di toe, ad esempio da Soytaş e Sari, 2003). Apergis e Tang (2013) esprimono il Consumo di Energia nella forma pro capite (ECpc), così come Kahouli (2017), Nadimi e Tokimatsu (2018), Zaman e Moemen (2017), Mohammadi e Parvaresh (2014), Ouedraogo (2013), Aydin e Esen (2018), Narayan e Smyth, (2008) e Bruns e Gross (2013).

Alcuni autori, invece, suddividono il Consumo di Energia in primario (Total Primary Energy Supply – TPES) e finale: nel loro studio, Richmond e Kaufmann (2006) considerano esclusivamente il Consumo di Energia Primaria (carbone, petrolio, gas, idroelettrica e nucleare); Nguyen-Van (2010) e Díaz et al. (2019) includono anche l’energia elettrica rinnovabile (geotermica, solare, eolica). Steinberger e Roberts (2010) specificano di essersi concentrati sul TPES in quanto interessati all'apporto energetico totale per la società, e non alla sua evoluzione in relazione ai miglioramenti tecnici nella trasformazione delle fonti primarie alle forme energetiche finali. Arto et al. (2016) utilizzano invece un indicatore equivalente, il TPED (Total Primary Energy Demand, espresso in GJ) che include i consumi del settore energetico, le perdite durante la trasformazione (ad esempio, dal carbone o dal gas all'elettricità) e la distribuzione di energia, e il consumo finale da parte degli utenti. Nel loro studio, inoltre, per effettuare un’analisi più accurata della relazione tra energia e sviluppo, gli autori prendono in considerazione l’Impronta Energetica Primaria (Total Primary Energy Footprint – TPEF) che riflette il consumo delle risorse naturali in tutto il mondo per soddisfare la domanda finale (consumi privati e pubblici, investimenti) di un paese, includendo sia il consumo energetico diretto delle famiglie, sia il fabbisogno energetico globale per produrre beni e servizi. Questo indicatore viene infatti utilizzato per identificare il fabbisogno energetico globale in grado di supportare uno specifico livello di sviluppo, indipendentemente dal Paese in cui tali risorse energetiche sono state effettivamente consumate. Akizu-Gardoki et al. (2018) utilizzano il TPEF per calcolare

l'Indice di Disaccoppiamento (DI), parametro che consente di capire come i singoli Paesi riducono il consumo di energia aumentando il loro sviluppo.

Ad utilizzare il Consumo Finale sono invece Burke e Csereklyei, 2016 (i quali suddividono il consumo di energia in residenziale, agricoltura, trasporti, industria e servizi), Belke et al., (2011), Menegaki, (2011) e Liddle e Huntington, (2020a).

Un altro indicatore che ricorre con una certa frequenza è il Consumo di Energia Elettrica (Electricity Consumption – EIC), espresso prevalentemente in kWh (Apergis e Payne, 2011; Mohammadi e Amin, 2015; Wolde-Rufael, 2014) o in MWh (P. Tonkovic e Hussain, 2017). Anche in questo caso, tale consumo può essere espresso nella sua forma pro capite EICpc (Pasternak, 2000; Ouedraogo, 2013; Nadimi e Tokimatsu, 2018; Kristjanpoller R. et al., 2018; Best e Burke, 2018; Rodríguez-Caballero e Ventosa-Santaulària, 2017).

Agovino et al. (2019), Rajbhandari e Zhang (2018) e Deichmann et al. (2019), esprimono invece l'efficienza energetica tramite l'Intensità Energetica, calcolata come unità di energia diviso il Prodotto Interno Lordo. Questo indicatore misura la capacità di convertire l'energia in reddito: alte intensità di energia indicano un alto consumo (e costo) nel convertire l'energia in PIL.

Infine, alcuni studi (ad es. Liu e Matsushima, 2019) pongono l'attenzione sulla qualità dell'energia (come misura di utilità per la società) attraverso l'uso dell'EROI (Energy Return on Investment), calcolato generalmente come energia prodotta su energia consumata, e che esprime quindi la convenienza delle singole fonti in termini di resa energetica. In particolare, Liu e Matsushima prendono in esame l'indicatore proposto da Lambert et al. (2014), i quali propongono un EROI su scala sociale (EROIsoc) estendendo la definizione di EROIio (EROI of imported oil, calcolato come il rapporto tra il valore energetico della quantità di carburante acquistata con un dollaro e la quantità di petrolio necessaria per generare un dollaro di beni e servizi) a tutte le fonti di carburante, nazionali e importate, che una nazione utilizza. Lambert et al. (2014), infine, utilizzano l'EROIsoc per sviluppare il Lambert Energy Index (LEI), ottenuto attraverso la media geometrica di EROIsoc, consumo di energia pro capite e indice di Gini. Il loro scopo è quello di spostare il focus dell'analisi dei fattori che determinano il benessere umano dai metodi economici tradizionali a quelli incentrati sull'energia.

### **Energia rinnovabile ed emissioni**

Vi sono poi una serie di studi che si soffermano ad analizzare, unitamente al consumo energetico, anche l'impatto delle emissioni di CO<sub>2</sub>, e altri che pongono l'attenzione sul

rapporto tra sviluppo economico e utilizzo di fonti di energia rinnovabili. La relazione causale tra crescita economica/reddito ed emissioni viene studiata da Richmond e Kaufmann (2006), Acheampong (2018), Uddin et al. (2020), mentre Ajmi et al. (2015) considerano anche la relazione tra CO<sub>2</sub> e consumo energetico e Zaman e Moemen (2017) tra CO<sub>2</sub> e crescita della popolazione. Menegaki (2011) analizza la relazione tra PIL, emissioni di CO<sub>2</sub> e percentuali di energia rinnovabile utilizzata; Le et al. (2020) valutano l'impatto sul reddito sia dell'energia rinnovabile che non rinnovabile, e Dogan et al. (2020) estendono l'analisi effettuata da Inglesi-Lotz (2016) stimando l'impatto del consumo di energie rinnovabili sul benessere economico. Infine, Moran et al. (2008) utilizzano l'Impronta Ecologica (EF), definita come uno strumento che valuta quanto della capacità rigenerativa della biosfera sia occupata (consumata) da attività umane.

## 1.2 Metodologia e modelli econometrici

Ahmad et al. (2020) hanno condotto un'indagine sistematica della letteratura riguardante il nesso energia-crescita, al fine di identificare le riviste e gli autori più influenti. Hanno inoltre esaminato le metodologie utilizzate e la loro evoluzione nel tempo, identificando sette stadi differenti, chiamati generazioni. In questo paragrafo verranno quindi presentati i modelli econometrici utilizzati dagli autori presi in esame, rispettando la classificazione descritta da Ahmad et al. (2020); si esclude dall'elenco la prima generazione (alla quale appartengono i modelli General Equilibrium – GE) e la settima (modelli SVAR) in quanto non utilizzati da alcuno studio esaminato.

Generazione 2: *Vector Autoregressive* (VAR), modello di processo stocastico che estende l'autoregressione univariata a serie storiche multivariate, catturando la relazione tra più quantità mentre cambiano nel tempo. In questo metodo, si assume la stazionarietà per tutte le variabili. Ad utilizzarlo sono Huang et al. (2008) e Ajmi et al. (2015) che studiano la relazione tra crescita e consumo di energia, e Apergis e Payne (2011) che analizzano invece la relazione crescita-consumo di elettricità.

Generazione 3: *Error Correction Model* (ECM), utilizzato per i dati in cui le variabili hanno una tendenza stocastica di lungo periodo (cointegrazione). Utile per stimare gli effetti sia a breve che a lungo termine di una serie temporale su un'altra, tiene conto di serie temporali non stazionarie (Dinda and Coondoo, 2006; Mohammadi and Amin, 2015; Mohammadi and Parvaresh, 2014; Ohler and Fetters, 2014; Ouedraogo, 2013; Agovino et al., 2019).

Generazione 4: *Vector Error Correction Models in Causality Tests* (VECM), non si limita a una sola equazione con una variabile dipendente, l'analisi di cointegrazione ha natura multivariata (ci possono essere numerose relazioni di cointegrazione) e sono possibili test relativi ai parametri di lungo periodo. Aggiunge funzionalità di correzione degli errori al modello VAR (Bruns e Gross 2013; Kahouli 2017; Rajbhandari e Zhang 2018; Rodríguez-Caballero e Ventosa-Santaulària 2017; Soytas e Sari 2003).

Generazione 5: *Autoregressive Distributed Lag Model* (ARDL e TY), procedure per il test di causalità in cui non è necessario un test preventivo di stazionarietà. ARDL è adatto per campioni di piccole dimensioni ed è utilizzato infatti da Kahouli (2017) nell'analisi del rapporto tra crescita economica e consumo di energia in 6 Paesi del Nord Africa, e da Agovino et al. (2019) nello studio del rapporto intensità energetica-PIL in soli quattro Paesi (Italia, Paesi Bassi, Spagna e Svezia). Con TY, invece, si intende una procedura sperimentata da Toda e Yamamoto (1995) che testa la causalità tra variabili non stazionarie, anche con differenti ordini di integrazioni (Apergis e Tang 2013; Bruns e Gross 2013).

Generazione 6: *Panel Analysis* (compreso PVECM, FMOLS, e DOLS), studi che applicano tecniche con dati panel, inclusi test per radici unitarie (*unit root test*) e relazioni di cointegrazione all'interno di un set di dati panel (Best and Burke, 2018; Burke, 2010; Burke and Csereklyei, 2016; Chica-Olmo et al., 2020; Csereklyei et al., 2016; Deichmann et al., 2019; Díaz et al., 2019; Dogan et al., 2020; Inglesi-Lotz, 2016; Kibria et al., 2019; Kristjanpoller R. et al., 2018; Nguyen-Van, 2010; Pablo-Romero e Sánchez-Braza, 2015). Si osservano differenti variabili, ciascuna in una serie di periodi di tempo, per analizzare una relazione di lungo periodo. Inizialmente vengono effettuati test di stazionarietà e cointegrazione, per poi utilizzare una delle seguenti metodologie: *Panel Vector Error Correction Model* – PVECM (Belke, Dobnik, e Dreger 2011); *Fully Modified Ordinary Least Square* – FMOLS e *Dynamic OLS* – DOLS (Aydin e Esen 2018; Lee 2005; Narayan e Smyth 2008); *Generalized Method of Moments* – GMM (Acheampong 2018; Zaman e Moemen 2017).

## **1.3 Risultati degli studi**

### **1.3.1 Consumo di Energia e Sviluppo**

Huang et al. (2008) analizzano il nesso causale consumo energetico-crescita economica in 82 Paesi, suddividendo il campione in Paesi a reddito basso, medio-basso, medio-alto e alto. Nei paesi a basso reddito prevale l'ipotesi di neutralità, non esiste alcuna relazione causale

tra consumo di energia e crescita economica; nei gruppi di reddito medio-basso e medio-alto, prevale l'ipotesi di conservazione, la relazione causale è positiva dalla crescita economica al consumo di energia; nel gruppo ad alto reddito, si ha relazione causale negativa dalla crescita economica al consumo di energia. Non vi è quindi nessuna relazione causale dal consumo energetico alla crescita economica.

Apergis e Tang (2013) giungono a conclusioni differenti: su 85 Paesi analizzati, 46 Paesi (il 52,94%) mostrano un forte sostegno all'ipotesi della crescita guidata dall'energia. La frequenza aumenta al 61,18% (52 su 85 paesi) dopo aver aggiunto la variabile forza lavoro. I risultati del test di causalità di Granger, aggiungendo sia la forza lavoro che l'urbanizzazione, aumentano ulteriormente fino all'83,53% (71 su 85 paesi). L'ipotesi della crescita, inoltre, prevale nei paesi ad alto e medio reddito rispetto ai paesi a basso reddito.

Soytas e Sari (2003), Narayan e Smyth (2008) e Ajmi et al. (2015) studiano la relazione consumo di energia-PIL focalizzandosi sui Paesi membri del G7<sup>1</sup>. L'ipotesi della crescita è confermata, nel primo studio, per Francia Germania e Giappone, mentre troviamo una relazione invertita per l'Italia; Ajmi et al. (2015) confermano la relazione unidirezionale dal consumo di energia al PIL solo per il Canada, mentre Narayan e Smyth (2008) affermano che un aumento dell'1% del consumo di energia aumenta il PIL reale dello 0,12–0,39%.

A soffermarsi sui Paesi africani sono Kahouli (2017), il quale esamina il nesso causale di breve e lungo periodo tra crescita economica, consumo di energia e sviluppo finanziario utilizzando la serie di dati di 6 SMC<sup>2</sup> e Kebede et al. (2010), che invece analizzano 20 Paesi dell'Africa subsahariana. Il primo studio conferma l'ipotesi di feedback per quattro paesi su sei; il secondo valuta la domanda energetica totale, che è composta da energia tradizionale (combustibile legnoso) ed energia commerciale (elettricità e petrolio). I risultati mostrano che la quantità di energia richiesta aumenta dello 0,55% per ogni aumento percentuale del PIL, e che per una variazione dell'1% del prezzo del petrolio, la quantità richiesta di petrolio diminuirà solo dello 0,1% (evidenziando una forte dipendenza da petrolio da parte di questi Paesi).

Vi sono poi alcuni studi che prendono in esame unicamente i paesi in via di sviluppo<sup>3</sup>, come ad esempio Lee (2005), che in 18 Paesi trova una relazione causale positiva sia di breve che di lungo periodo dall'energia al PIL. Ouedraogo (2013) indaga invece la relazione

---

<sup>1</sup> Il G7, organizzazione intergovernativa ed internazionale, è nato nel 1975 ed è composto da Canada, Francia, Germania, Giappone, Italia, Regno Unito e Stati Uniti d'America.

<sup>2</sup> SMC - South Mediterranean Countries: Algeria, Egitto, Israele, Libano, Marocco e Tunisia.

<sup>3</sup> Paesi con un PIL pro capite inferiore a 825\$ (classificazione della Banca Mondiale) o con HDI inferiore a 0,5 (classificazione ONU).

di causalità tra consumo di energia e HDI, includendo i prezzi dell'energia come variabile aggiuntiva, in 15 paesi in via di sviluppo per il periodo 1988-2008. A differenza dello studio di Lee, il consumo di energia risulta avere un effetto negativo sull'HDI in tutti i 15 paesi (un aumento dell'1% del consumo energetico pro capite riduce l'HDI dello 0,8%). L'autore sottolinea che questo effetto è dovuto all'inefficienza dell'approvvigionamento energetico: la biomassa tradizionale (legno, rifiuti) rappresenta il 75% del consumo energetico totale del campione esaminato, e il suo uso ha un forte impatto negativo su molti aspetti dell'HDI (come salute e istruzione).

Richmond e Kaufmann (2006) prendono in considerazione 36 Paesi (di cui 20 OECD<sup>4</sup>) e applicano l'ipotesi della curva EKC<sup>5</sup> per trovare, se esiste, il punto di svolta nei rapporti reddito-consumo di energia primaria e reddito-emissioni di carbonio. Trovano che per le nazioni non OECD, non vi è punto di svolta, mentre per i Paesi OECD il punto di svolta per l'uso energetico pro capite è \$32.900, per il rapporto reddito/emissioni di carbonio è \$25.500. Nguyen-Van (2010), invece, estendendo l'analisi del consumo energetico primario a 158 Paesi, non conferma l'ipotesi EKC: il consumo di energia primaria aumenta con il reddito, per poi stabilizzarsi per valori elevati del reddito pro capite (circa 20.000-33.000 dollari). Inoltre, per la maggior parte dei paesi (in particolare quelli in via di sviluppo), il consumo di energia aumenta rapidamente con lo sviluppo economico.

Belke et al. (2011) esaminano 25 Paesi OECD, studiando la relazione sul lungo periodo in entrambe le direzioni, sia con consumo energetico che PIL come variabili dipendenti. Ogni variabile è inoltre scomposta in due componenti: comune (internazionale) e idiosincratICA (nazionale). Dai risultati emerge che solo la componente comune del consumo energetico, della crescita economica e del prezzo dell'energia sono cointegrate, e questo risultato evidenzia la rilevanza di sviluppi internazionali per spiegare la domanda di energia nei paesi esaminati. Per quanto riguarda l'analisi di causalità (valutata tramite Test di Granger), è confermata l'ipotesi di feedback: nel lungo periodo nessuna variabile guida l'altra, un aumento di consumo di energia porta ad un aumento della crescita economica e viceversa.

---

<sup>4</sup> *Organization for Economic Co-operation and Development*: organizzazione internazionale che comprende 57 Stati partecipanti dell'Europa, dell'Asia centrale e del Nord America, con l'obiettivo di risolvere problematiche comuni e trovare soluzioni a sfide sociali, economiche e ambientali.

<sup>5</sup> Environmental Kuznets curve: ipotizza che la relazione tra reddito e utilizzo delle risorse naturali e/o l'emissione di rifiuti abbia una forma a U invertita. Questo implica che, a livelli relativamente bassi di reddito, l'uso di risorse naturali e/o l'emissione di rifiuti aumenta con il reddito. Al di là di un qualche punto di svolta, l'uso di risorse naturali e/o l'emissione di rifiuti diminuisce con il reddito.

Arto et al. (2016) analizzano 40 Paesi e trovano una correlazione positiva tra energia e sviluppo umano, identificando una soglia minima di energia necessaria per raggiungere un certo livello di sviluppo: nessun Paese con un TPEF inferiore a 100 GJ/cap mostra un  $HDI > 0.8$ ; tale soglia è del 20% superiore rispetto a quella trovata utilizzando TPED (74 GJ/cap).

Come anticipato precedentemente trattando gli indicatori di consumo energetico, Lambert et al. (2014) studiano la relazione tra HDI, consumo energetico, EROIsoc e un nuovo indice denominato LEI. Valori elevati di sviluppo ( $HDI > 0,75$ ) si ottengono con EROIsoc sopra 15:1, consumo energetico pro capite di 120 GJ e  $LEI > 0,4$ ; inoltre, viene identificato un punto di saturazione: aumenti in disponibilità di energia pro capite superiore a 150 GJ o EROIsoc superiore a 20:1 non sono associati a ulteriori miglioramenti per la società.

### **Fenomeno di disaccoppiamento**

Come riportato da Akizu-Gardoki et al. (2018), la consapevolezza della limitata disponibilità di energia, ha portato l'ONU a definire degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile e il disaccoppiamento tra il consumo di energia e il benessere raggiunto è stato definito come una "questione chiave" per stabilire come l'umanità dovrebbe essere in grado di mantenere gli attuali standard di vita nei paesi sviluppati e promuovere lo sviluppo nei paesi a basso reddito senza influenzare la bio-capacità ambientale. Gli autori, quindi, hanno studiato il fenomeno di disaccoppiamento utilizzando l'impronta energetica in 126 Paesi: si ottiene un disaccoppiamento sia nei paesi ad alto consumo energetico (TPEF compreso tra 192 e 169 MWh e HDI compreso tra 0,83 e 0,89) sia a basso consumo (TPEF tra 4 e 2MWh e HDI tra 0.35 and 0.49), mostrando una tendenza internazionale a muoversi verso un minore consumo energetico.

Steinberger e Roberts (2010) utilizzano il numero massimo di Paesi con disponibilità di dati nel periodo 1975-2005 e studiano il fenomeno di disaccoppiamento tra energia, carbonio e indicatori di sviluppo umano. Osservano un disaccoppiamento graduale dell'energia e del carbonio necessarie per soddisfare i bisogni umani, evidenziando come il raggiungimento del benessere umano diventi costantemente più efficiente e come un alto livello di energia non sia un prerequisito per standard di vita elevati. Nel 1975, i valori degli indicatori corrispondenti a quelli richiesti per un livello alto di sviluppo umano (aspettativa di vita di 70 anni, PIL di 10.000\$, tasso di alfabetizzazione dell'80% e HDI di 0,8), corrispondevano a un consumo di 100 GJ pro capite di energia e 2,2 tonnellate di

carbonio pro capite; nel 2005 i medesimi livelli di sviluppo si sono ottenuti con 40 GJ e 0,6 tonnellate per l'aspettativa di vita e 60 GJ e 1 tonnellata per PIL e HDI (valori che, secondo le previsioni, diminuiranno ulteriormente entro il 2030).

### **1.3.2 Consumo di Elettricità e Sviluppo**

Apergis e Payne (2011), analizzando 88 Paesi, trovano una causalità bidirezionale tra consumo di elettricità e crescita economica sia nel breve che nel lungo periodo per paesi a reddito alto e medio-alto. Per i paesi a reddito medio-basso si ha causalità unidirezionale dal consumo di elettricità alla crescita economica nel breve periodo, ma causalità bidirezionale nel lungo periodo. Infine, per i paesi a basso reddito si ha causalità unidirezionale dal consumo di elettricità alla crescita economica. I medesimi risultati vengono riportati anche da Kristjanpoller R. et al. (2018), i quali analizzano la causalità in base all'HDI: tutti i paesi (tranne quelli con HDI basso) possiedono una causalità bidirezionale a lungo termine tra consumo di energia elettrica e PIL; per paesi con HDI bassi, la causalità è diretta dal consumo di elettricità al PIL.

Considerando unicamente un gruppo ristretto di Paesi, se da una parte Ouedraogo (2013) riporta un effetto negativo del consumo energetico sull'HDI in 15 Paesi in via di sviluppo, l'analisi del consumo di elettricità conduce a differenti conclusioni: un aumento dell'1% del consumo di elettricità pro capite, infatti, aumenta l'HDI dello 0,22%. L'energia sottoforma di elettricità risulta quindi essere essenziale per lo sviluppo economico e sociale, per migliorare gli standard di vita.

Rodríguez-Caballero e Ventosa-Santaulària (2017) analizzano Canada, USA e alcuni Paesi del Sud America, e trovano evidenze favorevoli all'ipotesi di crescita per otto Paesi, mentre in tre Paesi vi è causalità dal PIL al consumo di elettricità (supportano quindi l'ipotesi di conservazione). P. Tonkovic e Hussain (2017) analizzano il nesso consumo di elettricità-crescita economica studiando esclusivamente i dati degli USA, separando i consumi elettrici residenziali da quelli non residenziali. Emerge una causalità unidirezionale dal PIL al consumo di elettricità residenziale, mentre non vi è nessuna relazione tra consumo non residenziale e PIL reale.

Pasternak (2000), infine, analizza i 60 Paesi più popolosi del mondo e identifica una soglia minima di elettricità (circa 4.000 kWh pro capite) a cui corrisponde un indice di sviluppo umano elevato (HDI = 0,9 o superiore). Inoltre, di 27 Paesi con un HDI inferiore a 0,7, 24 riportano un consumo annuo pro capite di elettricità inferiore a 1.000 kWh.

### **1.3.3 Intensità energetica e Sviluppo**

Díaz et al. (2019) analizzano 134 paesi e trovano una correlazione negativa tra intensità energetica e crescita: in media, l'elasticità della crescita del PIL pro capite rispetto all'intensità energetica è compresa tra  $-0,5$  e  $-1,0\%$ . Tale correlazione è confermata da Deichmann et al. (2019), i quali aggiungono che il tasso in calo rallenta in modo significativo di circa il 25% dopo che il livello di reddito pro capite raggiunge \$5.000, e da Csereklyei et al. (2016), i quali affermano che l'intensità energetica diminuisce moderatamente con l'aumento del reddito con un'elasticità intorno a  $-0,3$ . Inoltre, in assenza di crescita, l'intensità energetica non migliora.

Pasternak (2000) registra valori bassi sia di intensità elettrica che energetica nei paesi con HDI superiore a 0,9, mentre Aydin e Esen, 2018, (analizzando 12 Paesi appartenenti alla Comunità degli Stati Indipendenti) identificano una soglia dello 0,44% come intensità energetica, al di sotto della quale il consumo energetico impatta sulla crescita economica.

Rajbhandari e Zhang (2018) rilevano una causalità unidirezionale di lungo periodo dalla crescita economica (e da alti prezzi dell'energia) a bassa intensità energetica nei 56 Paesi analizzati. Suddividendo però il campione in base al reddito, trovano una causalità bidirezionale tra intensità energetica e crescita economica per le economie a reddito medio-basso e una causalità bidirezionale tra intensità energetica (specificatamente riferita all'energia utilizzata a livello industriale) e crescita economica per le economie a reddito medio-alto.

Agovino et al. (2019), infine, calcolano due intensità energetiche differenti, suddividendo tra fonti di energia tradizionali e moderne e focalizzando l'analisi ai seguenti paesi: Italia, Paesi Bassi, Spagna, Svizzera. L'analisi empirica mostra che la relazione negativa tra intensità energetica totale e PIL pro capite è guidata da fonti tradizionali, mentre la relazione positiva è guidata da fonti moderne. Durante i periodi di bassa crescita economica, i vettori energetici tradizionali sono dominanti, e la tendenza al calo dell'intensità energetica totale è dovuta unicamente alla riduzione dell'intensità energetica tradizionale.

### **1.3.4 Sviluppo sostenibile ed emissioni di CO2**

Come accennato in precedenza, vi sono una serie di studi che analizzano il progredire del benessere umano con uno sviluppo sostenibile, utilizzando indicatori che riflettano non solo i cambiamenti nella qualità della vita, ma che mostrino anche se questi cambiamenti sono compatibili con i limiti ecologici del pianeta. Ad esempio, Moran et al. (2008), segnalano

che nel 2003 solo un Paese dei 93 presi in esame ha raggiunto i due requisiti minimi per lo sviluppo ( $HDI \geq 0,8$  e un rapporto tra impronta ecologica e biocapacità  $\leq 1$ ). Tra il 1975 e il 2003, solo uno su 33 paesi con un HDI maggiore di 0,8 ha ridotto il rapporto impronta-biocapacità, suggerendo che le nazioni ad alto reddito non hanno spostato i loro modelli di consumo verso quelli entro i limiti ecologici. Inoltre, i paesi ad alto reddito hanno aumentato il rapporto da 1,9 a 3,7. Díaz et al. (2019) analizzano non solo l'intensità energetica, ma anche come il passaggio alle energie rinnovabili possa stimolare una crescita economica nei 134 Paesi presi in esame. Risulta che il passaggio da combustibili fossili a energie rinnovabili convenzionali (idroelettrica e biomassa) non determina una crescita di PIL, mentre il passaggio a energie rinnovabili di frontiera (eolico, solare, geotermico, ondoso) ha effetto positivo sul PIL.

Esaminando la relazione causale tra crescita economica e produzione di elettricità da fonti rinnovabili (biomasse, geotermica, idroelettrica, solare, rifiuti ed eolica) in 20 Paesi OECD, Ohler e Fetters (2014) trovano una relazione bidirezionale tra generazione rinnovabile aggregata e PIL reale; inoltre, la produzione di elettricità tramite biomasse, idroelettrico e rifiuti ha il maggiore impatto positivo nel lungo periodo sul PIL.

Chica-Olmo et al. (2020) studiano gli effetti spaziali del consumo di energie rinnovabili sulla crescita economica in 26 paesi europei e trovano che un aumento dell'1% del consumo di energia rinnovabile di un paese aumenta la crescita economica fino allo 0,054% del PIL dei paesi limitrofi. Analizzando i paesi OECD, Inglesi-Lotz (2016) riporta che un aumento dell'1% del consumo di energia rinnovabile fa aumentare il PIL dello 0,105% e il PIL pro capite dello 0,100%, mentre un aumento dell'1% della quota di energie rinnovabili nel mix energetico fa aumentare il PIL dello 0,089% e PIL pro capite dello 0,090%.

Per quanto concernono i risultati legati alle emissioni di CO<sub>2</sub>, Dinda e Coondoo (2006) esaminano la causalità reddito-emissioni in 88 Paesi e riportano che per il gruppo di paesi dell'Africa vi è una relazione bidirezionale, per l'America centrale la casualità è unidirezionale da reddito a emissioni, mentre per l'Europa la causalità è inversa (da emissioni a reddito). Dall'analisi di 189 Paesi, Pretty (2013) afferma che i paesi a basso reddito ottengono benefici consumando di più ed emettendo di più, ma identifica una soglia di circa 2t di CO<sub>2</sub> emesse pro capite, oltre la quale non vi è più una relazione.

N.	AUTORI e ANNO	TITOLO	PERIODO DI ANALISI e PAESI	INDICATORI DI BENESSERE	INDICATORI ENERGETICI	ALTRE VARIABILI	METODOLOGIA	RISULTATI
1	Ajmi, A.N., Hammoudeh, S., Nguyen, D.K., Sato, J.R. (2015)	On the relationships between CO2 emissions, energy consumption and income: The importance of time variation. Energy Economics 49, 629–638	1960-2010 Paesi del G7	PIL p.c.	Consumo di energia p.c.	Emissioni di CO2 p.c.	VAR Test di Granger Test unit root	Causalità consumo di energia ↔ PIL per il Giappone; causalità consumo di energia → PIL per il Canada; nessuna relazione causale tra energia e PIL per Francia, Regno Unito e Stati Uniti; causalità PIL → emissioni di CO2 per Italia e Giappone; causalità consumo di energia → emissioni di CO2 per la Francia e causalità bidirezionale per gli Stati Uniti.
2	Akizu-Gardoki, Ortz et. al. (2018)	Decoupling between human development and energy consumption within footprint accounts. Journal of Cleaner Production 202, 1145-1157	2000-2014 126 Paesi	HDI	TPEF TPES	DI (Decoupling index)	GMRIO	Disaccoppiamento assoluto sia nei paesi ad alto consumo energetico ( $1.92 \leq TPEF \leq 1.69$ MWh e $0.83 \leq HDI \leq 0.89$ ) sia a basso consumo ( $4 \leq TPEF \leq 2$ MWh e $0.35 \leq HDI \leq 0.49$ ).
3	Apergis, N. Tang, C.F. (2013)	Is the energy-led growth hypothesis valid? New evidence from a sample of 85 countries. Energy Economics 38, 24–31	1975-2007 85 Paesi	PIL reale	Consumo di energia p.c.	Forza lavoro Urbanizzazione	Test Granger Test unit root Regressione logistica	La crescita guidata dall'energia prevale nei paesi ad alto e medio reddito rispetto ai paesi a basso reddito. Il 52,94% dei Paesi mostra un forte sostegno all'ipotesi della crescita guidata dall'energia. La frequenza aumenta al 61,18% dopo aver aggiunto la variabile forza lavoro. I risultati aggiungendo sia la forza lavoro che l'urbanizzazione, aumentano ulteriormente fino all'83,53%.
4	Apergis, N., Payne, J.E. (2011)	A dynamic panel study of economic development and the electricity consumption-growth nexus. Energy Economics 33, 770–781	1990-2006 88 Paesi	PIL	Consumo di energia elettrica	Forza lavoro Investimenti fissi lordi	Test unit root Test cointegrazione ADF test VAR	Causalità consumo di elettricità ↔ crescita economica per paesi a reddito alto e medio-alto. Causalità consumo di elettricità → crescita economica nel breve periodo, ma causalità bidirezionale nel lungo periodo per i paesi a reddito medio-basso. Causalità consumo di elettricità → crescita economica per i paesi a basso reddito.

Tabella 1: Confronto tra i principali studi

5	Arto, Iñaki et. al. (2016)	The energy requirements of a developed world. Energy for Sustainable Development 33, 1–13	1995-2008 40 Paesi	HDI	TPED	TPEF	Analisi MRIO	I fabbisogni energetici associati ad un alto livello di sviluppo ( $HDI > 0,8$ ) sono maggiori se misurati in termini di TPEF rispetto a TPED. Nessun paese con un TPEF inferiore a 100 GJ/cap mostra $HDI > 0,8$ .
6	Belke, A., Dobnik, F., Dreger, C. (2011)	Energy consumption and economic growth: New insights into the cointegration relationship. Energy Economics 33, 782-789	1981 - 2007 25 Paesi OCSE	PIL p.c.	Consumo di energia finale	Indice dei prezzi dell'energia	Scomposizione delle variabili in componenti comuni e idiosincratice Test unit root Analisi di cointegrazione DOLS PVECM Test di Causalità di Granger GMM	Gli sviluppi internazionali dominano il rapporto tra consumo di energia, crescita economica e prezzi dell'energia (cointegrazione delle componenti comuni delle variabili). Causalità consumo energetico ↔ crescita economica nel lungo periodo.
7	Chica-Olmo, J., Sari-Hassoun, S., Moya-Fernández, P., (2020)	Spatial relationship between economic growth and renewable energy consumption in 26 European countries. Energy Economics 92, 104962	1991–2015 26 Paesi europei	PIL p.c.	Consumo di energia rinnovabile p.c.	Investimenti fissi lordi Forza lavoro	Regressione con dati panel e FE SDM Test unit root ADF-PP Test Test cointegrazione	Un aumento dell'1% del consumo di energia rinnovabile di un paese aumenterà la crescita economica fino allo 0,054% del PIL dei paesi limitrofi.
8	Cserelyei, Z., et. al. (2016)	Energy and Economic Growth: The Stylized Facts. Energy Journal 37, 233-255	1971-2010 99 Paesi	Reddito p.c.	Consumo di energia p.c. Intensità energetica		Analisi cross-section Regressione dati panel OLS	L'intensità energetica diminuisce moderatamente con l'aumento del reddito con un'elasticità intorno a -0,3; il tasso di crescita dell'intensità energetica è correlato negativamente con il tasso di crescita di reddito. In assenza di crescita, l'intensità energetica non migliora.
9	Deichmann, U., et. al. (2019)	The relationship between energy intensity and economic growth: New evidence from a multi-country multi-sectorial dataset. World Development 124, 104664	1990-2014 137 Paesi	PIL	Intensità energetica Consumo di energia finale	Popolazione	Regressione FE Analisi di correlazione	Correlazione negativa tra intensità energetica e crescita economica; il tasso in calo rallenta in modo significativo di circa il 25% dopo che il livello di reddito p.c. raggiunge \$ 5.000

Tabella 1: Confronto tra i principali studi (proseguimento)

10	Diaz, A., et al. (2019)	Economic growth, energy intensity and the energy mix. Energy Economics 81, 1056–1077	1960-2010 134 Paesi	PIL	Intensità energetica Consumo di energia primaria Variabili di energia rinnovabile	Regressione con dati panel	Correlazione negativa tra intensità energetica e crescita: elasticità della crescita del PIL p.c. rispetto all'intensità energetica compresa tra $-0,5$ e $-1,0\%$ . Il passaggio da combustibili fossili a energie rinnovabili convenzionali (idro e biomassa) non determina una crescita di PIL; il passaggio a energie rinnovabili di frontiera (colico, solare, geotermico, ondos) ha effetto positivo sul PIL.
11	Huang B.-N., et al. (2008)	Causal relationship between energy consumption and GDP growth revisited: A dynamic panel data approach. Ecological Economics 67, 41-54	1972-2002 82 Paesi	PIL p.c.	Consumo di energia p.c.	VAR GMM-SYS	Nei paesi a basso reddito, nessuna relazione causale; nei gruppi di reddito medio-basso e medio-alto, relazione economica $\rightarrow$ consumo di energia; nel gruppo ad alto reddito, relazione causale negativa dalla crescita economica al consumo di energia. Nel gruppo ad alto reddito, si ha uso più efficiente dell'energia e riduzione di CO <sub>2</sub> ; Nei paesi del gruppo di reddito medio-alto, l'efficienza energetica diminuisce e il rilascio di CO <sub>2</sub> aumenta.
12	Ingles-Lotz, R. (2016)	The impact of renewable energy consumption to economic growth: A panel data application Energy Economics 53, 58–63	1990-2010 Paesi OECD	PIL PIL p.c.	Consumo energia rinnovabile	Test unit root Regressione con dati panel basata sulla funzione di produzione di Cobb-Douglas Test cointegrazione	Un aumento dell'1% del consumo di energia rinnovabile fa aumentare il PIL dello 0,105% e il PIL pro capite dello 0,100%; un aumento dell'1% della quota di energie rinnovabili nel mix energetico fa aumentare il PIL dello 0,089% e PIL pro capite dello 0,090%.
13	Kahouli, B. (2017)	The short and long run causality relationship among economic growth, energy consumption and financial development: Evidence from South Mediterranean Countries (SMCs). Energy Economics 68, 19–30	1995-2015 6 SMC	PIL p.c.	Consumo energetico p.c.	Test unit root Analisi di cointegrazione ARDL VECM Test di Causalità di Granger	Per Algeria, Israele, Marocco, Tunisia: relazione PIL $\leftrightarrow$ consumo di energia. Per l'Egitto, lo sviluppo finanziario ha un impatto negativo sul consumo di energia, mentre l'aumento del PIL ha un impatto negativo sullo sviluppo finanziario. In Algeria, Libano, Marocco e Tunisia, il consumo energetico ha un impatto positivo sullo sviluppo finanziario.

Tabella 1: Confronto tra i principali studi (proseguimento)

14	Kebede, E., Kagochi, J., Jolly, C.M. (2010)	Energy consumption and economic development in Sub-Saharan Africa. Energy Economics 32, 532–537	1980-2004 20 Paesi in SSA	PIL	Consumo di energia finale	Prezzo del petrolio Crescita della popolazione Valore delle azioni di agricoltura e industria	Analisi cross-section Modello di Parks ADF Unit root test	La domanda di energia aumenta dello 0,55% per ogni aumento percentuale del PIL. Il prezzo del petrolio è altamente anelastico: per una variazione dell'1% del prezzo, la quantità richiesta di petrolio diminuisce dello 0,1% (forte dipendenza da petrolio)
15	Kristjanpoller R., W., et.al. (2018)	Dynamic co-movements between energy consumption and economic growth. A panel data and wavelet perspective. Energy Economics 72, 640–649	1972-2014 74 Paesi	PIL p.c. HDI	Consumo di elettricità p.c.		Regressione con dati panel Test Casualità Granger Analisi di correlazione	Relazione consumo di energia elettrica ↔ PIL nel lungo periodo Per paesi con HDI alto; nel breve e medio periodo causalità PIL → consumo di elettricità. Per paesi con HDI bassi, causalità consumo di elettricità → PIL.
16	Lambert J. G. et. al. (2014)	Energy, EROI and quality of life. Energy Policy 64, 53–167	1970-2009 Tutti i paesi	HDI	Consumo di energia pro capite	EROIsoc Lambert Energy Index GII Tasso di alfabetizzazione femminile Spesa media sanitaria p.c. % bambini sottopeso	Analisi di regressione multipla	Paesi con HDI > 0,7 hanno valori di EROI <sub>soc</sub> > 15:1. Paesi con consumo di energia p.c. < 50 GJ hanno HDI < 0,75. HDI > 0,75 è possibile con appena 120 GJ di consumo energetico p.c.. Paesi con LEI > 0,4 hanno HDI > 0,75. Nazioni con EROI <sub>soc</sub> < 15:1 hanno più del 12% dei bambini sottopeso. Un basso tasso di alfabetizzazione femminile si ha nei paesi con consumo energetico p.c. < 75 GJ; un alto tasso si ha per LEI > 0,25. Alto GII corrisponde ad un basso valore di EROI <sub>soc</sub>
17	Lee C.-C. (2005)	Energy consumption and GDP in developing countries: A cointegrated panel analysis. Energy Economics 27, 415–427	1975-2001 18 Paesi in via di sviluppo	PIL	Consumo di energia	Investimenti lordi	Panel unit root test Test cointegrazione FMOLS Test Granger (ECM)	Relazione causale unidirezionale dal consumo energetico al PIL.

Tabella 1: Confronto tra i principali studi (proseguimento)

18	Moran D. D. et al. (2008)	Measuring sustainable development - Nation by nation. Ecological Economics 64, 470-474	1975-2003 93 Paesi	HDI	Impornta Ecologica Rapporto tra impronta ecologica pro capite nazionale e livello globale di biocapacità pro capite disponibile	Analisi grafica	Nel 2003, solo Cuba ha raggiunto i due requisiti minimi per lo sviluppo (HDI $\geq$ 0,8 e Ratio $\leq$ 1). Le nazioni ad alto reddito hanno aumentato i loro ratio da 1,9 a 3,7. Solo Burundi, Congo, Costa d'Avorio, Malawi, e Uruguay hanno aumentato il loro HDI senza aumentare il loro Rapporto.
19	Narayan, P.K., Smyth, R. (2008)	Energy consumption and real GDP in G7 countries: New evidence from panel cointegration with structural breaks. Energy Economics 30, 2331-2341	1972-2002 Paesi membri del G7	PIL p.c.	Consumo di energia p.c.	Investimenti fissi lordi	Un aumento dell'1% del consumo di energia aumenta il PIL reale dello 0,12-0,39%; un aumento dell'1% degli investimenti aumenta il PIL reale dello 0,1-0,28%.
20	Nguyen-Van, P. (2010)	Energy consumption and income: A semiparametric panel data analysis. Energy Economics 32, 557-563	1980-2004 158 Paesi	PIL p.c.	Consumo totale di energia primaria p.c.	Regressione con dati panel Test unit root GLS FE	Ipotesi EKC non confermata. La curva non parametrica aumenta per quasi tutti i valori di reddito, stabilizzandosi per valori elevati (reddito p.c. di circa 20.000-33.000 dollari). Per la maggior parte dei paesi (in particolare quelli in via di sviluppo), il consumo di energia aumenta rapidamente con lo sviluppo economico.
21	Ouedraogo, N.S. (2013)	Energy consumption and human development: Evidence from a panel cointegration and error correction model. Energy 63, 28-41	1988-2008 15 Paesi in via di sviluppo	HDI	Consumo di energia p.c. Consumo di elettricità p.c.	Prezzo dell'energia	Un aumento dell'1% del consumo energetico p.c. riduce l'HDI dello 0,8%, un aumento dell'1% del consumo di elettricità aumenta l'HDI dello 0,22%. Un aumento dell'1% del prezzo dell'energia riduce l'HDI di circa 0,11%.
22	P. Tonkovic, M., Hussain, S.A. (2017)	Residential and non-residential electricity dynamics. Energy Economics 64, 262-271	1990-2014 USA	PIL p.c.	Consumo di elettricità residenziale e non	Analisi cross-section Test panel unit root Test cointegrazione Test Granger	Relazione di lungo periodo tra consumo di elettricità residenziale e PIL reale; nessuna relazione tra consumo non residenziale e PIL reale.

Tabella 1: Confronto tra i principali studi (proseguimento)

23	Pasternak, A. D. (2000)	Global Energy Futures and Human Development: A Framework for Analysis. U.S. Department of Energy, Lawrence Livermore National Laboratory	1997-2020 60 Paesi	HDI	Consumo energia elettrica p.c. Intensità energetica	Analisi grafica	Nessun paese con consumo annuo di elettricità p.c. <4.000 kWh ha un HDI $\geq$ 0,9. 24 Paesi con HDI <0,7 hanno un consumo annuo di elettricità p.c. < 1000 kWh. Solo il 14,6% della popolazione del campione ha HDI $\geq$ 0,9. L'intensità elettrica ed energetica hanno valori bassi nei paesi con HDI > 0,9.
24	Pretty, J. (2013)	The Consumption of a Finite Planet: Well-Being, Convergence, Divergence and the Nascent Green Economy. Environmental and Resource Economics 55, 475–499	189 Paesi	PIL p.c. HDI	Indicatori di consumo energetico (petrolio, acqua, macchine)	Analisi grafica	Se il PIL p.c. è molto basso, la soddisfazione di vita aumenta bruscamente con qualsiasi aumento del PIL. Sopra una soglia di 10.000\$, i paesi benestanti portano rendimenti decrescenti per la soddisfazione della vita. I paesi poveri ottengono benefici consumando di più ed emettendo di più, ma oltre circa 2t di CO2 emesse p.c., non vi è più una relazione.
25	Rajbhandari, A., Zhang, F. (2018)	Does energy efficiency promote economic growth? Evidence from a multicountry and multisectoral panel dataset. Energy Economics 69, 128–139	1978-2012 56 Paesi	PIL	Consumo di energia finale Intensità energetica	Prezzo energia Test causalità di Granger (VECM) Test cointegrazione Test unit root	Causalità bidirezionale tra intensità energetica e crescita economica per le economie a reddito medio-basso. Causalità bidirezionale tra intensità energetica industriale e crescita economica per le economie a reddito medio-alto.
26	Richmond, A.K., Kaufmann, R.K. (2006)	Is there a turning point in the relationship between income and energy use and/or carbon emissions? Ecological Economics 56, 176–189	1973-1997 36 Paesi (20 OECD)	PIL	Consumo energia primaria	Emissioni CO2 ADF Analisi di Regressione	Per le nazioni non OECD, non c'è punto di svolta nel rapporto tra reddito e consumo di energia o emissioni di carbonio; la relazione è positiva. Per i paesi OECD: per l'uso energetico pro capite, il punto di svolta è \$32.900, per il rapporto reddito/emissioni di carbonio è \$25.500.
27	Rodríguez-Caballero, C.V., Ventosa-Santaulària, D. (2017)	Energy-growth long-term relationship under structural breaks. Evidence from Canada, 17 Latin American economies and the USA. Energy Economics 61, 121–134	1971-2011 Canada, USA, 17 Paesi America Latina	PIL p.c.	Consumo energia elettrica p.c.	Test unit root (ADF, PP) Test cointegrazione VECM	Evidenze favorevoli all'ipotesi di crescita (EPC $\rightarrow$ PIL) per otto paesi; tre paesi supportano l'ipotesi di conservazione (PIL $\rightarrow$ EPC).

Tabella 1: Confronto tra i principali studi (proseguimento)

28	Soytas, U., Sari, R. (2003)	Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets. Energy Economics 25, 33-37	1950-1992 16 Paesi	PIL, p.c.	Consumo di energia	Test unit root Test DF, PP, ADF Test Granger VECM	Causalità unidirezionale di lungo periodo da consumo di energia a PIL per Turchia, Francia, Germania e Giappone. Realzione invertita per Italia e Corea; Relazione bidirezionale di lungo periodo per Australia e Turchia. In nessuno degli altri paesi consumo di energia e PIL hanno relazioni significative.
29	Steinberger, J.K.; Roberts, J.T. (2010)	From constraint to sufficiency: The decoupling of energy and carbon from human needs, 1975-2005. Ecological Economics 70, 425- 433	1975-2005 Proiezioni al 2030 Tutti i Paesi	Reddito HDI	TPES	Emissioni di carbonio Aspettativa di vita Alfabetizzazione	Per livelli costanti di energia e consumo di carbonio, HDI cresce nel tempo (disaccoppiamento). Alti tassi di alfabetizzazione sono ottenibili a livelli di utilizzo delle risorse molto bassi. Nel 1975, si ottenevano HDI elevati con un consumo p.c. di 100 GJ e 2,2 tonnellate di carbonio p.c. Nel 2005, le soglie di PIL e HDI corrispondevano a 60 GJ e 1 tonnellata di carbonio. Per il 2030, i valori dovrebbero diminuire ulteriormente a 25 GJ e 0,25 tonnellate di carbonio.

Tabella 1: Confronto tra i principali studi (proseguimento)

## 2. Metodologia

I dati raccolti si riferiscono a 132 Paesi e coprono un lasso di tempo che va da 1960 al 2019<sup>6</sup>. La fonte principale da cui sono stati selezionati gli indicatori è la World Bank la quale, a sua volta, cita come fonte degli indicatori energetici l'International Energy Agency (IEA); l'HDI e l'indice di istruzione, infine, sono stati estratti dal data center dell'ONU, e l'HIHD da Hespacio Investiga.

Nel corso degli anni, alcuni Paesi hanno subito delle trasformazioni modificando i propri confini territoriali, e si è quindi assistito al cambiamento di alcuni Stati o alla nascita di nuovi. In questi casi, l'analisi dei dati è stata portata avanti considerando il successore dello Stato che ha subito una modifica dei confini e trattando come nuove entità separate gli stati emergenti a partire dalla loro nascita<sup>7</sup>.

### 2.1 Analisi descrittiva

L'andamento di alcuni indicatori è presentato nella Tabella 2.1 e i dati ricoprono il periodo 1960-2019. Le statistiche descrittive vengono proposte in tre modalità differenti: (i) *globale*, in riferimento al totale delle osservazioni; (ii) *between*, in riferimento alla variazione delle medie nel tempo; (iii) *within*, in riferimento alla variazione media all'interno del singolo Paese.

Osservando la media globale, l'aspettativa di vita è di 66 anni e, nel periodo di osservazione, è aumentata di circa 6 anni nel singolo paese, mentre gli anni medi di istruzione risultano essere 9. Si registra un aumento globale del PIL pro capite di 17.007\$ e nel singolo paese di 6.820\$ negli ultimi 50 anni, così come si osserva un aumento medio dell'HDI di 0,15 e una media attuale che si attesta attorno allo 0,7 (gli andamenti medi globali di PIL pro capite e di HDI sono riportati rispettivamente nelle *Fig. 2.1 e 2.2*). Tuttavia, l'indice di GINI è aumentato del 9,26%, evidenziando un aumento della disuguaglianza nella distribuzione del reddito. Il valore medio del Reddito Netto corretto pro capite è invece inferiore al valore medio del PIL (è infatti pari a 11.670\$) e segnala un valore minimo addirittura negativo; questa differenza è data dal fatto che l'RNN corretto considera

---

<sup>6</sup> Fanno eccezione alcuni indicatori per cui si hanno dati solo fino al 2014-2015 (come il consumo di energia e il consumo di elettricità); altri di cui si hanno dati a partire dal 1990 (come il consumo di energia rinnovabile, l'accesso all'elettricità e l'HDI); altri ancora che partono dal 1970 (come l'indice di istruzione e l'RNN corretto).

<sup>7</sup> Esempio: è stato dato lo stesso codice identificativo a URSS e Russia; Croazia, Slovenia e gli altri Stati facenti parti della Jugoslavia vengono considerati separatamente in seguito alla divisione.

che l'aumento di ricchezza comporta anche l'esaurimento di risorse naturali (come terra, foreste e risorse del sottosuolo), tipi di capitale fondamentali per sostenere la crescita economica nel lungo periodo. In questo senso, tale indicatore misura meglio il reddito disponibile per il consumo o per gli investimenti per aumentare il consumo futuro di un Paese.

Passando invece ad analizzare i consumi energetici, in media, l'84% della popolazione mondiale ha accesso all'elettricità, con un aumento del 25,58% nei 132 Paesi osservati; il consumo elettrico pro capite globale è di 3.190,79 kWh/persona, con un aumento nel singolo paese di 2.288,23 kWh/persona. Il consumo di energia pro capite varia globalmente da 86,77 kg di petrolio equivalente a 22.120,37 koe, mentre si registra un consumo medio di energia rinnovabile pari al 29,98%, con un aumento nel singolo paese del 5,23% nei 25 anni osservati.

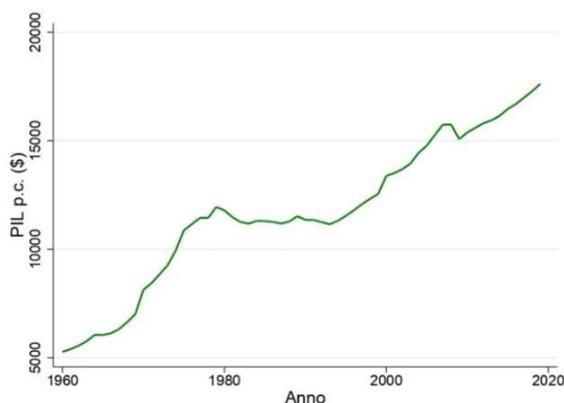


Figura 2.1: Andamento medio del PIL pc

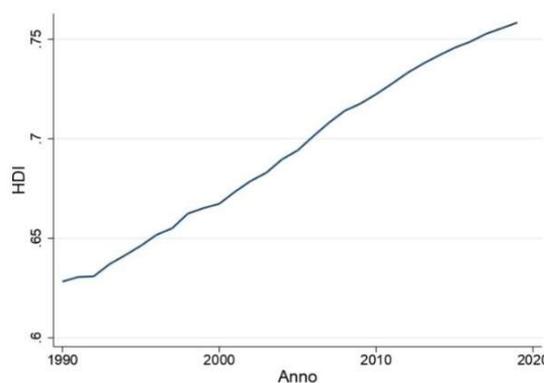


Figura 2.2: Andamento medio di HDI

Indicatore	Analisi	Media	Dev. Std.	Min	Max	N/n/T
<b>Consumo di energia pro capite (koe)</b>	Globale	2295,28	2679,77	86,77	22120,37	5569
	Between		2412,82	131,10	15441,87	132
	Within		964,91	-5392,62	11958,15	42,189
<b>Consumo di elettricità pro capite (kWh)</b>	Globale	3190,79	4558,57	5,7577	54799,17	5541
	Between		3655,56	27,32	19781,98	132
	Within		2288,23	-13346,93	28827,96	41,98
<b>Consumo energia rinnovabile</b>	Globale	29,98	29,25	0	98,34	3389
	Between		28,94	0	96,47	132

<b>(% consumo di energia finale)</b>	Within		5,23	4,58	55,88	25,67
<b>Accesso all'elettricità (% popolazione)</b>	Globale	84,22	26,20	2,30	100	3269
	Between		25,58	10,51	100	132
	Within		6,64	46,20	135,49	24,77
<b>PIL pro capite (const 2010 US\$)</b>	Globale	12297,87	17007,94	132,08	116232,75	6501
	Between		15548,22	279,71	67009,23	131
	Within		6820,11	-27625,77	63914,13	49,63
<b>HDI (valore da 0 a 1)</b>	Globale	0,70	0,15	0,22	0,957	3796
	Between		0,147	0,298	0,918	132
	Within		0,048	0,56	0,82	28,76
<b>Indice di GINI (%)</b>	Globale	38,30	9,26	22,2	64,80	1436
	Between		8,398	24,89	61,71	120
	Within		2,76	25,17	53,78	11,97
<b>Aspettativa di vita (anni)</b>	Globale	65,92	10,48	18,91	84,21	7746
	Between		8,71	45,21	78,00	132
	Within		5,86	34,86	85,52	58,68
<b>Indice di istruzione (anni)</b>	Globale	9,17	3,13	0,24	14,37	1018
	Between		3,26	1,05	13,97	124
	Within		1,46	2,61	13,61	8,21
<b>Popolazione totale</b>	Globale	38158165	128797021,4	47384	1397715000	7879
	Between		124316133,64	257333,7	1087869666,67	132
	Within		34276702,92	-391880873,14	523989201,86	59,69
<b>Popolazione urbana (% popolazione totale)</b>	Globale	53,96	22,93	3,06	100	7882
	Between		21,17	9,98	100	132
	Within		8,95	9,55	88,59	59,71
<b>Reddito Nazionale Netto corretto pro capite (const 2010 US\$)</b>	Globale	11670,2	14099,22	-1956,75	82834,16	4195
	Between		12350,41	255,30	51182,15	128
	Within		4780,578	-18380	45813,44	32,77

Tabella 2.1: Andamenti globali di alcuni indicatori

Per analizzare meglio l'andamento del consumo energetico in relazione al PIL pro capite, i Paesi sono stati suddivisi in tre gruppi distinti in base al reddito<sup>8</sup> (Fig. 2.3). Nei Paesi ad alto

<sup>8</sup> La classificazione adottata dalla Banca Mondiale, in base al reddito pro capite, è la seguente: Alto Reddito se eccede i 12.375\$; Reddito Medio-Alto se compreso tra 3.996 e 12.375\$; Reddito Medio-Basso se compreso tra 1.026 e 3.996\$; Reddito Basso se inferiore a 1.026\$.

reddito e a reddito medio-alto, all'aumentare del consumo energetico si riscontra un aumento del PIL pro capite, il quale sembra rimanere costante nell'ultimo tratto di curva (corrispondente agli ultimi anni di osservazione) nonostante il consumo energetico diminuisca. Nei Paesi a reddito basso e medio-basso, invece, la relazione tra le due grandezze nel corso degli anni non è altrettanto chiara.

Analizzando alcuni paesi singolarmente, le *Figure 2.4 e 2.5* mostrano la relazione tra PIL e consumo energetico rispettivamente per un paese ad alto reddito (Norvegia) e un paese a reddito basso (Sudan): la Norvegia mostra un andamento quasi lineare, per poi raggiungere un plateau nell'ultimo tratto di curva, mentre il Sudan riporta un andamento inverso, associando un valore maggiore di PIL pro capite ad un valore basso di consumo energetico.

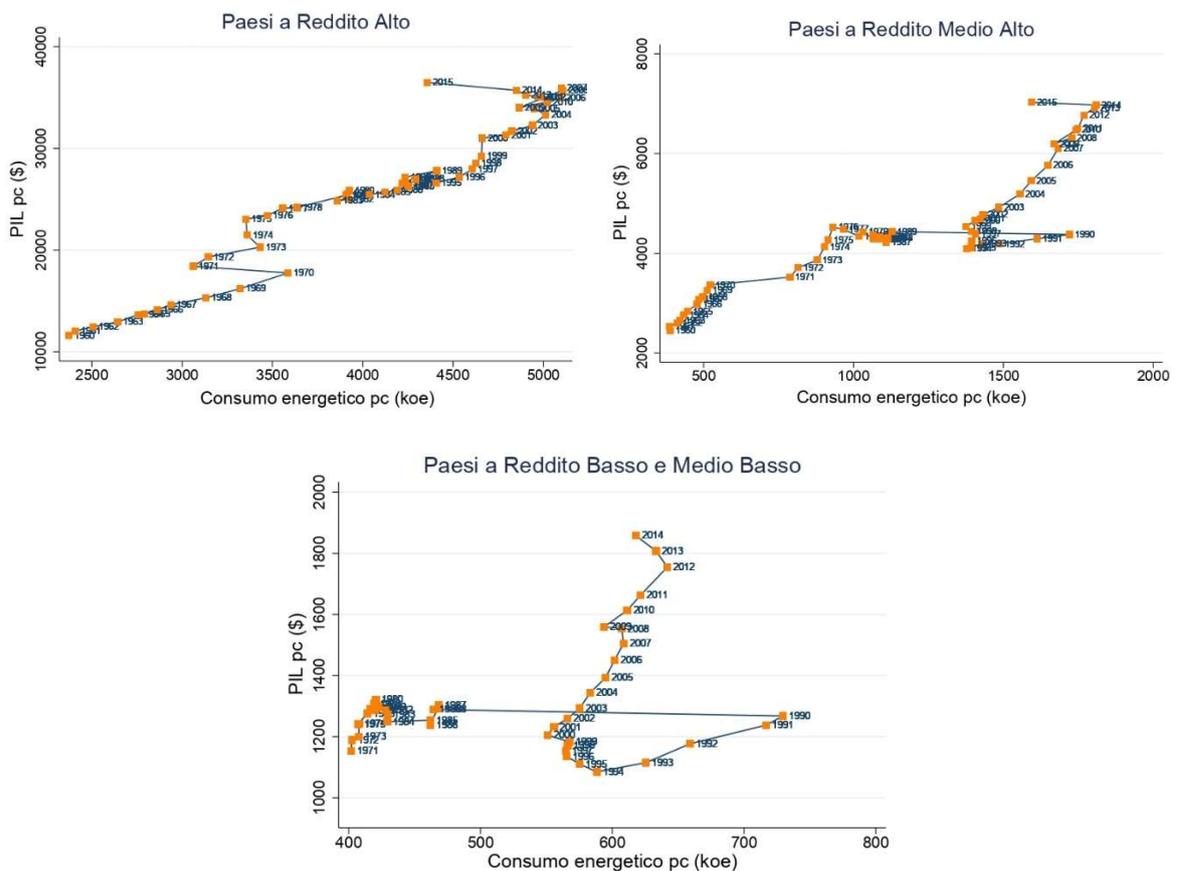


Figura 2.3: Relazione PIL - consumo energetico nei Paesi suddivisi per reddito

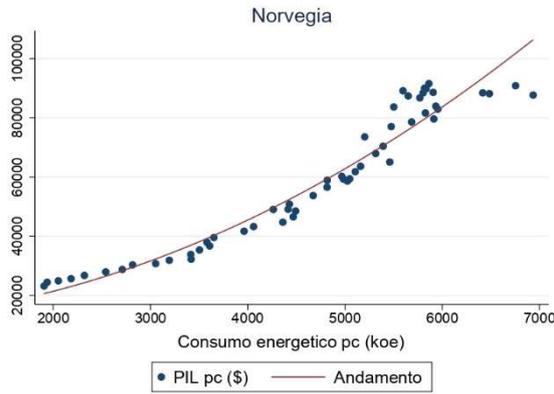


Figura 2.4: PIL-Consumo energetico (Norvegia)

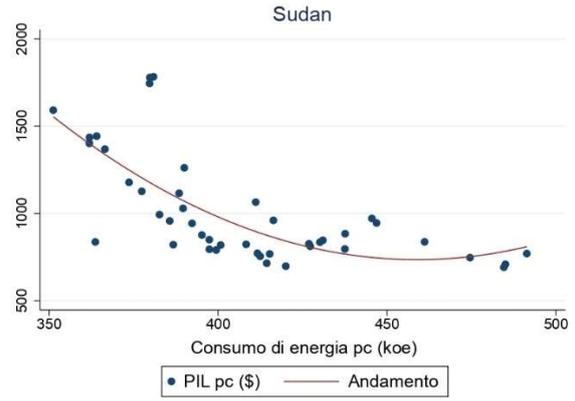
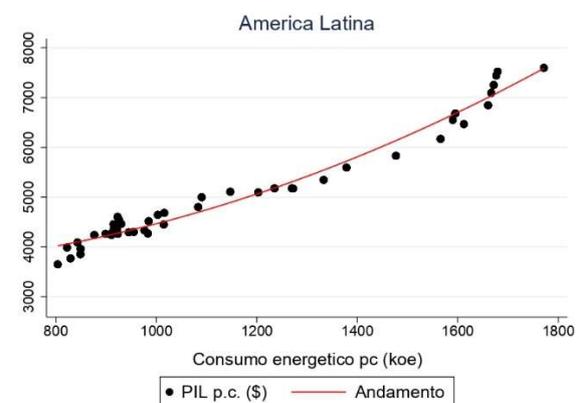
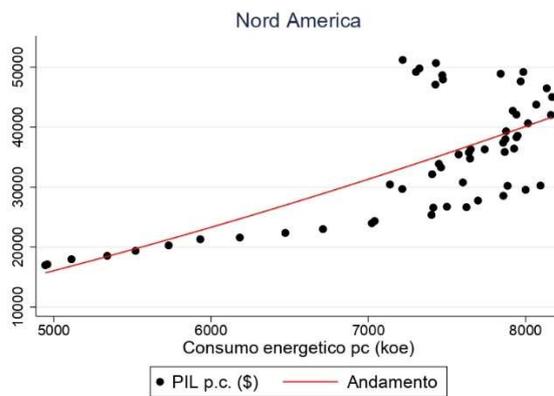
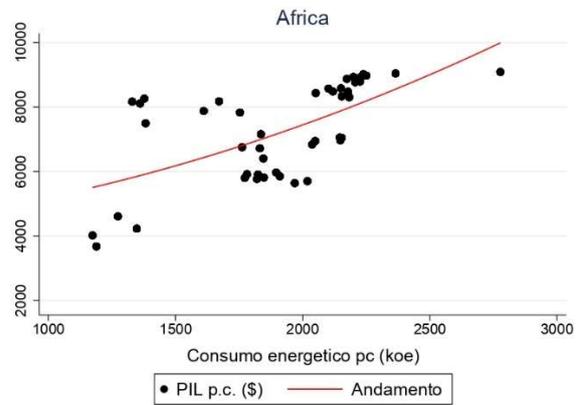
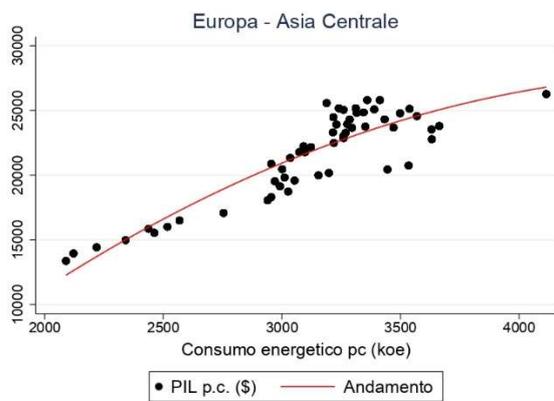


Figura 2.5: PIL-Consumo energetico (Sudan)

La Fig. 2.6 riporta l'andamento del PIL rispetto al consumo energetico nei Paesi suddivisi per area geografica. L'andamento crescente del PIL p.c. all'aumentare del consumo energetico sembra essere preponderante, ad eccezione di Africa e Est Asia, in cui la relazione tra le due grandezze risulta essere meno chiara. L'andamento riscontrato in Nord America risulta coerente con quello trovato per i Paesi ad alto reddito, in quanto presenta nell'ultimo tratto una diminuzione del consumo energetico non associato ad una diminuzione del PIL p.c.



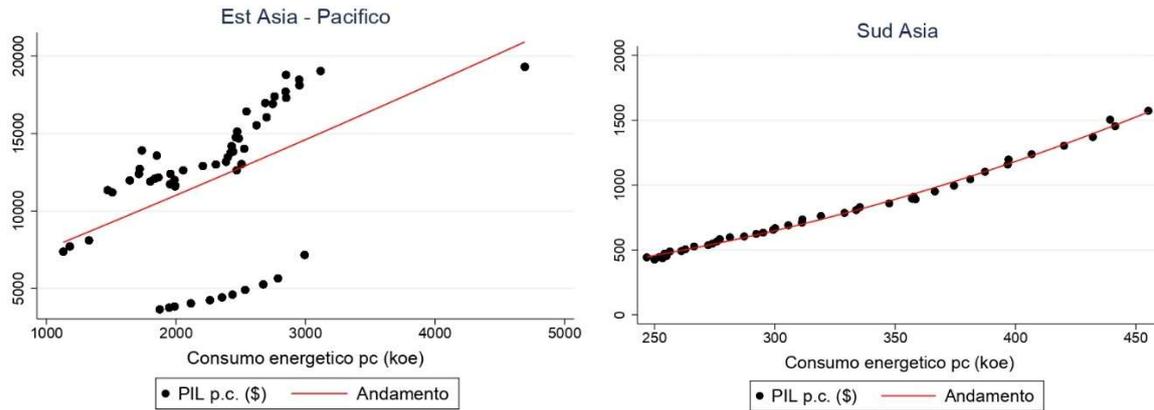


Figura 2.6: Relazione PIL - consumo energetico nei Paesi suddivisi per area geografica

Per quanto riguarda il consumo di energia rinnovabile, dalla Fig. 2.7 si può notare come i Paesi a reddito basso e medio basso consumino in media una percentuale di energia rinnovabile decisamente superiore rispetto ai Paesi con redditi elevati. Tuttavia, in tre gruppi di Paesi si riscontra che all'aumento del consumo di energia rinnovabile, il PIL pro capite tende a diminuire; fa eccezione il gruppo di Paesi ad alto reddito, in cui in PIL sembra non subire grossi cambiamenti nonostante la percentuale di consumo energetico rinnovabile aumenti.

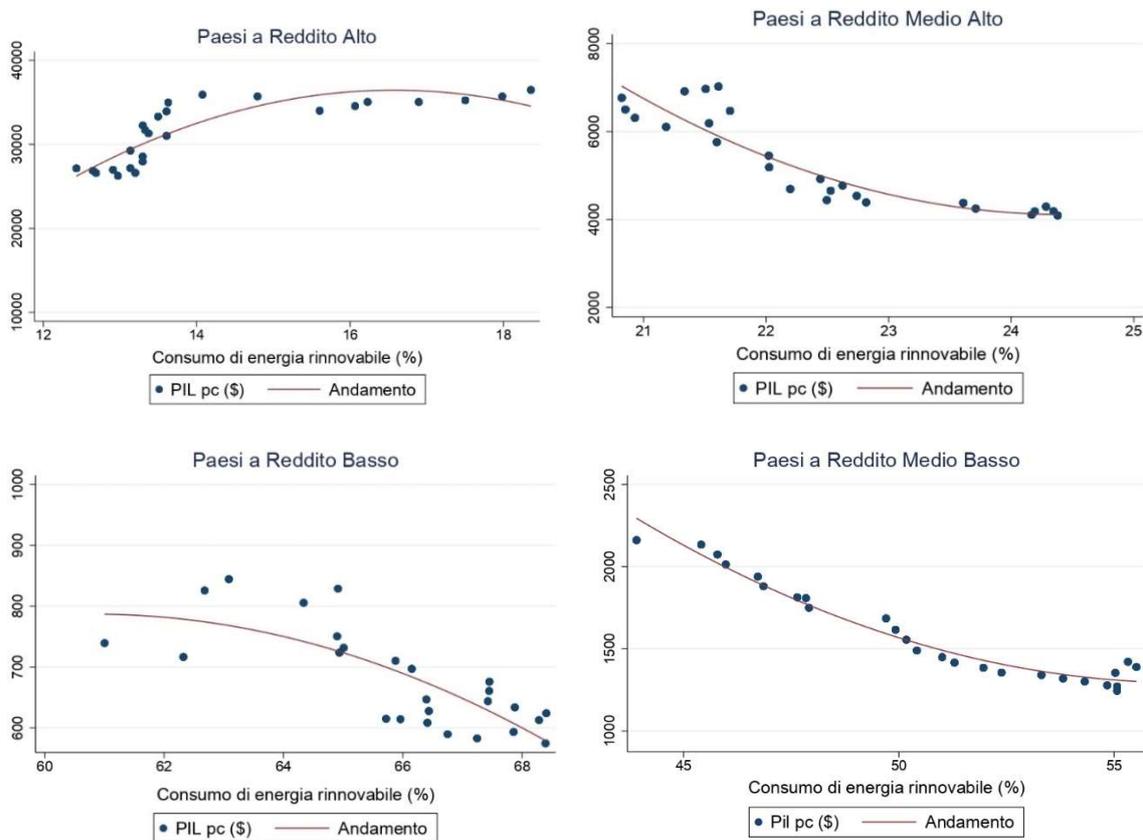
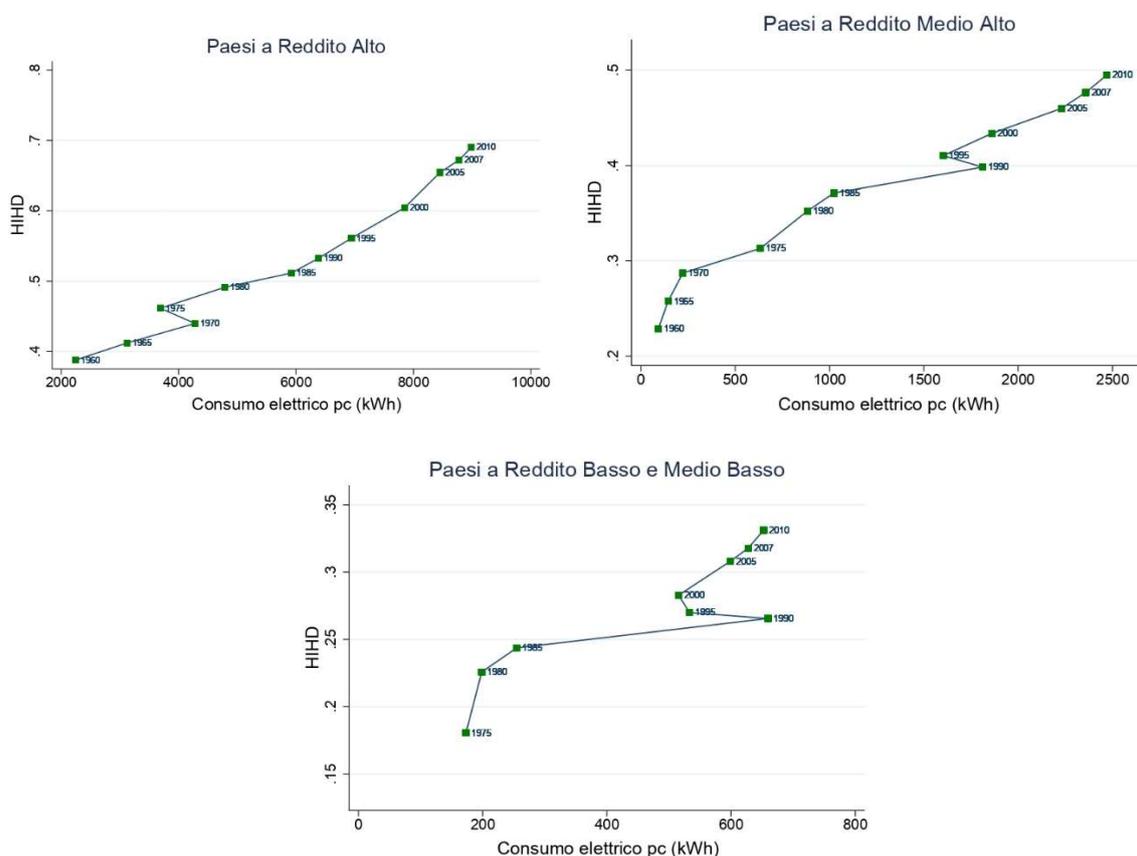


Figura 2.7: Andamento PIL-Consumo energetico rinnovabile nei Paesi suddivisi per reddito

Analizzando invece la relazione tra HIHD<sup>9</sup> e il consumo elettrico, sempre suddividendo i Paesi in base al reddito (*Fig. 2.8*), si nota come in questo caso l'andamento sembra essere lo stesso in tutte le classi di reddito, associando l'aumento del consumo elettrico ad un valore superiore di sviluppo umano.



*Figura 2.8: Relazione HIHD-Consumo elettrico nei Paesi suddivisi per reddito*

La relazione positiva tra consumo elettrico e benessere può essere riscontrata anche osservando l'aspettativa di vita, una delle componenti utilizzate nel calcolo sia dell'HIHD che dell'HDI. Infatti, confrontando come in precedenza un Paese a basso reddito e uno a reddito alto, si può notare come, seppur con andamenti differenti, in entrambi i casi ad un consumo elettrico maggiore è associata un'aspettativa di vita superiore. Le *Fig. 2.9 e 2.10* riportano tali andamenti rispettivamente per Etiopia e Italia.

<sup>9</sup> Viene confrontato l'HIHD al posto dell'HDI in quanto, nonostante tale indicatore riporti i dati ogni cinque anni, essi vengono presi in considerazione dal 1960 (e non solo dal 1990 come l'HDI), permettendo di analizzare in modo più completo il loro andamento.

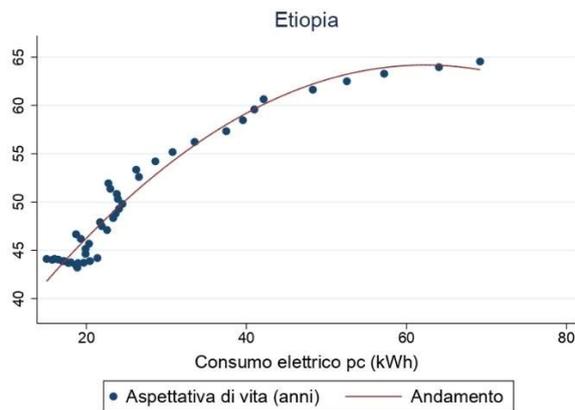


Figura 2.9: Consumo elettrico-Aspettativa di vita (Etiopia)

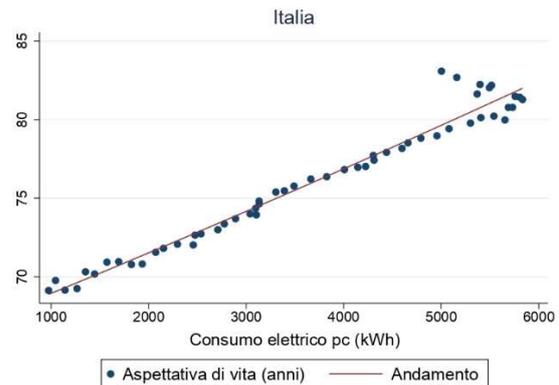


Figura 2.10: Consumo elettrico-Aspettativa di vita (Italia)

## 2.1 Analisi econometrica

Lo studio della relazione tra consumo energetico e sviluppo economico è stato condotto attraverso l'analisi di regressione con dati panel e effetti fissi. Tale modello viene utilizzato per controllare le variabili omesse nei dati panel quando le variabili omesse variano tra le entità (i singoli Paesi in questo caso) ma non nel tempo.

Il modello di regressione con effetti fissi si esprime nel seguente modo<sup>10</sup>:

$$Y_{it} = \beta_1 X_{1,it} + \dots + \beta_k X_{k,it} + \alpha_i + u_{it}$$

con  $i = 1, \dots, n$  e  $t = 1, \dots, T$  dove  $X_{1,it}$  è il valore del primo regressore per l'entità  $i$  al tempo  $t$ ,  $X_{2,it}$  è il valore del secondo regressore e così via,  $\alpha_1, \dots, \alpha_n$  sono le intercette specifiche per ciascuna entità e  $u_{it}$  è il termine di errore. In particolare, il termine  $\alpha_i$  può essere scomposto a sua volta nel seguente modo:

$$\alpha_i = \beta_0 + \beta_2 Z_i$$

dove  $Z_i$  è una variabile inosservata che varia da uno stato a un altro ma non cambia nel tempo (può rappresentare, ad esempio, alcuni aspetti culturali). L'obiettivo è quello di stimare l'effetto su  $Y$  delle  $X$ , tenendo costanti le caratteristiche inosservate dello stato  $Z$ .

<sup>10</sup> Fonte: (Stock, Watson, e Legoprint 2005), "Introduzione all'econometria"

## 2.1.1 Variabili

### Variabili di controllo<sup>11</sup>

- Investimenti lordi: sono costituiti da spese aggiunte alle immobilizzazioni più variazioni nette nel livello delle scorte (intese come scorte di merci detenute dalle imprese per far fronte a fluttuazioni temporanee o impreviste della produzione o delle vendite). Le immobilizzazioni includono miglioramenti del terreno (recinzioni, fossati, canali di scolo e così via), acquisti di impianti, macchinari e attrezzature, costruzione di strade, ferrovie e simili, scuole, uffici, ospedali, abitazioni residenziali private ed edifici commerciali e industriali. Il dato è espresso in dollari al valore costante del 2010.
- Forza lavoro: comprende persone di età pari o superiore a 15 anni che forniscono manodopera per la produzione di beni e servizi durante un determinato periodo. Comprende le persone che sono attualmente occupate e coloro che sono disoccupate ma in cerca di lavoro, nonché le persone in cerca di lavoro per la prima volta. Dato espresso in anni.
- Popolazione urbana: si riferisce alle persone che vivono nelle aree urbane come definite dagli uffici statistici nazionali. Viene calcolato utilizzando le stime della popolazione della Banca mondiale e i rapporti urbani dalle Prospettive di urbanizzazione mondiale delle Nazioni Unite. Espressa come percentuale della popolazione totale.
- Importazioni nette di energia (% consumo energetico): stimate come consumo energetico meno produzione energetica, entrambi misurati in petrolio equivalente. Un valore negativo indica che il paese è un esportatore netto. L'uso di energia si riferisce all'uso di energia primaria prima della trasformazione in altri combustibili per uso finale.

### Variabili dipendenti

- PIL pro capite<sup>12</sup>: è il prodotto interno lordo diviso per la popolazione di metà anno. Il PIL è la somma del valore aggiunto lordo di tutti i produttori residenti più eventuali tasse sui prodotti e meno eventuali sussidi non inclusi nel valore dei prodotti. I dati sono in dollari al valore costante del 2010.

---

<sup>11</sup> Fonte: World Bank

<sup>12</sup> Fonte: World Bank

- HDI<sup>13</sup>: l'indice di sviluppo umano è la media geometrica di tre indici normalizzati quali l'aspettativa di vita, gli anni medi di istruzione e l'RNL.
- Reddito nazionale netto corretto (Adjusted net national income<sup>14</sup>) pro capite: corrisponde all'RNN meno il consumo di capitale fisso e l'esaurimento delle scorte naturali (come terra, foreste e risorse del sottosuolo). Espresso in dollari al valore costante del 2010. Tale indicatore è particolarmente utile nel monitoraggio delle economie a basso reddito e ricche di risorse, come molti paesi dell'Africa subsahariana, poiché tali economie spesso vedono un grande esaurimento delle risorse naturali. Tenendo conto del consumo dell'esaurimento del capitale fisso e naturale, il reddito nazionale netto corretto misura meglio il reddito disponibile per il consumo o per gli investimenti per aumentare il consumo futuro di un paese.
- HIHD (Historical Index of Human Development<sup>15</sup>): calcolato analogamente all'HDI, è la somma geometrica tra aspettativa di vita, tasso di alfabetizzazione (% di popolazione di 15 anni o più in grado di leggere e scrivere) e PIL pro capite. Il vantaggio di questo indicatore è che, rispetto all'HDI, esso viene calcolato a partire dal 1960 (e non dal 1990).

### **Variabili indipendenti**

- Consumo di energia pro capite<sup>16</sup>: si riferisce all'uso di energia primaria prima della trasformazione in altri combustibili per uso finale; è uguale alla produzione interna più importazioni e variazioni di stock, meno esportazioni e combustibili forniti a navi e aeromobili impegnati nel trasporto internazionale. Include energia da combustibili rinnovabili e rifiuti. Espresso in kg di petrolio equivalente.
- Intensità energetica: variabile derivata, calcolata come consumo di energia pro capite su PIL pro capite.
- Consumo di elettricità pro capite<sup>17</sup>: misura la produzione di centrali elettriche e di centrali termiche ed elettriche meno le perdite di trasmissione, distribuzione e trasformazione e l'uso proprio da parte delle centrali stesse. Espresso in kWh.

---

<sup>13</sup> Fonte: ONU

<sup>14</sup> Fonte: World Bank

<sup>15</sup> Fonte: Hespacio Investiga

<sup>16</sup> Fonte: World Bank (da IEA)

<sup>17</sup> Fonte: World Bank (da IEA)

### 2.1.2 Modello econometrico

Il modello di regressione oggetto di questo studio è il seguente:

$$Y_{it} = \beta_1 X_{it} + \beta_2 X_{it}^2 + \beta_3 \Delta Y_i + \beta_4 \text{Investimenti lordi}_{it} + \beta_5 \text{Forza Lavoro}_{it} \\ + \beta_6 \text{Popolazione urbana}_{it} + \beta_7 \text{Importazioni nette di energia}_{it}$$

in cui  $Y$  prende i seguenti valori: PIL, Reddito Netto Adjusted (entrambi nella forma pro capite), HDI, HIHD; mentre  $X$  prende i seguenti valori: Consumo di energia, Consumo elettrico (entrambi nella forma pro capite), Intensità energetica.

Quasi tutti i modelli sono espressi nella forma log-log, in cui una variazione percentuale dell'1% in  $X_i$  determina una variazione pari a  $\beta_i\%$  in  $Y$ . Fanno eccezione le regressioni con HDI e HIHD come variabile dipendenti: si tratta infatti di un modello lin-log in cui una variazione percentuale dell'1% in  $X_i$  determina una variazione pari a  $0,01\beta_i$  in  $Y$ .

### 3. Risultati

I risultati delle regressioni a livello globale sono riportati in Appendice, mentre nel seguente capitolo sono stati analizzati i Paesi suddividendoli in base al reddito o in base alla collocazione geografica, in modo tale da ottenere stime più accurate delle relazioni tra le variabili, tenendo in considerazione l'eterogeneità del campione. Nello specifico, sono state riprese le classificazioni eseguite dalla World Bank nel seguente modo:

- i. In base al reddito: Alto Reddito (AR) se il reddito pro capite eccede i 12.375\$; Reddito Medio-Altro (MA) se compreso tra 3.996 e 12.375\$; Reddito Medio-Basso (MB) se compreso tra 1.026 e 3.996\$; Reddito Basso (BR) se inferiore a 1.026\$.
- ii. In base alla posizione geografica: Europa-Asia Centrale; America Latina; Nord America; Est Asia e Pacifico; Sud Asia; Africa<sup>18</sup>.

Inoltre, le variabili di controllo (quali investimenti lordi, forza lavoro, popolazione urbana e importazioni nette di energia ) non saranno presentate in tabella, e gli errori standard sono riportati in parentesi sotto i coefficienti.

#### 3.1 PIL e consumi

##### 3.1.1 PIL e Consumo di energia

I risultati della relazione tra PIL p.c. e consumo energetico p.c. a livello globale mostrano come il consumo di energia abbia esclusivamente un effetto lineare sul PIL, il quale aumenta dello 0.38% per ogni variazione percentuale del consumo, con un livello di significatività dell'1% (*Appendice B1*).

Suddividendo i Paesi in base al reddito (*Tabella 3.1.1*), la sola significatività del modello lineare viene confermata e l'impatto maggiore si riscontra nei Paesi a reddito medio alto in cui, per ogni variazione percentuale del consumo energetico p.c., il PIL p.c. aumenta dello 0.46% con una significatività del 5%. In tutti e tre i casi, l' $R^2$  mantiene valori elevati, confermando la bontà di adattamento del modello.

Considerando l'eterogeneità dei Paesi presi in considerazione, nonché il lasso di tempo preso in esame, è opportuno indagare l'andamento della relazione raggruppando i

---

<sup>18</sup> Per l'elenco dei Paesi utilizzati suddivisi in base al reddito e in base alla collocazione geografica, si rimanda all'*Appendice A*.

Paesi non solo in base al reddito, ma anche in base alla loro collocazione geografica.

	AR	MA	MB-BR
	(1)	(1)	(1)
log(consumo energia pc) di	0.31*** (0.08)	0.46** (0.11)	0.29*** (0.10)
Osservazioni	1122	766	840
Paesi	49	38	40
R <sup>2</sup>	0.89	0.84	0.78
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.1.1: PIL e consumi energetici nei Paesi suddivisi per reddito

L'effetto lineare del consumo di energia rimane significativo in tutti i gruppi eccetto che in America, e ha un impatto maggiore in Est Asia, dove l'aumento percentuale del consumo genera un aumento del PIL dello 0.50% con una bontà di adattamento pari a 0.93 (Tabella 3.1.5). Nella zona Europa-Asia centrale (Tabella 3.1.2), l'introduzione del modello quadratico porta il coefficiente del modello lineare ad aumentare da 0.35 a 1.50 (crescita che si ripete introducendo anche il modello con il delta), ma l'effetto quadratico del consumo energetico non risulta significativo, così come il modello riportante il delta del PIL p.c.

	log (PIL pc)	log (PIL pc)	log (PIL pc)
	(1)	(2)	(3)
log (consumo energia pc) di	0.35*** (0.12)	1.50* (0.77)	1.63** (0.79)
log (consumo energia pc) <sup>2</sup> di		-0.07 (0.05)	-0.08 (0.05)
D.log (PIL pc)			0.28 (0.20)
Osservazioni	1028	1028	1016
Paesi	46	46	46
R <sup>2</sup>	0.84	0.85	0.85
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.1.2: PIL e consumi energetici in Europa e Asia Centrale

In America Latina (Tabella 3.1.3), l'introduzione del modello quadratico (2) non solo risulta significativo, ma porta l'effetto lineare ad aumentare e diventare negativo (un aumento percentuale del consumo energetico p.c. fa diminuire il PIL p.c. del 2.38%), con una significatività del 10%; tale risultato è confermato anche con l'introduzione del modello (3), e la dipendenza del PIL p.c. dal suo stesso valore registrato nel periodo precedente risulta

maggiormente significativo, rifiutando l'ipotesi che il coefficiente sia nullo con una significatività del 5%.

	log (PIL pc) (1)	log (PIL pc) (2)	log (PIL pc) (3)
Log (consumo di energia pc)	0.00 (0.13)	-2.38* (1.24)	-2.52* (1.22)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>		0.18* (0.10)	0.19* (0.09)
D.log (PIL pc)			0.23** (0.10)
Osservazioni	461	461	461
Paesi	20	20	20
R <sup>2</sup>	0.86	0.88	0.88
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.1.3: PIL e consumi energetici in America Latina

Anche in Nord America (Tabella 3.1.4) si riscontra un effetto negativo del modello lineare, sia quando viene analizzato singolarmente (1), sia quando si introduce l'effetto quadratico (2), ma cambia drasticamente il valore del coefficiente, passando da -0.54 a -8.84 pur rimanendo invariata la significatività all'1%. L'effetto quadratico segnala una variazione dello 0.46% del PIL p.c. ad ogni aumento percentuale del consumo, mentre con l'introduzione del delta del PIL (3) le relazioni non risultano più essere statisticamente significative.

	log (PIL pc) (1)	log (PIL pc) (2)	log (PIL pc) (3)
Log (consumo di energia pc)	-0.54*** (0.00)	-8.84*** (0.00)	4.70 (.)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>		0.46*** (0.00)	-0.29 (.)
D.log (PIL pc)			0.74 (.)
Osservazioni	52	52	52
Paesi	2	2	2
R <sup>2</sup>	0.99	0.99	0.99
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.1.4: PIL e consumi energetici in Nord America

	log (PIL pc) (1)	log (PIL pc) (2)	log (PIL pc) (3)
Log (consumo di energia pc)	0.50*** (0.12)	-0.05 (0.63)	-0.06 (0.64)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>		0.04 (0.04)	0.04 (0.04)
D.log (PIL pc)			-0.03 (0.25)
Osservazioni	319	319	319
Paesi	15	15	15
R <sup>2</sup>	0.93	0.93	0.93
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.1.5: PIL e consumi energetici in Est Asia e Pacifico*

	log (PIL pc) (1)	log (PIL pc) (2)	log (PIL pc) (3)
Log (consumo di energia pc)	0.20 (0.24)	-0.17 (0.90)	-0.15 (0.90)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>		0.03 (0.07)	0.03 (0.07)
D.log (PIL pc)			0.09 (0.28)
Osservazioni	114	114	114
Paesi	5	5	5
R <sup>2</sup>	0.99	0.99	0.99
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.1.6: PIL e consumi energetici in Sud Asia*

Anche per la regione africana (*Tabella 3.1.7*) l'unico modello significativo risulta essere quello lineare (1), in cui una variazione percentuale del consumo energetico p.c. comporta una variazione del PIL p.c. dello 0.23%, anche se in questo caso si ottiene una bontà di adattamento inferiore (pari a 0.72).

	log (PIL pc) (1)	log (PIL pc) (2)	log (PIL pc) (3)
Log (consumo di energia pc)	0.23*** (0.07)	0.33 (0.40)	0.42 (0.40)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>		-0.01 (0.03)	-0.01 (0.03)
D.log (PIL pc)			-0.30 (0.19)
Osservazioni	735	735	734
Paesi	39	39	39
R <sup>2</sup>	0.72	0.72	0.73
Country FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10,\*\*p<0.05,\*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.1.7: PIL e consumi energetici in Africa

Si rimanda all'Appendice B.1 per la tabella riassuntiva (Tabella 1.4) con l'effetto lineare e quadratico del consumo energetico in riferimento alle aree geografiche individuate.

### 3.1.2 PIL e Consumo elettrico

A differenza del consumo energetico, il consumo elettrico risulta avere un impatto significativo sia nella forma lineare che in quella quadratica anche prendendo in considerazione i Paesi nel loro insieme (Appendice B1).

Analizzando in base al reddito (Tabella 3.1.8), si ottiene una significatività per il coefficiente della regressione lineare (1) in tutte le categorie di reddito, mentre l'effetto quadratico risulta significativo soltanto nei Paesi ad alto reddito, generando però una diminuzione del PIL p.c. di 0.05% ad ogni aumento percentuale del consumo p.c.

L'effetto negativo del consumo elettrico quadratico è presente anche in Europa-Asia Centrale (Tabella 3.1.9), dove l'aumento di un punto percentuale del consumo elettrico fa diminuire il PIL pro capite dello 0.07%, e in Nord America (Tabella 3.1.10), dove l'aumento percentuale del consumo genera una diminuzione del PIL di 0.68%. Confrontando tali risultati con quelli ottenuti in precedenza con il consumo energetico per le stesse regioni, si riscontrano diversi cambiamenti:

- nel caso del consumo elettrico, in Europa il coefficiente del modello lineare diminuisce di poco (rispetto allo stesso per il consumo energetico) e il coefficiente

del modello quadratico riporta lo stesso valore acquistando significatività;

- in Nord America vi sono cambiamenti maggiori: la relazione tra le due variabili con il modello lineare diventa positiva (anche se non significativa), mentre quella relativa al modello quadratico diventa negativa, mantenendo una significatività dell'1%.

	AR		AR		AR		MA		MA		MA		MB-BR		MB-BR		MB-BR		
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	
log(consumo elettrico pc)	0.33*** (0.07)	1.14*** (0.36)	1.11*** (0.36)	-0.12 (0.51)	0.23** (0.10)	-0.12 (0.51)	0.23*** (0.05)	-0.14 (0.53)	0.23*** (0.05)	0.03 (0.15)	0.23*** (0.05)	0.03 (0.15)							
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		-0.05** (0.02)	-0.04** (0.02)	0.03 (0.04)		0.03 (0.04)		0.03 (0.04)		0.02 (0.01)		0.02 (0.01)		0.02 (0.01)		0.02 (0.01)		0.02 (0.01)	0.02 (0.01)
D.log(PIL_pc)			-0.12 (0.11)					0.05 (0.21)											0.02 (0.15)
Osservazioni	1090	1090	1081	764	764	764	840	761	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	838
Paesi	49	49	49	38	38	38	40	38	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
R <sup>2</sup>	0.90	0.91	0.91	0.82	0.82	0.82	0.83	0.82	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
Country_FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES

\*p<0.10,\*\*p<0.05,\*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.1.8: PIL e consumi elettrici nei Paesi suddivisi per reddito

	log(PIL pc) (1)	log(PIL pc) (2)	log(PIL pc) (3)
log(consumo elettrico pc)	0.23** (0.10)	1.43** (0.53)	1.46** (0.56)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		-0.07** (0.03)	-0.07** (0.03)
D.log(PIL pc)			0.15 (0.24)
Osservazioni	1004	1004	992
Paesi	46	46	46
R <sup>2</sup>	0.83	0.83	0.83
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.1.9: PIL e consumi elettrici in Europa e Asia Centrale*

	log(PIL pc) (1)	log(PIL pc) (2)	log(PIL pc) (3)
log(consumo elettrico pc)	0.63 (.)	13.57 (.)	16.53*** (0.00)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		-0.68*** (0.00)	0.03* (0.00)
D.log(PIL pc)			0.99 (.)
Osservazioni	50	50	50
Paesi	2	2	2
R <sup>2</sup>	0.99	0.99	1.00
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.1.10: PIL e consumi elettrici in Nord America*

In America Latina (*Tabella 3.1.11*), l'effetto dell'introduzione del modello quadratico è differente rispetto a ciò che accadeva utilizzando il consumo energetico: l'effetto quadratico in questo caso, nonostante causi ugualmente un grosso cambiamento al coefficiente dell'effetto lineare, non è significativo. Rimane invece presente la significatività al coefficiente del delta del PIL, indicando un aumento del PIL di 0.21% con una significatività pari al 10%.

	log(PIL pc) (1)	log(PIL pc) (2)	log(PIL pc) (3)
log(consumo elettrico pc)	0.19* (0.09)	-0.17 (0.17)	-0.21 (0.19)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		0.03 (0.02)	0.03* (0.02)
D.log(PIL pc)			0.21* (0.12)
Osservazioni	459	459	459
Paesi	20	20	20
R <sup>2</sup>	0.88	0.89	0.89
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.1.11: PIL e consumi elettrici in America Latina

	log(PIL pc) (1)	log(PIL pc) (2)	log(PIL pc) (3)
log(consumo elettrico pc)	0.26*** (0.07)	-0.04 (0.13)	-0.04 (0.13)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		0.03*** (0.01)	0.03*** (0.01)
D.log(PIL pc)			0.26* (0.14)
Osservazioni	315	315	315
Paesi	15	15	15
R <sup>2</sup>	0.93	0.95	0.95
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.1.12: PIL e consumi elettrici in Est Asia e Pacifico

Confrontando il solo modello lineare (1) nelle due zone asiatiche, esso è particolarmente significativo (all'1%) in Est Asia (Tabella 3.1.12), generando un aumento del PIL di 0.26%, mentre in Sud Asia (Tabella 3.1.13) lo stesso coefficiente risulta negativo e non significativo. Tuttavia, introducendo il modello quadratico, le due aree geografiche tendono ad avere un andamento simile facendo emergere un effetto negativo del modello lineare con le seguenti differenze:

- in Est Asia il modello quadratico fa aumentare il PIL p.c. dello 0.03% con una significatività dell'1%, mentre l'effetto lineare presenta un coefficiente non significativo pari a -0.04.

- in Sud Asia il consumo quadratico presenta un valore maggiore ma meno significativo (0.08 significativo al 5%) e porta il coefficiente del modello lineare a -0.73 con una significatività del 5%.
- In Est Asia il coefficiente del delta PIL è positivo e significativo, e la sua introduzione non modifica il valore dei coefficienti degli altri due modelli. Lo stesso effetto si può riscontrare in Sud Asia, dove però il coefficiente del delta del modello (3) non è statisticamente significativo.

	log(PIL pc) (1)	log(PIL pc) (2)	log(PIL pc) (3)
log(consumo elettrico pc)	-0.08 (0.07)	-0.73** (0.19)	-0.73** (0.20)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		0.08** (0.03)	0.08** (0.03)
D.log(PIL pc)			0.07 (0.14)
Osservazioni	114	114	114
Paesi	5	5	5
R <sup>2</sup>	0.99	0.99	0.99
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10,\*\*p<0.05,\*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.1.13: PIL e consumi elettrici in Sud Asia*

Infine, anche in Africa (*Tabella 3.1.14*) sembra prevalere il modello quadratico, il quale mantiene lo stesso valore significativo del coefficiente anche quando viene aggiunto il modello del delta della variabile (3). Il modello lineare risulta significativo solo se preso in considerazione singolarmente, ma con l'introduzione degli altri due non solo perde significatività ma il suo valore si riduce e diventa negativo.

	log(PIL pc) (1)	log(PIL pc) (2)	log(PIL pc) (3)
log(consumo elettrico pc)	0.28*** (0.06)	-0.01 (0.11)	-0.01 (0.11)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		0.03*** (0.01)	0.03*** (0.01)
D.log(PIL pc)			0.06 (0.12)
Osservazioni	734	734	733
Paesi	39	39	39
R <sup>2</sup>	0.83	0.84	0.84
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.1.14: PIL e consumi elettrici in Africa*

Si rimanda all'Appendice B.1 per la tabella riassuntiva (Tabella 1.5) con l'effetto lineare e quadratico del consumo elettrico in riferimento alle aree geografiche individuate.

### 3.1.3 PIL e Intensità energetica

Come introdotto precedentemente durante la descrizione delle variabili, l'intensità energetica è un indicatore derivato, ed è stato calcolato come consumo di energia pro capite su PIL pro capite. In tutte le categorie di reddito (Tabella 3.1.15), l'intensità energetica porta ad una diminuzione del PIL sia con il modello lineare che con il quadratico, mentre si ha un aumento nei Paesi a reddito basso e medio basso se si considera il modello quadratico (anche se non è significativo). L'effetto negativo si ha anche per il delta della variabile, che però risulta significativo solo per i paesi a reddito alto e medio alto. In generale, i risultati ottenuti analizzando i Paesi in base al reddito, confermano l'analisi di molti studi precedenti secondo cui Paesi ad alta intensità energetica hanno PIL più bassi, e paesi a bassa intensità energetica hanno redditi più elevati.

Anche nella suddivisione per area geografica è possibile riscontrare questo andamento. Nello specifico, in Europa-Asia centrale (Tabella 3.1.16) il PIL p.c. diminuisce dello 0.39% ad ogni aumento percentuale dell'intensità, e il coefficiente aumenta se si introducono il modello quadratico e quello del delta.

	AR	AR	AR	MA	MA	MA	MB-BR	MB-BR	MB-BR
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
log(Intensità energetica)	-0.21** (0.09)	-0.38 (0.24)	-0.41* (0.24)	-0.43*** (0.10)	-0.61*** (0.13)	-0.70*** (0.12)	-0.39*** (0.10)	-0.38*** (0.12)	-0.40*** (0.12)
log(Intensità energetica) <sup>2</sup>		-0.05 (0.06)	-0.06 (0.06)		-0.11** (0.05)	-0.14*** (0.04)		0.02 (0.04)	0.01 (0.04)
D.log(PIL pc)			-0.30** (0.15)			-0.49** (0.19)			-0.36 (0.24)
Osservazioni	1096	1096	1088	766	766	763	847	847	845
Paesi	48	48	48	38	38	38	41	41	41
R <sup>2</sup>	0.87	0.87	0.87	0.84	0.85	0.85	0.81	0.81	0.82
Country_FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.1.15: PIL e intensità energetica nei Paesi suddivisi per reddito

	log(PIL pc) (1)	log(PIL pc) (2)	log(PIL pc) (3)
log(Intensità energetica)	-0.39*** (0.10)	-0.43*** (0.10)	-0.52*** (0.12)
log(Intensità energetica) <sup>2</sup>		-0.02 (0.03)	-0.05 (0.03)
D.log(PIL pc)			-0.53*** (0.15)
Osservazioni	1028	1028	1016
Paesi	46	46	46
R <sup>2</sup>	0.85	0.85	0.86
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.1.16: PIL e intensità energetica in Europa e Asia Centrale

La relazione negativa tra intensità energetica e PIL è confermata anche in tutte le altre aree geografiche. Confrontando America Latina (Tabella 3.1.17) e Nord America (Tabella 3.1.18) si possono riscontrare le seguenti differenze:

- In America Latina prevale il modello lineare, significativo all'1%, secondo cui un aumento percentuale dell'intensità determina una diminuzione del PIL p.c. dello 0,35%;
- In Nord America la relazione significativa è quella quadratica, con un coefficiente pari a -0.29.
- Il coefficiente del delta è significativo solo in Nord America, evidenziando una dipendenza positiva e significativa all'1%.

	log(PIL pc) (1)	log(PIL pc) (2)	log(PIL pc) (3)
log(Intensità energetica)	-0.35*** (0.08)	-0.69* (0.36)	-0.71* (0.36)
log(Intensità energetica) <sup>2</sup>		-0.11 (0.12)	-0.11 (0.12)
D.log(PIL pc)			-0.15 (0.15)
Osservazioni	461	461	461
Paesi	20	20	20
R <sup>2</sup>	0.91	0.91	0.91
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.1.17: PIL e intensità energetica in America Latina

	log(PIL pc) (1)	log(PIL pc) (2)	log(PIL pc) (3)
log(Intensità energetica)	-0.76 (.)	-1.71*** (0.00)	-1.61*** (0.00)
log(Intensità energetica) <sup>2</sup>		-0.29*** (0.00)	-0.27*** (0.00)
D.log(PIL pc)			0.16*** (0.00)
Osservazioni	52	52	52
Paesi	2	2	2
R <sup>2</sup>	1.00	1.00	1.00
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.1.18: PIL e intensità energetica in Nord America*

Anche in Est Asia (*Tabella 3.1.19*) prevale il modello quadratico, con il PIL p.c. che diminuisce dello 0.19% ad ogni aumento percentuale dell'intensità energetica. Introducendo il modello del delta, il suo coefficiente non è significativo, e i coefficienti del modello lineare e quadratico si confermano all'incirca dello stesso valore.

	log(PIL pc) (1)	log(PIL pc) (2)	log(PIL pc) (3)
log(Intensità energetica)	-0.25 (0.14)	-0.73** (0.25)	-0.76** (0.26)
log(Intensità energetica) <sup>2</sup>		-0.19** (0.09)	-0.20** (0.09)
D.log(PIL pc)			-0.59 (0.38)
Osservazioni	319	319	319
Paesi	15	15	15
R <sup>2</sup>	0.89	0.91	0.91
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.1.19: PIL e intensità energetica in Est Asia e Pacifico*

	log(PIL pc) (1)	log(PIL pc) (2)	log(PIL pc) (3)
log(Intensità energetica)	-0.44** (0.11)	-0.21 (0.22)	-0.18 (0.22)
log(Intensità energetica) <sup>2</sup>		0.11 (0.12)	0.13 (0.12)
D.log(PIL pc)			0.35*** (0.05)
Osservazioni	114	114	114
Paesi	5	5	5
R <sup>2</sup>	0.99	0.99	0.99
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.1.20: PIL e intensità energetica in Sud Asia*

In Sud Asia (*Tabella 3.1.20*) e in Africa (*Tabella 3.1.21*) torna ad essere significativo il modello lineare. Nello specifico, in Sud Asia un aumento percentuale dell'intensità comporta una diminuzione del PIL p.c. dello 0.44% con una significatività del 5%, mentre in Africa la diminuzione è inferiore, pari a 0.37% con significatività all'1%. Come per il Nord America, anche in Sud Asia si registra un coefficiente significativo e positivo del delta della variabile, pari in questo caso a 0.35.

	log(PIL pc) (1)	log(PIL pc) (2)	log(PIL pc) (3)
log(Intensità energetica)	-0.37*** (0.11)	-0.43** (0.16)	-0.43*** (0.15)
log(Intensità energetica) <sup>2</sup>		-0.04 (0.04)	-0.03 (0.04)
D.log(PIL pc)			-0.25 (0.22)
Osservazioni	735	735	734
Paesi	39	39	39
R <sup>2</sup>	0.77	0.78	0.78
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.1.21: PIL e intensità energetica in Africa*

Si rimanda all'*Appendice B.1* per la tabella riassuntiva (*Tabella 1.6*) con l'effetto lineare e quadratico dell'intensità energetica in riferimento alle aree geografiche individuate.

## 3.2 HDI-HIHD e consumi

L'indicatore HIHD è stato introdotto per sopperire alla mancanza di dati utilizzati nel calcolo dell'HDI: quest'ultimo, infatti, come già anticipato, viene calcolato unicamente a partire dal 1990. L'HIHD, invece, viene calcolato a partire dal 1960, e permette quindi di recuperare una serie di osservazioni riguardanti lo sviluppo umano utili ad effettuare un'analisi più ampia nel tempo. Tuttavia, tale indicatore non viene calcolato su base annuale, bensì su base quinquennale, ed è per questa ragione che verranno presentati solo i modelli lineare e quadratico, escludendo la regressione riguardante il delta dell'indicatore.

### 3.2.1 HDI-HIHD e Consumo di energia

Nell'analisi effettuata in base al reddito, si ottiene una significatività legata al modello lineare sia per HDI (*Tabella 3.2.1*) che per HIHD (*Tabella 3.2.2*), con importo dei coefficienti simili tra i due indicatori per ogni gruppo di reddito.

	AR	MA	MB-BR
log(consumo di energia pc)	0.02** (0.01)	0.06*** (0.01)	0.04*** (0.01)
Osservazioni	1092	744	811
Paesi	48	38	41
R <sup>2</sup>	0.91	0.89	0.91
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.2.1: HDI e consumi energetici nei Paesi suddivisi per reddito*

	AR (1)	AR (2)	MA (1)	MA (2)	MB-BR (1)	MB-BR (2)
log (consumo di energia pc)	0.07** (0.03)	-0.33 (0.24)	0.03* (0.02)	0.06 (0.20)	0.05*** (0.02)	-0.22 (0.14)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>		0.02 (0.01)		-0.00 (0.01)		0.02** (0.01)
Osservazioni	280	280	169	169	204	204
Paesi	47	47	32	32	41	41
R <sup>2</sup>	0.92	0.92	0.75	0.75	0.80	0.81
Country_FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse

*Tabella 3.2.2: HIHD e consumi energetici nei Paesi suddivisi per reddito*

L'unica eccezione si presenta nel gruppo di Paesi a reddito basso e medio basso, in quanto per l'indicatore HIHD si ottiene una significatività pari al 5% del coefficiente del modello quadratico.

	HDI (1)	HDI (2)	HDI (3)	HIHD (1)	HIHD (2)
log (consumo di energia pc)	0.04*** (0.01)	0.15 (0.09)	0.15* (0.09)	0.09*** (0.02)	-0.07 (0.16)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>		-0.01 (0.01)	-0.01 (0.01)		0.01 (0.01)
D.HDI			0.20 (0.15)		
Osservazioni	1011	1011	980	241	241
Paesi	46	46	45	40	40
R <sup>2</sup>	0.93	0.93	0.93	0.88	0.88
Country_FE	YES	YES	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.2.3: HDI-HIHD e consumo di energia in Europa e Asia Centrale

Anche in Europa (Tabella 3.2.3), per entrambi gli indicatori prevale il modello lineare, con una probabilità di accettare l'ipotesi che i coefficienti siano nulli pari all'1%. confermando l'andamento anche negli anni antecedenti 1990. In entrambi i casi è inoltre non significativo il modello quadratico. Nel caso dell'America, non è stato possibile effettuare l'analisi di regressione per l'indicatore HIHD prendendo in considerazione il solo Nord America a causa di osservazioni insufficienti: come per gli altri indicatori si tratta infatti di utilizzare un numero di osservazioni ridotte (relative a soli due Paesi), a cui si aggiunge la problematica del gap quinquennale caratterizzante tale indicatore.

	HDI (1)	HDI (2)	HDI (3)
log (consumo di energia pc)	-0.00 (0.01)	-0.11 (0.11)	-0.11 (0.11)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>		0.01 (0.01)	0.01 (0.01)
D.HDI			0.43*** (0.11)
Osservazioni	461	461	443
Paesi	20	20	20
R <sup>2</sup>	0.96	0.96	0.96
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.2.4: HDI e consumo di energia in America Latina

	HDI (1)	HDI (2)	HDI (3)
log (consumo di energia pc)	-0.08 (.)	-7.89 (.)	-8.89 (.)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>		0.44 (.)	0.49 (.)
D.HDI			0.41 (.)
Osservazioni	50	50	46
Paesi	2	2	2
R <sup>2</sup>	0.99	0.99	1.00
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.2.5: HDI e consumo di energia in Nord America*

La *Tabella 3.2.6* riporta valori dei coefficienti simili a quelli ottenuti per l'HDI in America Latina (*Tabella 3.2.4*), anche se nel primo caso si ottiene una significatività considerando il modello quadratico, mentre nel secondo caso si registra un livello di significatività pari all'1% sul coefficiente relativo al delta dell'HDI. I modelli di regressione dell'HDI per il Nord America, invece, registrano valori di coefficienti decisamente superiori (in particolar modo introducendo il modello quadratico e il delta dell'indicatore), ma nessuno di questi è significativo.

	HIHD (1)	HIHD (2)
log (consumo di energia pc)	0.01 (0.03)	-0.55*** (0.18)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>		0.04** (0.01)
Osservazioni	126	126
Paesi	21	21
R <sup>2</sup>	0.86	0.88
Country_FE	YES	YES
Year FE	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.2.6: HIHD e consumo di energia in America Latina e Nord America*

In Sud Asia (*Tabella 3.2.8*), ad eccezione del coefficiente del delta HDI nella regressione (3) che risulta significativo al 5%, né la regressione lineare né quella quadratica risultano essere significative, e questo risultato si ottiene anche utilizzando l'HIHD come variabile dipendente, nonostante il numero di osservazioni sia di molto inferiore.

	HDI (1)	HDI (2)	HDI (3)	HIHD (1)	HIHD (2)
log (consumo di energia pc)	0.06*** (0.02)	0.10 (0.11)	0.10 (0.11)	0.06 (0.06)	-0.48** (0.17)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>		-0.00 (0.01)	-0.00 (0.01)		0.04*** (0.01)
D.HDI			0.21 (0.16)		
Osservazioni	319	319	308	80	80
Paesi	15	15	15	15	15
R <sup>2</sup>	0.93	0.93	0.93	0.88	0.91
Country_FE	YES	YES	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.2.7: HDI-HIHD e consumo energetico in Est Asia e Pacifico

In Est Asia (Tabella 3.2.7), invece, prevale il modello lineare per l'HDI, con un coefficiente pari a 0.06 e con una significatività dell'1%. In questa regione, l'HIHD mostra un andamento diverso: il coefficiente del modello lineare riporta lo stesso valore dell'HDI ma non è significativo, mentre il coefficiente della regressione quadratica risulta significativo all'1% e rende l'effetto del modello lineare negativo.

	HDI (1)	HDI (2)	HDI (3)	HIHD (1)	HIHD (2)
log (consumo di energia pc)	-0.01 (0.03)	0.02 (0.08)	0.06 (0.05)	0.04 (0.02)	-0.07 (0.15)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>		-0.00 (0.01)	-0.01 (0.01)		0.01 (0.01)
D.HDI			0.86** (0.21)		
Osservazioni	114	114	110	27	27
Paesi	5	5	5	5	5
R <sup>2</sup>	0.99	0.99	0.99	0.85	0.89
Country_FE	YES	YES	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.2.8: HDI-HIHD e consumo energetico in Sud Asia

In Africa (Tabella 3.2.9), infine, l'HIHD riflette esattamente il modello lineare riportato per l'HDI (con un'unica differenza per il livello di significatività che passa dall'1% al 5%) nonostante le osservazioni siano nettamente inferiori e la bontà di adattamento più bassa. Il modello quadratico riporta invece coefficienti diversi in particolar modo per il segno, ma

hanno entrambi un importo trascurabile e non significativo.

	HDI (1)	HDI (2)	HDI (3)	HIHD (1)	HIHD (2)
log (consumo di energia pc)	0.05*** (0.02)	0.08 (0.09)	0.07 (0.09)	0.05** (0.02)	-0.05 (0.12)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>		-0.00 (0.01)	-0.00 (0.01)		0.01 (0.01)
D.HDI			-0.10 (0.16)		
Osservazioni	692	692	669	179	179
Paesi	39	39	39	39	39
R <sup>2</sup>	0.83	0.83	0.83	0.73	0.73
Country_FE	YES	YES	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.2.9: HDI-HIHD e consumo energetico in Africa

Si rimanda alle *Appendici B.2 e B.3* per le tabelle riassuntive (*Tabella 2.3 e Tabella 3.3*) con l'effetto lineare e quadratico del consumo energetico in riferimento alle aree geografiche individuate.

### 3.2.2 HDI-HIHD e Consumo elettrico

Per quanto riguarda il consumo elettrico, si riscontrano alcune differenze tra HDI (*Tabella 3.2.10*) e HIHD (*Tabella 3.2.11*): i coefficienti del modello lineare coincidono (ad eccezione dei Paesi a reddito medio alto, in cui comunque non si ha una grossa differenza), ma sono tutti significativi solo nel caso dell'HDI, con una significatività pari all'1%. L'HIHD non riporta la significatività nei Paesi a reddito alto, mentre per i Paesi a reddito basso e medio basso presenta una significatività anche per il modello quadratico.

	AR	MA	MB-BR
log(consumo elettrico pc)	0.04*** (0.01)	0.05*** (0.01)	0.03*** (0.01)
Osservazioni	1061	742	811
Paesi	48	38	41
R <sup>2</sup>	0.92	0.89	0.94
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.2.10: HDI e consumi elettrici nei Paesi suddivisi per reddito

	AR (1)	AR (2)	MA (1)	MA (2)	MB-BR (1)	MB-BR (2)
log(consumo elettrico pc)	0.04 (0.03)	-0.19 (0.16)	0.03** (0.01)	-0.04 (0.06)	0.03*** (0.01)	-0.05** (0.02)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		0.01 (0.01)		0.01 (0.00)		0.01*** (0.00)
Osservazioni	250	250	167	167	204	204
Paesi	47	47	32	32	41	41
R <sup>2</sup>	0.90	0.90	0.75	0.75	0.83	0.86
Country_FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES

\*p<0.10,\*\*p<0.05,\*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.2.11: HIHD e consumi elettrici nei Paesi suddivisi per reddito

Nella zona Europa-Asia Centrale (Tabella 3.2.12), con l'HDI tutti e tre i modelli risultano significativi. In particolare, con l'aggiunta del modello quadratico e del delta HDI, il coefficiente del modello lineare passa da 0.04 a 0.24 mantenendo la significatività all'1%, mentre il modello quadratico presenta un effetto negativo sulla variabile dipendente ad ogni aumento del consumo elettrico p.c., riportando sempre una significatività dell'1%. Questi effetti non coincidono del tutto con l'HIHD, dove si ha un coefficiente significativo all'1% solo per il modello lineare.

	HDI (1)	HDI (2)	HDI (3)	HIHD (1)	HIHD (2)
log(consumo elettrico pc)	0.04*** (0.02)	0.24*** (0.04)	0.24*** (0.04)	0.10*** (0.02)	0.02 (0.19)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		-0.01*** (0.00)	-0.01*** (0.00)		0.00 (0.01)
D.HDI			0.20* (0.11)		
Osservazioni	987	987	956	218	218
Paesi	46	46	45	40	40
R <sup>2</sup>	0.93	0.94	0.94	0.85	0.86
Country_FE	YES	YES	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES	YES	YES

\*p<0.10,\*\*p<0.05,\*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse

Tabella 3.2.12: HDI-HIHD e consumi elettrici in Europa e Asia Centrale

Come per il consumo energetico, nel caso dell'America i modelli riportati per l'HIHD (Tabella 3.2.15) hanno un andamento simile a quelli dell'HDI in America Latina (Tabella 3.2.13), ma in entrambi i casi i coefficienti del modello lineare e del modello quadratico

risultano non significativi. L'unica significatività presente è riportata per il coefficiente del delta HDI, con un valore pari a 0.39 significativo all'1%.

	HDI (1)	HDI (2)	HDI (3)
log(consumo elettrico pc)	0.01 (0.01)	0.05 (0.04)	0.04 (0.04)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		-0.00 (0.00)	-0.00 (0.00)
D.HDI			0.39*** (0.11)
Osservazioni	459	459	441
Paesi	20	20	20
R <sup>2</sup>	0.96	0.96	0.96
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.2.13: HDI e consumi elettrici in America Latina

Anche in questo caso, i risultati ottenuti utilizzando l'HDI per il Nord America (Tabella 3.2.14) registrano valori di coefficienti decisamente superiori introducendo il modello quadratico e il delta dell'indicatore. A differenza del consumo energetico, con il consumo elettrico si ha significatività del coefficiente lineare introducendo il modello quadratico, e significatività del coefficiente quadratico introducendo il delta HDI.

	HDI (1)	HDI (2)	HDI (3)
log(consumo elettrico pc)	0.10 (.)	-2.27*** (0.00)	-1.53*** (0.03)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		0.00 (0.00)	0.08*** (0.00)
D.HDI			0.19 (.)
Osservazioni	48	48	44
Paesi	2	2	2
R <sup>2</sup>	0.99	0.99	0.99
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.2.14: HDI e consumi elettrici in Nord America

	HIHD (1)	HIHD (2)
log(consumo elettrico pc)	0.02 (0.01)	0.03 (0.05)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		-0.00 (0.00)
Osservazioni	122	122
Paesi	21	21
R <sup>2</sup>	0.86	0.86
Country_FE	YES	YES
Year FE	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.2.15: HIHD e consumi elettrici in America Latina e Nord America

L'andamento del modello lineare per l'HDI è simile in Est Asia (Tabella 3.2.16) e in Sud Asia (Tabella 3.2.17), dove i coefficienti sono rispettivamente 0.04 e 0.03, entrambi con significatività all'1%. Il modello quadratico non è significativo, mentre l'indicatore di sviluppo ha in entrambi i casi una dipendenza significativa dal suo delta, in particolar modo nella zona del Sud Asia (il coefficiente ha infatti un valore maggiore).

	HDI (1)	HDI (2)	HDI (3)	HIHD (1)	HIHD (2)
log(consumo elettrico pc)	0.04*** (0.01)	0.01 (0.03)	0.01 (0.02)	-0.01 (0.03)	-0.08* (0.04)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		0.00 (0.00)	0.00 (0.00)		0.01 (0.01)
D.HDI			0.31** (0.12)		
Osservazioni	315	315	315	76	76
Paesi	15	15	15	15	15
R <sup>2</sup>	0.94	0.95	0.95	0.86	0.88
Country_FE	YES	YES	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.2.16: HDI-HIHD e consumi elettrici in Est Asia e nel Pacifico

L'impatto del consumo elettrico sull'HIHD è differente soprattutto in Est Asia, dove il coefficiente del modello lineare, seppur non significativo, è negativo, ed acquista significatività con l'aggiunta della variabile quadratica.

	HDI (1)	HDI (2)	HDI (3)	HIHD (1)	HIHD (2)
log(consumo elettrico pc)	0.03*** (0.01)	0.08 (0.05)	0.08 (0.04)	0.03 (0.02)	-0.05 (0.03)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		-0.01 (0.01)	-0.01 (0.00)		0.01** (0.00)
D.HDI			0.76*** (0.15)		
Osservazioni	114	114	110	27	27
Paesi	5	5	5	5	5
R <sup>2</sup>	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99
Country_FE	YES	YES	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.2.17: HDI-HIHD e consumi elettrici in Sud Asia

In Africa (Tabella 3.2.18), infine, analogamente al caso studiato per il consumo energetico, l'HIHD riflette l'andamento del modello lineare riportato per l'HDI (con la stessa differenza per il livello di significatività che passa dall'1% al 5%) nonostante le osservazioni siano nettamente inferiori e la bontà di adattamento più bassa. Per il modello quadratico, invece, con il consumo elettrico si ha significatività al 10% del coefficiente.

	HDI (1)	HDI (2)	HDI (3)	HIHD (1)	HIHD (2)
log(consumo elettrico pc)	0.05*** (0.01)	0.02 (0.03)	0.02 (0.03)	0.03** (0.01)	-0.04 (0.04)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		0.00 (0.00)	0.00 (0.00)		0.01* (0.00)
D.HDI			0.21 (0.18)		
Osservazioni	691	691	668	178	178
Paesi	39	39	39	39	39
R <sup>2</sup>	0.88	0.88	0.88	0.71	0.73
Country_FE	YES	YES	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.2.18: HDI-HIHD e consumi elettrici in Africa

Si rimanda alle *Appendici B.2 e B.3* per le tabelle riassuntive (*Tabella 2.4 e Tabella 3.4*) con l'effetto lineare e quadratico del consumo elettrico in riferimento alle aree geografiche individuate.

### 3.3 Reddito Nazionale Netto Corretto e consumi

Come descritto precedentemente, il Reddito Nazionale Netto Corretto è particolarmente utile per monitorare le economie a basso reddito e ricche di risorse, come molti paesi dell'Africa subsahariana, perché tali economie spesso vedono un grande esaurimento delle risorse naturali. Negli ultimi anni tale indicatore fornisce un quadro della crescita economica che è notevolmente diverso da quello fornito dal PIL. La chiave per aumentare il consumo futuro (e quindi il tenore di vita) sta nell'aumentare la ricchezza nazionale, comprese non solo le misure tradizionali del capitale (come il capitale prodotto e umano), ma anche il capitale naturale. Tenendo conto dell'esaurimento netto di foreste, energia e minerali, nonché del consumo di capitale fisso, è possibile confrontare tale indicatore con il PIL per rivelare l'impatto dell'esaurimento delle risorse naturali, che è altrimenti ignorato dagli indicatori economici tradizionali.

#### 3.3.1 Reddito Nazionale Netto Corretto e Consumo di energia

Confrontando i risultati ottenuti nei Paesi suddivisi per reddito (*Tabella 3.3.2*) con gli stessi per il PIL, il modello lineare presenta coefficienti simili e statisticamente significativi per i Paesi a reddito alto e medio alto, mentre per i Paesi a basso reddito con l'RNN corretto il valore del coefficiente diminuisce e risulta non significativo. Inoltre, per l'RNN corretto risultano significativi anche il modello quadratico per i Paesi a reddito alto e medio alto, e il modello con il delta della variabile dipendente per i Paesi a reddito medio alto.

		log(RNN corretto pc) (1)	log(RNN corretto pc) (2)	log(RNN corretto pc) (3)
log(consumo energia pc)	di	0.54*** (0.16)	-0.80 (1.47)	-0.99 (1.58)
log(consumo energia pc) <sup>2</sup>	di		0.09 (0.09)	0.10 (0.10)
D.log(RNN corretto pc)				0.53*** (0.13)
Osservazioni		923	923	898
Paesi		45	45	44
R <sup>2</sup>		0.78	0.78	0.78
Country FE		YES	YES	YES
Year FE		YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.3.1: RNN corretto e consumo di energia in Europa e Asia Centrale*

	AR (1)	AR (2)	AR (3)	MA (1)	MA (2)	MA (3)	MB-BR (1)	MB-BR (2)	MB-BR (3)
log(consumo di energia pc)	0.28*** (0.08)	-1.37* (0.71)	-1.25 (0.76)	0.51*** (0.16)	-2.94** (1.21)	-3.46** (1.32)	0.08 (0.12)	-1.23 (1.13)	-1.24 (1.27)
log(consumo di energia pc) <sup>2</sup>		0.10** (0.04)	0.10** (0.05)		0.24*** (0.08)	0.28*** (0.09)		0.11 (0.09)	0.11 (0.10)
D.log(RNL corretto pc)			0.16 (0.12)			0.31*** (0.11)			0.27 (0.18)
Osservazioni	1038	1038	1021	726	726	707	781	781	760
Paesi	46	46	45	38	38	35	40	40	39
R <sup>2</sup>	0.87	0.88	0.87	0.74	0.76	0.77	0.52	0.53	0.60
Country_FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.3.2: RNN corretto e consumi energetici nei Paesi suddivisi per reddito

In Europa e Asia centrale (Tabella 3.3.1) il modello lineare risulta positivo e significativo come accadeva con il PIL, con un aumento del valore del coefficiente che passa da 0.35 a 0.54 mantenendo una significatività dell'1%. Introducendo il modello quadratico e quello

relativo al delta della variabile, invece, il coefficiente lineare diventa negativo seppur non significativo; la variabile dipendente aumenta dello 0.53% con una significatività dell'1% ad ogni aumento percentuale del suo delta.

Rispetto all'effetto sul PIL, introducendo il modello quadratico e il delta della variabile in America Latina (*Tabella 3.3.3*), il coefficiente lineare diventa ulteriormente negativo: confrontando la colonna (2), se con il PIL si otteneva una diminuzione del 2.38%, ora si registra una diminuzione del RNN corretto del 3.53% per ogni aumento percentuale del consumo energetico. Il coefficiente del modello quadratico, invece, aumenta da 0.18 a 0.26, con un cambiamento di significatività dal 10% all'1%. Per quanto riguarda il coefficiente del delta (3), questo risulta simile al caso del PIL sia per grandezza che per significatività.

		log(RNN corretto pc) (1)	log(RNN corretto pc) (2)	log(RNN corretto pc) (3)
log(consumo energia pc)	di	-0.03 (0.14)	-3.53*** (1.06)	-3.71*** (0.94)
log(consumo energia pc) <sup>2</sup>	di		0.26*** (0.08)	0.28*** (0.08)
D.log(RNN pc)	corretto			0.33** (0.12)
Osservazioni		452	452	447
Paesi		20	20	19
R <sup>2</sup>		0.81	0.86	0.86
Country_FE		YES	YES	YES
Year FE		YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.3.3: RNN corretto e consumo di energia in America Latina*

Anche in Nord America (*Tabella 3.3.4*) si hanno cambiamenti sostanziali dei coefficienti rispetto alle regressioni ottenute con il PIL:

- Nel modello lineare (1) il coefficiente diventa positivo, e passa da -0.54 a 0.08 pur mantenendo lo stesso livello di significatività;
- Il coefficiente del modello quadratico (2) ha un valore più elevato ma non significativo; con la sua introduzione il coefficiente del consumo lineare diventa fortemente negativo e, rispetto al PIL (in cui il valore si attesta a -8.84), si registra un valore pari a -54.21.
- La dipendenza dal delta risulta sempre non significativa (3)

		log(RNN corretto pc) (1)	log(RNN corretto pc) (2)	log(RNN corretto pc) (3)
log(consumo energia pc)	di	0.08*** (0.00)	-54.21*** (0.00)	-40.86*** (0.00)
log(consumo energia pc) <sup>2</sup>	di		3.03 (.)	2.29*** (0.00)
D.log(RNN pc)	corretto			0.31 (.)
Osservazioni		52	52	52
Paesi		2	2	2
R <sup>2</sup>		1.00	1.00	1.00
Country_FE		YES	YES	YES
Year FE		YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.3.4: RNN corretto e consumo di energia in Nord America*

		log(RNN corretto pc) (1)	log(RNN corretto pc) (2)	log(RNN corretto pc) (3)
log(consumo energia pc)	di	0.24** (0.08)	-0.59 (0.39)	-0.50 (0.40)
log(consumo energia pc) <sup>2</sup>	di		0.06** (0.03)	0.05* (0.03)
D.log(RNN pc)	corretto			0.09 (0.11)
Osservazioni		315	315	308
Paesi		15	15	15
R <sup>2</sup>		0.92	0.92	0.92
Country_FE		YES	YES	YES
Year FE		YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.3.5: RNN corretto e consumo energetico in Est Asia e Pacifico*

In Est Asia (*Tabella 3.3.5*) e in Sud Asia (*Tabella 3.3.6*), invece, si trovano maggiori similitudini tra i modelli ottenuti con il PIL e quelli relativi al RNN. In particolare, in Est Asia il modello lineare risulta ancora significativo seppur con una diminuzione del valore (che passa da 0.50 a 0.24), mentre il modello quadratico acquista una significatività al 5% nonostante il suo valore non si discosti di molto (con un cambiamento minimo dallo 0.04 allo 0.06). Per quanto riguarda il Sud Asia, tutti e tre i modelli continuano a rimanere non significativi.

		log(RNN corretto pc)	log(RNN corretto pc)	log(RNN corretto pc)
		(1)	(2)	(3)
log(consumo energia pc)	di	0.25 (0.27)	-0.70 (1.11)	-0.96 (1.01)
log(consumo energia pc) <sup>2</sup>	di		0.08 (0.09)	0.10 (0.09)
D.log(RNN pc)	corretto			0.08 (0.29)
Osservazioni		114	114	113
Paesi		5	5	5
R <sup>2</sup>		0.99	0.99	0.99
Country_FE		YES	YES	YES
Year_FE		YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.3.6: RNN corretto e consumo energetico in Sud Asia

Infine, in Africa (Tabella 3.3.7) il modello lineare risulta positivo solo se analizzato separatamente, mentre con l'introduzione del modello quadratico e del delta il suo valore aumenta e diventa negativo. Una grande differenza si ha per il coefficiente quadratico, che rispetto al PIL passa da -0.01 (non significativo) a 0.08 (significativo all'1%), e per il coefficiente del delta che passa da -0.30 (non significativo) a 0.29 (significativo al 10%). Tuttavia, utilizzando il RNN si ha un valore di R<sup>2</sup> ridotto rispetto al caso del PIL, evidenziando una scarsa bontà di adattamento di tutti e tre i modelli.

		log(RNN corretto pc)	log(RNN corretto pc)	log(RNN corretto pc)
		(1)	(2)	(3)
log(consumo energia pc)	di	0.40*** (0.10)	-0.77** (0.36)	-0.85** (0.37)
log(consumo energia pc) <sup>2</sup>	di		0.08*** (0.02)	0.09*** (0.03)
D.log(RNN pc)	corretto			0.29* (0.15)
Osservazioni		689	689	670
Paesi		37	37	34
R <sup>2</sup>		0.47	0.48	0.54
Country_FE		YES	YES	YES
Year_FE		YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse

Tabella 3.3.7: RNN corretto e consumo energetico in Africa

Si rimanda all'Appendice B.4 per la tabella riassuntiva (Tabella 4.4) con l'effetto lineare e quadratico del consumo energetico in riferimento alle aree geografiche individuate.

### 3.3.2 Reddito Nazionale Netto Corretto e Consumo elettrico

Suddividendo per reddito (Tabella 3.3.9), il modello lineare risulta essere significativo e con impatto positivo nei Paesi ad alto e basso reddito, mentre per i Paesi a reddito medio alto risulta essere significativo il modello quadratico, comportando in ogni caso un aumento del RNN corretto ad ogni aumento percentuale del consumo.

In Europa-Asia centrale (Tabella 3.3.8), gli unici due modelli a risultare significativi sono quello lineare (per cui un aumento del consumo elettrico comporta un aumento del RNN p.c. dello 0.36%) e quello con il delta della variabile (che fa aumentare il RNN dello 0.55%). Il coefficiente del modello quadratico, invece, nonostante indichi la stessa relazione negativa che si ottiene con il PIL, non è statisticamente significativo.

	log(RNN corretto pc) (1)	log(RNN corretto pc) (2)	log(RNN corretto pc) (3)
log(consumo elettrico pc)	0.36** (0.15)	0.77 (1.23)	0.26 (1.22)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		-0.03 (0.08)	0.01 (0.08)
D.log(RNN corretto pc)			0.55*** (0.14)
Osservazioni	900	900	875
Paesi	45	45	44
R <sup>2</sup>	0.76	0.76	0.76
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.3.8: RNN corretto e consumi elettrici in Europa e Asia Centrale

In America Latina (Tabella 3.3.10), l'effetto del consumo elettrico sul RNN conferma l'effetto dello stesso sul PIL, sia per positività o negatività dei valori che per significatività del coefficiente; l'unica differenza si riscontra per il coefficiente del modello quadratico, che nel caso del RNL riporta un valore pari a 0.06 significativo al 5%.

	AR (1)	AR (2)	AR (3)	MA (1)	MA (2)	MA (3)	MB-BR (1)	MB-BR (2)	MB-BR (3)
log(consumo elettrico pc)	0.28*** (0.06)	0.10 (0.66)	0.13 (0.67)	0.12 (0.16)	-2.29*** (0.56)	-2.34*** (0.53)	0.25*** (0.06)	0.12 (0.17)	0.09 (0.19)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		0.01 (0.04)	0.01 (0.04)		0.17*** (0.04)	0.18*** (0.04)		0.01 (0.02)	0.02 (0.02)
D.log(RNL corretto pc)			0.23** (0.11)			0.27** (0.13)			0.28 (0.17)
Osservazioni	1008	1008	991	724	724	705	781	781	760
Paesi	46	46	45	38	38	35	40	40	39
R <sup>2</sup>	0.88	0.88	0.88	0.70	0.74	0.75	0.57	0.58	0.65
Country_FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES

\*p<0.10,\*\*p<0.05,\*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.3.9: RNN corretto e consumi elettrici nei Paesi suddivisi per reddito

In Nord America (Tabella 3.3.11) invece, si registrano sempre valori molto diversi rispetto al caso del PIL, sia per ordine di grandezza che per significatività. L'unico modello significativo risulta essere quello con il delta della variabile, con un coefficiente pari a 0.31 significativo all'1%.

	log(RNN corretto pc) (1)	log(RNN corretto pc) (2)	log(RNN corretto pc) (3)
log(consumo elettrico pc)	0.19 (0.01)	-0.49* (0.28)	-0.55* (0.28)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		0.06** (0.02)	0.07*** (0.02)
D.log(RNN corretto pc)			0.33*** (0.09)
Osservazioni	450	450	445
Paesi	20	20	19
R <sup>2</sup>	0.83	0.85	0.85
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.3.10: RNN corretto e consumi elettrici in America Latina*

	log(RNN corretto pc) (1)	log(RNN corretto pc) (2)	log(RNN corretto pc) (3)
log(consumo elettrico pc)	0.23 (.)	-32.37 (.)	-20.97 (.)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		1.71 (.)	1.11*** (0.00)
D.log(RNN corretto pc)			0.31*** (0.00)
Osservazioni	50	50	50
Paesi	2	2	2
R <sup>2</sup>	1.00	1.00	1.00
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.3.11: RNN corretto e consumi elettrici in Nord America*

Come per il consumo energetico, in Est Asia (*Tabella 3.3.12*) e in Sud Asia (*Tabella 3.3.13*) i valori dei coefficienti per la regressione quadratica e del delta confermano l'andamento di tali modelli ottenuti per il PIL. Nello specifico, per l'Est Asia un aumento del consumo elettrico comporta un aumento del RNN p.c. dello 0.02% con significatività all'1%, mentre in Sud Asia l'aumento è dello 0.10% con significatività al 5%. Il modello del delta della variabile risulta significativo (al 5%) solo per il Sud Asia (a differenza della stessa

regressione utilizzando PIL), in cui il RNN p.c. aumenta dello 0.36 %.

	log(RNN corretto pc) (1)	log(RNN corretto pc) (2)	log(RNN corretto pc) (3)
log(consumo elettrico pc)	0.03 (0.06)	-0.20** (0.09)	-0.22* (0.11)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		0.02*** (0.01)	0.03*** (0.01)
D.log(RNN corretto pc)			0.12 (0.13)
Osservazioni	311	311	304
Paesi	15	15	15
R <sup>2</sup>	0.91	0.91	0.91
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.3.12: RNN corretto e consumi elettrici in Est Asia e Pacifico*

	log(RNN corretto pc) (1)	log(RNN corretto pc) (2)	log(RNN corretto pc) (3)
log(consumo elettrico pc)	-0.12 (0.09)	-0.89** (0.20)	-0.90** (0.21)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		0.10** (0.03)	0.10** (0.03)
D.log(RNN corretto pc)			0.36** (0.10)
Osservazioni	114	114	113
Paesi	5	5	5
R <sup>2</sup>	0.99	0.99	0.99
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.3.13: RNN corretto e consumi elettrici in Sud Asia*

A differenza del consumo energetico, i risultati delle regressioni ottenuti per l’Africa (Tabella 3.3.14) confermano quelli ottenuti utilizzando il PIL come variabile dipendente. Risultano significativi all’1% sia il modello lineare che quello quadratico, e in aggiunta si riscontra un aumento significativo al 10% del RNL dello 0.30% ad ogni aumento percentuale del delta.

	log(RNN corretto pc) (1)	log(RNN corretto pc) (2)	log(RNN corretto pc) (3)
log(consumo elettrico pc)	0.30*** (0.11)	-0.21 (0.21)	-0.31* (0.17)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		0.05*** (0.02)	0.05*** (0.02)
D.log(RNN corretto pc)			0.30* (0.16)
Osservazioni	688	688	669
Paesi	37	37	34
R <sup>2</sup>	0.50	0.51	0.59
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.3.14: RNN corretto e consumi elettrici in Africa

Si rimanda all'Appendice B.4 per la tabella riassuntiva (Tabella 4.5) con l'effetto lineare e quadratico del consumo elettrico a in riferimento alle aree geografiche individuate.

### 3.3.3 Reddito Nazionale Netto Corretto e Intensità energetica

Come nel caso del PIL, anche con l'RNN corretto la relazione tra l'intensità e la variabile dipendente è prevalentemente negativa. Nei Paesi suddivisi per reddito (Tabella 3.3.15), i coefficienti maggiormente negativi si hanno in riferimento al modello lineare per i Paesi a reddito medio alto e basso-medio basso, dove un aumento percentuale dell'intensità provoca, rispettivamente, una diminuzione del RNN corretto p.c. dello 0.54% e dello 0.52% (in entrambi i casi con significatività all'1%).

In Europa (Tabella 3.3.16), tutti i coefficienti sono superiori (e quindi maggiormente negativi) rispetto agli stessi trovati per il PIL; in particolare il coefficiente lineare mantiene la stessa significatività passando da -0.39 a -0.67, mentre il modello quadratico acquista significatività e riporta una diminuzione del RNN corretto dello 0.14% per ogni aumento dell'intensità dell'1%.

	AR (1)	AR (2)	AR (3)	MA (1)	MA (2)	MA (3)	MB-BR (1)	MB-BR (2)	MB-BR (3)
log(Intensità energetica)	-0.18** (0.09)	-0.75*** (0.17)	-0.86*** (0.17)	-0.54*** (0.18)	-1.21*** (0.19)	-1.27*** (0.19)	-0.52*** (0.13)	-0.43*** (0.13)	-0.47*** (0.11)
log(Intensità energetica) <sup>2</sup>		-0.16*** (0.04)	-0.18*** (0.04)		-0.34*** (0.06)	-0.36*** (0.06)		0.07 (0.07)	0.04 (0.05)
D.log(PIL pc)			0.16 (0.12)			0.20** (0.09)			0.29* (0.17)
Osservazioni	1038	1038	1021	726	726	707	781	781	760
Paesi	46	46	45	38	38	35	40	40	39
R <sup>2</sup>	0.86	0.87	0.88	0.74	0.79	0.79	0.58	0.58	0.66
Country_FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 3.3.15: RNN corretto e intensità energetica nei Paesi suddivisi per reddito

	log(RNN corretto pc) (1)	log(RNN corretto pc) (2)	log(RNN corretto pc) (3)
log(Intensità energetica)	-0.67*** (0.15)	-0.93*** (0.19)	-1.00*** (0.21)
log(Intensità energetica) <sup>2</sup>		-0.14*** (0.05)	-0.15*** (0.05)
D.log(RNN corretto pc)			0.25** (0.09)
Osservazioni	923	923	898
Paesi	45	45	44
R <sup>2</sup>	0.81	0.83	0.83
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.3.16: RNN corretto e intensità energetica in Europa e Asia Centrale*

	log(RNN corretto pc) (1)	log(RNN corretto pc) (2)	log(RNN corretto pc) (3)
log(Intensità energetica)	-0.37*** (0.07)	-0.77** (0.37)	-0.82** (0.38)
log(Intensità energetica) <sup>2</sup>		-0.13 (0.12)	-0.14 (0.12)
D.log(RNN corretto pc)			0.13 (0.12)
Osservazioni	452	452	447
Paesi	20	20	19
R <sup>2</sup>	0.87	0.87	0.87
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.3.17: RNN corretto e intensità energetica in America Latina*

In America Latina (*Tabella 3.3.17*), non si riscontrano grandi differenze, né per il valore dei coefficienti, né per la loro significatività. L'unico modello significativo continua ad essere quello lineare, con un aumento percentuale dell'intensità che porta il RNN corretto p.c. a diminuire dello 0.37%, mentre il modello quadratico continua a non essere significativo.

In Nord America (*Tabella 3.3.18*), invece, vi sono alcune differenze con il caso del PIL:

- per il modello lineare, il valore del coefficiente passa da -0.76 (non significativo) a -0.18 (significativo), registrando una diminuzione inferiore del RNN corretto ad ogni

- aumento percentuale dell'intensità;
- il modello quadratico, pur mantenendo lo stesso livello di significatività pari all'1%, passa da -0.29 a 0.37, identificando quindi una relazione positiva tra le due grandezze;
  - il valore del coefficiente del delta RNN è maggiore del delta PIL, ma perde la significatività.

	log(RNN corretto pc) (1)	log(RNN corretto pc) (2)	log(RNN corretto pc) (3)
log(Intensità energetica)	-0.18*** (0.00)	-1.05*** (0.00)	-1.12 (.)
log(Intensità energetica) <sup>2</sup>		0.37*** (0.07)	-0.29 (.)
D.log(RNN corretto pc)			0.51 (.)
Osservazioni	52	52	52
Paesi	2	2	2
R <sup>2</sup>	1.00	1.00	1.00
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.3.18: RNN corretto e intensità energetica in Nord America*

	log(RNN corretto pc) (1)	log(RNN corretto pc) (2)	log(RNN corretto pc) (3)
log(Intensità energetica)	0.07 (0.12)	-0.08 (0.24)	-0.08 (0.24)
log(Intensità energetica) <sup>2</sup>		-0.06 (0.07)	-0.06 (0.07)
D.log(RNN corretto pc)			0.07 (0.11)
Osservazioni	315	315	308
Paesi	15	15	15
R <sup>2</sup>	0.91	0.91	0.91
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.3.19: RNN corretto e intensità energetica in Est Asia e Pacifico*

In Est Asia (*Tabella 3.3.19*), i coefficienti risultano meno negativi rispetto all'analisi del PIL, ma nessuno di questi presenta una significatività. Per il Sud Asia (*Tabella 3.3.20*), invece, escludendo la regressione del delta che in questo caso risulta non significativa, le altre due regressioni riportano circa gli stessi valori e la stessa significatività del modello con il PIL come variabile dipendente. In particolare, anche in questo caso considerando il modello lineare si ha una diminuzione del RNN corretto dello 0.45% ad ogni aumento percentuale dell'intensità energetica.

	log(RNN corretto pc) (1)	log(RNN corretto pc) (2)	log(RNN corretto pc) (3)
log(Intensità energetica)	-0.45** (0.16)	-0.29 (0.34)	-0.37 (0.32)
log(Intensità energetica) <sup>2</sup>		0.08 (0.17)	0.04 (0.14)
D.log(RNN corretto pc)			0.17 (0.15)
Osservazioni	114	114	113
Paesi	5	5	5
R <sup>2</sup>	0.99	0.99	0.99
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.3.20: RNN corretto e intensità energetica in Sud Asia*

	log(RNN corretto pc) (1)	log(RNN corretto pc) (2)	log(RNN corretto pc) (3)
log(Intensità energetica)	-0.28* (0.15)	-0.26 (0.21)	-0.34* (0.32)
log(Intensità energetica) <sup>2</sup>		0.02 (0.08)	-0.02 (0.06)
D.log(RNN corretto pc)			0.26 (0.16)
Osservazioni	689	689	670
Paesi	37	37	34
R <sup>2</sup>	0.46	0.46	0.53
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse

*Tabella 3.3.21: RNN corretto e intensità energetica in Africa*

Infine, in Africa (*Tabella 3.3.21*) l'unico coefficiente significativo è quello del modello lineare, pari a -0.28 con significatività al 10%, e rispetto alla medesima analisi effettuata con il PIL, si ha una scarsa bontà di adattamento e un numero di osservazioni inferiore.

Si rimanda all'*Appendice B.4* per la tabella riassuntiva (*Tabella 4.6*) con l'effetto lineare e quadratico dell'intensità energetica in riferimento alle aree geografiche individuate.

## 4. Conclusioni

Nella presente trattazione è stato effettuato uno studio sulla relazione tra consumo energetico e sviluppo economico, utilizzando il metodo della regressione con effetti fissi, includendo i dati di 132 Paesi nel periodo di tempo tra il 1960 e il 2019. La relazione è stata analizzata considerando come variabili indipendenti il consumo energetico, il consumo elettrico e l'intensità energetica, mentre come variabili dipendenti sono state scelte, oltre al PIL, l'HDI, l'HIHD e il RNN corretto. I risultati ottenuti variano molto a seconda del modello preso in considerazione, ma soprattutto in base al reddito di un Paese o alla sua collocazione geografica.

Per quanto riguarda il consumo energetico, le stime delle regressioni in America Latina e Nord America sono coerenti con l'ipotesi che il rapporto consumo-PIL abbia un effetto non lineare: l'effetto quadratico è positivo in entrambe le aree, ma maggiormente significativo in Nord America. Nel resto delle aree geografiche i risultati non sono significativi, ad eccezione dell'Europa in cui si ha un effetto lineare positivo. L'impatto del consumo energetico nella forma quadratica sul RNN corretto è invece positivo e significativo in America Latina e in Est Asia, mentre la relazione lineare è significativa in Nord America, dove l'aumento del consumo ha un impatto nettamente negativo sulla variabile dipendente. L'impatto sull'HDI è sempre non significativo quando si introduce il modello quadratico, mentre nella suddivisione per reddito il consumo ha un impatto maggiore e positivo nei Paesi a reddito medio alto.

Il consumo elettrico ha invece un impatto quadratico negativo sul PIL in Europa e, soprattutto, in Nord America, mentre ha effetto positivo nelle restanti aree geografiche, ad eccezione dell'America Latina in cui il valore non è significativo. A differenza del consumo energetico, si hanno due aree geografiche in cui il consumo elettrico ha una relazione significativa con l'HDI: in Europa l'effetto è negativo nel modello quadratico, mentre in Nord America il modello significativo è quello lineare, e la relazione è maggiormente negativa. L'impatto sul RNN corretto è invece positivo e significativo in America Latina, Asia e Africa, confermando l'effetto non lineare del rapporto tra le due variabili.

Infine, l'intensità energetica ha sempre impatto negativo sul PIL in tutte le aree geografiche, e i coefficienti significativi si registrano in Nord America e Est Asia nel modello quadratico, in Europa e Africa nel modello lineare. Tali risultati confermano quindi quelli pubblicati nella letteratura esistente, che ha ampiamente riportato prove su questa correlazione negativa per i paesi sviluppati, ma anche per i paesi emergenti e in via di

sviluppo. Utilizzando il RNN si hanno meno valori significativi, in particolare in Europa dove l'effetto quadratico è negativo, in Nord America, dove l'effetto quadratico è positivo, e in America Latina, dove prevale l'effetto lineare ma negativo.

In conclusione, i risultati ottenuti suggeriscono che il consumo energetico e il consumo elettrico siano fattori importanti che influenzano la crescita economica non solo nei Paesi in via di sviluppo, ma anche nei Paesi a reddito alto e medio alto. Dal punto di vista teorico, vi è maggiormente supporto per il modello quadratico del consumo energetico poiché, ad un determinato livello di reddito, l'energia dovrebbe raggiungere un plateau e non influenzare ulteriormente la crescita economica. Tale andamento è stato in parte riscontrato durante l'analisi descrittiva dei dati: se si analizza graficamente un singolo Paese, infatti, è maggiormente evidente la differenza della relazione consumo-crescita a seconda del reddito. Analizzando i risultati ottenuti attraverso l'analisi di regressione, si deve tener conto del fatto che i dati utilizzati si riferiscono ad un campione di Paesi in cui spesso molte variabili riportano valori mancanti, e questo ha portato ad avere risultati non sempre coerenti con la letteratura esistente. Ulteriori ricerche potranno chiarire meglio la relazione tra consumo e sviluppo, includendo analisi di causalità e variabili che prendano in considerazione svariati aspetti, in aggiunta al reddito, per definire lo sviluppo e l'aumento di ricchezza in un Paese.

## Bibliografia

- Acheampong, Alex O. 2018. «Economic Growth, CO2 Emissions and Energy Consumption: What Causes What and Where?» *Energy Economics* 74: 677–92.
- Agovino, Massimiliano, Silvana Bartoletto, e Antonio Garofalo. 2019. «Modelling the Relationship between Energy Intensity and GDP for European Countries: An Historical Perspective (1800–2000)». *Energy Economics* 82: 114–34.
- Ahmad, Nisar, Reza Fathollahzadeh Aghdam, Irfan Butt, e Amjad Naveed. 2020. «Citation-Based Systematic Literature Review of Energy-Growth Nexus: An Overview of the Field and Content Analysis of the Top 50 Influential Papers». *Energy Economics* 86: 104642.
- Ajmi, Ahdi Noomen, Shawkat Hammoudeh, Duc Khuong Nguyen, e João Ricardo Sato. 2015. «On the Relationships between CO 2 Emissions, Energy Consumption and Income: The Importance of Time Variation». *Energy Economics* 49: 629–38.
- Akizu-Gardoki, Ortzi et al. 2018. «Decoupling between Human Development and Energy Consumption within Footprint Accounts». *Journal of Cleaner Production* 202: 1145–57.
- Apergis, Nicholas, e James E. Payne. 2011. «A Dynamic Panel Study of Economic Development and the Electricity Consumption-Growth Nexus». *Energy Economics* 33(5): 770–81.
- Apergis, Nicholas, e Chor Foon Tang. 2013. «Is the Energy-Led Growth Hypothesis Valid? New Evidence from a Sample of 85 Countries». *Energy Economics* 38: 24–31.
- Arto, Iñaki et al. 2016. «The Energy Requirements of a Developed World». *Energy for Sustainable Development* 33: 1–13.
- Aydin, Celil, e Ömer Esen. 2018. «Does the Level of Energy Intensity Matter in the Effect of Energy Consumption on the Growth of Transition Economies? Evidence from Dynamic Panel Threshold Analysis». *Energy Economics* 69: 185–95.
- Belke, Ansgar, Frauke Dobnik, e Christian Dreger. 2011. «Energy Consumption and Economic Growth: New Insights into the Cointegration Relationship». *Energy Economics* 33(5): 782–89.
- Best, Rohan, e Paul J. Burke. 2018. «Electricity Availability: A Precondition for Faster Economic Growth?» *Energy Economics* 74: 321–29.
- Bruns, Stephan B., e Christian Gross. 2013. «What If Energy Time Series Are Not Independent? Implications for Energy-GDP Causality Analysis». *Energy Economics* 40: 753–59.
- Burke, Paul J. 2010. «Income, Resources, and Electricity Mix». *Energy Economics* 32(3): 616–26.
- Burke, Paul J., e Zsuzsanna Csereklyei. 2016. «Understanding the Energy-GDP Elasticity: A Sectoral Approach». *Energy Economics* 58: 199–210.
- Chica-Olmo, Jorge, Salaheddine Sari-Hassoun, e Pablo Moya-Fernández. 2020. «Spatial Relationship between Economic Growth and Renewable Energy Consumption in 26 European Countries». *Energy Economics* 92: 104962.

- Chiou-Wei, Song Zan, Ching-Fu Chen, e Zhen Zhu. 2008. «Economic Growth and Energy Consumption Revisited — Evidence from Linear and Nonlinear Granger Causality». *Energy Economics* 30(6): 3063–76.
- Csereklyei, Zsuzsanna, M. d. Mar Rubio-Varas, e David I. Stern. 2016. «Energy and Economic Growth: The Stylized Facts». *The Energy Journal* 37(2). <http://www.iaee.org/en/publications/ejarticle.aspx?id=2759> (27 dicembre 2020).
- Deichmann, Uwe, Anna Reuter, Sebastian Vollmer, e Fan Zhang. 2019. «The Relationship between Energy Intensity and Economic Growth: New Evidence from a Multi-Country Multi-Sectorial Dataset». *World Development* 124: 104664.
- Díaz, Antonia, Gustavo A. Marrero, Luis A. Puch, e Jesús Rodríguez. 2019. «Economic Growth, Energy Intensity and the Energy Mix». *Energy Economics* 81: 1056–77.
- Dinda, Soumyananda, e Dipankor Coondoo. 2006. «Income and Emission: A Panel Data-Based Cointegration Analysis». *Ecological Economics* 57(2): 167–81.
- Dogan, Eyup, Buket Altinoz, Mara Madaleno, e Dilvin Taskin. 2020. «The Impact of Renewable Energy Consumption to Economic Growth: A Replication and Extension Of». *Energy Economics* 90: 104866.
- Huang, Bwo-Nung, M.J. Hwang, e C.W. Yang. 2008. «Causal Relationship between Energy Consumption and GDP Growth Revisited: A Dynamic Panel Data Approach». *Ecological Economics* 67(1): 41–54.
- Inglesi-Lotz, Roula. 2016. «The Impact of Renewable Energy Consumption to Economic Growth: A Panel Data Application». *Energy Economics* 53: 58–63.
- Kahouli, Bassem. 2017. «The Short and Long Run Causality Relationship among Economic Growth, Energy Consumption and Financial Development: Evidence from South Mediterranean Countries (SMCs)». *Energy Economics* 68: 19–30.
- Kebede, Ellene, John Kagochi, e Curtis M. Jolly. 2010. «Energy Consumption and Economic Development in Sub-Sahara Africa». *Energy Economics* 32(3): 532–37.
- Kibria, Ahsan, Sherzod B. Akhundjanov, e Reza Oladi. 2019. «Fossil Fuel Share in the Energy Mix and Economic Growth». *International Review of Economics & Finance* 59: 253–64.
- Kristjanpoller R., Werner, Alejandro Sierra C., e Javier Scavia D. 2018. «Dynamic Co-Movements between Energy Consumption and Economic Growth. A Panel Data and Wavelet Perspective». *Energy Economics* 72: 640–49.
- Lambert, Jessica G. et al. 2014. «Energy, EROI and Quality of Life». *Energy Policy* 64: 153–67.
- Le, Thai-Ha, Youngho Chang, e Donghyun Park. 2020. «Renewable and Nonrenewable Energy Consumption, Economic Growth, and Emissions: International Evidence». *The Energy Journal* 41(2). <http://www.iaee.org/en/publications/ejarticle.aspx?id=3478> (27 dicembre 2020).
- Lee, Chien-Chiang. 2005. «Energy Consumption and GDP in Developing Countries: A Cointegrated Panel Analysis». *Energy Economics* 27(3): 415–27.

- Liddle, Brantley, e Hillard Huntington. 2020. «There's Technology Improvement, but Is There Economy-Wide Energy Leapfrogging? A Country Panel Analysis». *World Development*: 105259.
- Liu, Bowen, e Jun Matsushima. 2019. «Annual Changes in Energy Quality and Quality of Life: A Cross-National Study of 29 OECD and 37 Non-OECD Countries». *Energy Reports* 5: 1354–64.
- Menegaki, Angeliki N. 2011. «Growth and Renewable Energy in Europe: A Random Effect Model with Evidence for Neutrality Hypothesis». *Energy Economics* 33(2): 257–63.
- Mohammadi, Hassan, e Modhurima Dey Amin. 2015. «Long-Run Relation and Short-Run Dynamics in Energy Consumption–Output Relationship: International Evidence from Country Panels with Different Growth Rates». *Energy Economics* 52: 118–26.
- Mohammadi, Hassan, e Shahrokh Parvaresh. 2014. «Energy Consumption and Output: Evidence from a Panel of 14 Oil-Exporting Countries». *Energy Economics* 41: 41–46.
- Moran, Daniel D. et al. 2008. «Measuring Sustainable Development — Nation by Nation». *Ecological Economics* 64(3): 470–74.
- Nadimi, Reza, e Koji Tokimatsu. 2018. «Modeling of Quality of Life in Terms of Energy and Electricity Consumption». *Applied Energy* 212: 1282–94.
- Narayan, Paresh Kumar, e Russell Smyth. 2008. «Energy Consumption and Real GDP in G7 Countries: New Evidence from Panel Cointegration with Structural Breaks». *Energy Economics* 30(5): 2331–41.
- Nguyen-Van, Phu. 2010. «Energy Consumption and Income: A Semiparametric Panel Data Analysis». *Energy Economics* 32(3): 557–63.
- Ohler, Adrienne, e Ian Fetters. 2014. «The Causal Relationship between Renewable Electricity Generation and GDP Growth: A Study of Energy Sources». *Energy Economics* 43: 125–39.
- Quedraogo, Nadia S. 2013. «Energy Consumption and Human Development: Evidence from a Panel Cointegration and Error Correction Model». *Energy* 63: 28–41.
- P. Tonkovic, Michael, e Syed Azfar Hussain. 2017. «Residential and Non-Residential Electricity Dynamics». *Energy Economics* 64: 262–71.
- Pablo-Romero, María del P., e Antonio Sánchez-Braza. 2015. «Productive Energy Use and Economic Growth: Energy, Physical and Human Capital Relationships». *Energy Economics* 49: 420–29.
- Pasternak, Alan D. «GLOBAL ENERGY FUTURES AND HUMAN DEVELOPMENT: A FRAMEWORK FOR ANALYSIS». : 27.
- Pretty, Jules. 2013. «The Consumption of a Finite Planet: Well-Being, Convergence, Divergence and the Nascent Green Economy». *Environmental and Resource Economics* 55(4): 475–99.
- Rajbhandari, Ashish, e Fan Zhang. 2018. «Does Energy Efficiency Promote Economic Growth? Evidence from a Multicountry and Multisectoral Panel Dataset». *Energy Economics* 69: 128–39.

- Richmond, Amy K., e Robert K. Kaufmann. 2006. «Is There a Turning Point in the Relationship between Income and Energy Use and/or Carbon Emissions?» *Ecological Economics* 56(2): 176–89.
- Rodríguez-Caballero, Carlos Vladimir, e Daniel Ventosa-Santaulària. 2017. «Energy-Growth Long-Term Relationship under Structural Breaks. Evidence from Canada, 17 Latin American Economies and the USA». *Energy Economics* 61: 121–34.
- Soytas, Ugur, e Ramazan Sari. 2003. «Energy Consumption and GDP: Causality Relationship in G-7 Countries and Emerging Markets». : 5.
- Steinberger, Julia K., e J. Timmons Roberts. 2010. «From Constraint to Sufficiency: The Decoupling of Energy and Carbon from Human Needs, 1975–2005». *Ecological Economics* 70(2): 425–33.
- Stock, James H, Mark W Watson, e Legoprint. 2005. *Introduzione all'econometria*. Milano: Pearson education Italia.
- Uddin, Md. Main, Vinod Mishra, e Russell Smyth. 2020. «Income Inequality and CO2 Emissions in the G7, 1870–2014: Evidence from Non-Parametric Modelling». *Energy Economics* 88: 104780.
- Wolde-Rufael, Yemane. 2014. «Electricity Consumption and Economic Growth in Transition Countries: A Revisit Using Bootstrap Panel Granger Causality Analysis». *Energy Economics* 44: 325–30.
- Zaman, Khalid, e Mitwali Abd-el. Moemen. 2017. «Energy Consumption, Carbon Dioxide Emissions and Economic Development: Evaluating Alternative and Plausible Environmental Hypothesis for Sustainable Growth». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 74: 1119–30.

# Appendice

## Appendice A: elenco dei Paesi utilizzati

### A.1 Suddivisione in base al reddito

#### ALTO REDDITO

Arabia Saudita	Estonia	Lussemburgo	Singapore
Australia	Finlandia	Malta	Slovacchia
Austria	Francia	Mauritius	Slovenia
Bahrein	Germania	Norvegia	Spagna
Belgio	Giappone	Nuova Zelanda	Stati Uniti
Brunei Darussalam	Grecia	Oman	Svezia
Canada	Irlanda	Paesi Bassi	Svizzera
Cile	Islanda	Panama	Trinidad e Tobago
Cipro	Israele	Polonia	Ungheria
Corea del Sud	Italia	Portogallo	Uruguay
Croazia	Kuwait	Qatar	
Danimarca	Lettonia	Regno Unito	
Emirati Arabi Uniti	Lituania	Romania	

#### REDDITO MEDIO ALTO

Albania	Colombia	Iran	Peru
Argentina	Costa Rica	Iraq	Repubblica Dominicana
Armenia	Cuba	Kazakhstan	Russia
Azerbaijan	Ecuador	Libano	Serbia
Bielorussia	Gabon	Libia	Sud Africa
Bosnia ed Erzegovina	Georgia	Malesia	Suriname
Botswana	Giamaica	Messico	Thailandia
Brasile	Giordania	Montenegro	Turchia
Bulgaria	Guatemala	Namibia	Turkmenistan
Cina	Indonesia	Paraguay	

### REDDITO MEDIO BASSO

Algeria	Filippine	Mongolia	Sri Lanka
Angola	Egitto	Marocco	Tanzania
Bangladesh	El Salvador	Myanmar	Tunisia
Benin	Ghana	Nepal	Ucraina
Cambogia	Honduras	Nicaragua	Uzbekistan
Cameroon	India	Nigeria	Vietnam
Costa d'Avorio	Kenya	Pakistan	Zambia
Egitto	Kirghikistan	Repubblica del Congo	Zimbabwe
El Salvador	Moldavia	Senegal	

### REDDITO BASSO

Eritrea	Mozambico	Sudan	Togo
Etiopia	Niger	Siria	Yemen
Haiti	Repubblica Democratica del Congo	Tagikistan	

## **A.2 Suddivisione per area geografica**

### EST ASIA - PACIFICO

Australia	Corea del Sud	Malesia	Singapore
Brunei Darussalam	Filippine	Mongolia	Tailandia
Cambogia	Giappone	Myanmar	Vietnam
Cina	Indonesia	Nuova Zelanda	

### SUD ASIA

Bangladesh	Nepal	Sri Lanka
India	Pakistan	

### NORD AMERICA

Canada	Stati Uniti
--------	-------------

### AMERICA LATINA

Argentina	Ecuador	Messico	Suriname
Brasile	El Salvador	Nicaragua	Trinidad and Tobago
Cile	Giamaica	Panama	Uruguay
Colombia	Guatemala	Paraguay	
Costa Rica	Haiti	Peru	
Cuba	Honduras	Repubblica Dominicana	

### EUROPA-ASIA CENTRALE

Albania	Finlandia	Moldavia	Spagna
Armenia	Francia	Montenegro	Svezia
Austria	Georgia	Norvegia	Svizzera
Azerbaijan	Germania	Paesi Bassi	Tagikistan
Belgio	Grecia	Polonia	Turchia
Bielorussia	Islanda	Portogallo	Turkmenistan
Bosnia ed Erzegovina	Italia	Regno Unito	Ucraina
Bulgaria	Kazakhstan	Romania	Ungheria
Croazia	Kirghizistan	Russia	Uzbekistan
Cipro	Lettonia	Serbia	
Danimarca	Lithuania	Slovacchia	
Estonia	Luxembourg	Slovenia	

### EST-NORD AFRICA

Algeria	Giordania	Libano	Qatar
Arabia Saudita	Iran	Libia	Siria
Bahrein	Iraq	Malta	Tunisia
Emirati Arabi Uniti	Israele	Marocco	Yemen
Egitto	Kuwait	Oman	

## AFRICA SUB-SAHARIANA

Angola	Etiopia	Namibia	Sud Africa
Benin	Gabon	Niger	Sudan
Botswana	Ghana	Nigeria	Tanzania
Cameroon	Kenya	Repubblica Democratica del Congo	Togo
Costa d'Avorio	Mauritius	Repubblica del Congo	Zambia
Eritrea	Mozambico	Senegal	Zimbabwe

## Appendice B: relazioni globali degli indicatori e tabelle riassuntive

### B1. PIL e consumi

	log (PIL pc) (1)	log (PIL pc) (2)	log (PIL pc) (3)
log (consumo di energia pc)	0.38*** (0.06)	0.35 (0.41)	0.36 (0.42)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>		0.00 (0.03)	0.00 (0.03)
D.log (PIL pc)			0.02 (0.12)
Osservazioni	2709	2709	2696
Paesi	127	127	127
R <sup>2</sup>	0.81	0.81	0.80
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 1.1: PIL e consumi energetici globali*

	log(PIL pc) (1)	log(PIL pc) (2)	log(PIL pc) (3)
log(consumo elettrico pc)	0.25*** (0.04)	0.05 (0.11)	0.04 (0.11)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		0.02* (0.01)	0.02* (0.01)
D.log(PIL pc)			0.10 (0.12)
Osservazioni	2676	2676	2663
Paesi	127	127	127
R <sup>2</sup>	0.81	0.82	0.82
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse

*Tabella 1.2: PIL e consumi elettrici globali*

	log(PIL pc) (1)	log(PIL pc) (2)	log(PIL pc) (3)
Intensità energetica	-0.42*** (0.11)	-1.24*** (0.22)	-1.32*** (0.22)
Intensità energetica <sup>2</sup>		0.36*** (0.08)	0.37*** (0.07)
D.log(PIL pc)			-0.39*** (0.13)
Osservazioni	2709	2709	2696
Paesi	127	127	127
R <sup>2</sup>	0.79	0.81	0.81
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 1.3: PIL e intensità energetica a livello globale

	Europa-Asia Centrale	America Latina	Nord America	Est Asia-Pacifico	Sud Asia	Africa
log (consumo di energia pc)	1.50* (0.77)	-2.38* (1.24)	-8.84*** (0.00)	-0.05 (0.63)	-0.17 (0.90)	0.33 (0.40)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>	-0.07 (0.05)	0.18* (0.10)	0.46*** (0.00)	0.04 (0.04)	0.03 (0.07)	-0.01 (0.03)
Osservazioni	1028	461	52	319	114	735
Paesi	46	20	2	15	5	39

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01

Tabella 1.4: PIL e consumi energetici nei Paesi suddivisi per area geografica

	Europa-Asia Centrale	America Latina	Nord America	Est Asia-Pacifico	Sud Asia	Africa
log (consumo elettrico pc)	1.43** (0.53)	-0.17 (0.09)	13.57 (.)	-0.04 (0.13)	-0.73** (0.19)	-0.01 (0.11)
log (consumo elettrico pc) <sup>2</sup>	-0.07** (0.03)	0.03 (0.02)	-0.68*** (0.00)	0.03*** (0.01)	0.08** (0.03)	0.03*** (0.01)
Osservazioni	1004	459	50	315	114	734
Paesi	46	20	2	15	5	39

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01

Tabella 1.5: PIL e consumi elettrici nei Paesi suddivisi per area geografica

	Europa-Asia Centrale	America Latina	Nord America	Est Asia-Pacifico	Sud Asia	Africa
log (intensità energetica)	-0.43*** (0.10)	-0.69* (0.36)	-1.71*** (0.00)	-0.73** (0.25)	-0.21 (0.22)	-0.43** (0.16)
log (intensità energetica) <sup>2</sup>	-0.02 (0.03)	-0.11 (0.12)	-0.29*** (0.00)	-0.19** (0.09)	0.11 (0.12)	-0.04 (0.04)
Osservazioni	1028	461	52	319	114	735
Paesi	46	20	2	15	5	39

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01

Tabella 1.6: PIL e intensità energetica nei Paesi suddivisi per area geografica

## B2. HDI e consumi

	HDI (1)	HDI (2)	HDI (3)
log(consumo di energia pc)	0.04*** (0.01)	0.08 (0.05)	0.08 (0.05)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>		-0.00 (0.00)	-0.00 (0.00)
D.HDI			0.12 (0.09)
Osservazioni	2647	2647	2556
Paesi	127	127	126
R <sup>2</sup>	0.89	0.89	0.89
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 2.1: HDI e consumi energetici globali

	HDI (1)	HDI (2)	HDI (3)
log(consumo elettrico pc)	0.04*** (0.01)	0.04** (0.01)	0.04** (0.01)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
D.HDI			0.21** (0.08)
Osservazioni	2614	2614	2523
Paesi	127	127	126
R <sup>2</sup>	0.91	0.91	0.91
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 2.2: HDI e consumi elettrici globali

	Europa-Asia Centrale	America Latina	Nord America	Est Asia-Pacifico	Sud Asia	Africa
log (consumo di energia pc)	0.15 (0.09)	-0.11 (0.11)	-7.89 (.)	0.10 (0.11)	0.02 (0.08)	0.08 (0.09)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>	-0.01 (0.01)	0.01 (0.01)	0.44 (.)	-0.00 (0.01)	-0.00 (0.01)	-0.00 (0.01)
Osservazioni	1011	461	50	319	114	692
Paesi	46	20	2	15	5	39

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01

	Europa-Asia Centrale	America Latina	Nord America	Est Asia-Pacifico	Sud Asia	Africa
log (consumo elettrico pc)	0.24*** (0.04)	0.05 (0.04)	-2.27*** (0.00)	0.01 (0.03)	0.08 (0.05)	0.02 (0.01)
log (consumo elettrico pc) <sup>2</sup>	-0.01*** (0.00)	-0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	-0.01 (0.01)	0.00 (0.00)
Osservazioni	987	459	48	315	114	691
Paesi	46	20	2	15	5	39

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01

Tabella 2.3: HDI e consumi energetici nei Paesi suddivisi per area geografica

Tabella 2.4: HDI e consumi elettrici nei Paesi suddivisi per area geografica

### B3. HIHD e consumi

	HIHD (1)	HIHD (2)
log(consumo di energia pc)	0.06*** (0.02)	-0.25*** (0.08)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>		0.02*** (0.01)
Osservazioni	653	653
Paesi	120	120
R <sup>2</sup>	0.82	0.83
Country_FE	YES	YES
Year FE	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.1: HIHD e consumi energetici globali*

	HIHD (1)	HIHD (2)
log(consumo elettrico pc)	0.03*** (0.01)	-0.10*** (0.03)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		0.01*** (0.00)
Osservazioni	621	621
Paesi	120	120
R <sup>2</sup>	0.78	0.81
Country_FE	YES	YES
Year FE	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 3.2: HIHD e consumi elettrici globali*

	Europa-Asia Centrale	America	Est Asia-Pacifico	Sud Asia	Africa
log (consumo di energia pc)	-0.07 (0.16)	-0.55** (0.18)	-0.48** (0.17)	-0.07 (0.15)	-0.05 (0.12)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>	0.01 (0.01)	0.04** (0.01)	0.04*** (0.01)	0.01 (0.01)	0.01 (0.01)
Osservazioni	241	126	80	27	179
Paesi	40	21	15	5	39

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01

Tabella 3.3: HIHD e consumi energetici nei Paesi suddivisi per area geografica

	Europa-Asia Centrale	America	Est Asia-Pacifico	Sud Asia	Africa
log (consumo elettrico pc)	0.02 (0.19)	0.03 (0.05)	-0.08* (0.03)	-0.05 (0.03)	-0.04 (0.04)
log (consumo elettrico pc) <sup>2</sup>	0.00 (0.01)	-0.00 (0.00)	0.01 (0.01)	0.01** (0.00)	0.01* (0.00)
Osservazioni	218	122	76	27	178
Paesi	40	21	15	5	39

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01

Tabella 3.4: HIHD e consumi elettrici nei Paesi suddivisi per area geografica

#### B4. RNN corretto e consumi

	log(RNN corretto pc) (1)	log(RNN corretto pc) (2)	log(RNN corretto pc) (3)
log(consumo di energia pc)	0.35*** (0.09)	-1.09*** (0.38)	-1.16*** (0.40)
log(consumo di energia pc) <sup>2</sup>		0.10*** (0.02)	0.11*** (0.03)
D.log(RNN corretto pc)			0.28** (0.12)
Osservazioni	2545	2545	2488
Paesi	124	124	119
R <sup>2</sup>	0.67	0.68	0.71
Country_FE	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

Tabella 4.1: RNN corretto e consumi energetici globali

	log(RNN corretto pc) (1)	log(RNN corretto pc) (2)	log(RNN corretto pc) (3)
log(consumo elettrico pc)	0.22*** (0.06)	-0.16 (0.12)	-0.23** (0.12)
log(consumo elettrico pc) <sup>2</sup>		0.03*** (0.01)	0.04*** (0.01)
D.log(RNN corretto pc)			0.29** (0.12)
Osservazioni	2513	2513	2456
Paesi	124	124	119
R <sup>2</sup>	0.67	0.68	0.71
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 4.2: RNN corretto e consumi elettrici globali*

	log(RNN corretto pc) (1)	log(RNN corretto pc) (2)	log(RNN corretto pc) (3)
Intensità energetica	-0.60*** (0.18)	-1.67*** (0.34)	-1.77*** (0.34)
Intensità energetica <sup>2</sup>		0.47*** (0.11)	0.49*** (0.11)
D.log(RNN corretto pc)			0.25** (0.13)
Osservazioni	2545	2545	2488
Paesi	124	124	119
R <sup>2</sup>	0.68	0.70	0.73
Country_FE	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01. Variabili di controllo e intercetta omesse.

*Tabella 4.3: RNN corretto e intensità energetica a livello globale*

	Europa-Asia Centrale	America Latina	Nord America	Est Asia-Pacifico	Sud Asia	Africa
log (consumo di energia pc)	-0.80 (0.16)	-3.53*** (1.06)	-54.21*** (0.00)	-0.59 (0.39)	-0.70 (1.11)	-0.77*** (0.10)
log (consumo di energia pc) <sup>2</sup>	0.09 (0.09)	0.26*** (0.08)	3.03 (.)	0.06** (0.03)	0.08 (0.09)	0.08*** (0.02)
Osservazioni	923	452	52	315	114	689
Paesi	45	20	2	15	5	34

\*p<0.10,\*\*p<0.05,\*\*\*p<0.01

Tabella 4.4: RNN corretto e consumi energetici nei Paesi suddivisi per area geografica

	Europa-Asia Centrale	America Latina	Nord America	Est Asia-Pacifico	Sud Asia	Africa
log (consumo elettrico pc)	0.77 (1.23)	-0.49* (0.28)	-32.37 (.)	-0.20** (0.09)	-0.89** (0.20)	-0.21 (0.21)
log (consumo elettrico pc) <sup>2</sup>	-0.03 (0.08)	0.06** (0.02)	1.71 (.)	0.02*** (0.01)	0.10** (0.03)	0.05*** (0.02)
Osservazioni	900	450	50	311	114	688
Paesi	45	20	2	15	5	37

\*p<0.10,\*\*p<0.05,\*\*\*p<0.01

Tabella 4.5: RNN corretto e consumi elettrici nei Paesi suddivisi per area geografica

	Europa-Asia Centrale	America Latina	Nord America	Est Asia-Pacifico	Sud Asia	Africa
log (intensità energetica)	-0.93*** (0.19)	-0.77** (0.37)	-1.05*** (0.00)	-0.08 (0.24)	-0.29 (0.34)	-0.26 (0.21)
log (intensità energetica) <sup>2</sup>	-0.14*** (0.05)	-0.13 (0.12)	0.37*** (0.07)	-0.06 (0.07)	0.08 (0.17)	0.02 (0.08)
Osservazioni	923	452	52	315	114	689
Paesi	45	20	2	15	5	37

\*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01

Tabella 4.6: RNN corretto e intensità energetica nei Paesi suddivisi per area geografica

## Ringraziamenti

Ringrazio il Professor Carlo Cambini, per avermi seguita con costanza e grande disponibilità durante tutta la stesura della tesi, e la Professoressa Chiara Ravetti, per il suo indispensabile aiuto e contributo nella realizzazione del lavoro.

Un ringraziamento particolare va alla mia famiglia, che mi ha sempre sostenuta, appoggiata e spronata ad andare avanti nonostante le difficoltà incontrate e i momenti di sconforto. Grazie per aver sempre creduto in me, spero siate fieri del traguardo che ho raggiunto e di avervi ripagato di tutti gli sforzi sostenuti.

Desidero ringraziare tutti i miei amici che da anni sono al mio fianco e che sono sempre stati una parte essenziale della mia vita. In particolare, ringrazio Arianna, Maria Chiara e Gioele, per avermi regalato tanti momenti felici e per essermi stati accanto anche quando mi sono sentita più fragile e triste. Siete un porto sicuro e gli amici che tutti dovrebbero avere per una vita intera. Grazie a Francesca e Eleonora, che siete parte della mia grande famiglia allargata, auguro a noi di mantenere un domani lo stesso bellissimo rapporto duraturo che hanno ancora i nostri genitori dopo più di trent'anni. Infine, ringrazio coloro che mi hanno accompagnata in questi due anni: grazie a Giuseppe, Giorgia, Virginia, Rossella, Chiara, Maria e Jennifer, per aver alleggerito e rallegrato le giornate passate al Politecnico e le lunghe sessioni di studio. Siete il motivo per cui per me non ha importanza l'aver perso un anno in triennale: senza gli errori commessi e le difficoltà avute forse non vi avrei mai conosciuto, e sarebbe stata una grande mancanza.

Federica Pastore