



**POLITECNICO
DI TORINO**

Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

Energia e sviluppo

Analisi empirica del rapporto tra utilizzo energetico e sviluppo nel mondo

Relatore

prof. Carlo Cambini

Candidato

Ussama Dannawi

ANNO ACCADEMICO 2018 - 2019

Sommario

Nella presente trattazione è stato effettuato uno studio empirico sulla relazione tra consumo energetico e sviluppo. Per valutare lo sviluppo sono stati usati il PIL, l'aspettativa di vita e gli anni medi di istruzione di ciascun paese. L'analisi è stata effettuata in 169 paesi, dal 1990 al 2019. Il metodo di stima dei modelli formulati è la regressione con effetti fissi su dati panel. I risultati hanno dimostrato che l'effetto dei consumi energetici è positivo sul PIL, ma non sempre statisticamente significativo. I contributi dei consumi su aspettativa di vita ed anni di istruzione si sono rivelati anch'essi positivi, in pochi casi non significativi, ma molto bassi e talvolta irrilevanti. È inoltre stato riscontrato che i consumi energetici hanno impatti differenti sullo sviluppo a seconda del reddito dei paesi considerati.

Indice

Elenco delle tabelle	5
Elenco delle figure	6
1 Introduzione	7
2 Revisione della letteratura	8
2.1 Indicatori	8
2.1.1 Indicatori di sviluppo e benessere	8
2.1.2 Indicatori di utilizzo energetico	12
2.2 Metodologia degli studi esistenti	13
2.2.1 Teorie	13
2.2.2 Approcci e modelli econometrici	14
2.3 Energia e sviluppo: evidenze empiriche	16
2.3.1 Funzioni e punti di saturazione	16
2.3.2 Efficienza e consumi energetici	16
2.3.3 Disaccoppiamento di energia e sviluppo	17
2.3.4 Energy intensity of human well-being	17
2.3.5 Emissioni di CO ₂	18
2.3.6 Critiche	18
3 Metodologia	23
3.1 Dati	23
3.1.1 La raccolta utilizzata	23
3.1.2 Descrizione dei dati	23
3.2 Metodo	34
3.2.1 Variabili	35
3.2.2 Modelli	37
4 Risultati	39
4.1 PIL e consumi energetici	39
4.2 Aspettativa di vita e consumi energetici	43
4.3 Istruzione e consumi energetici	46
5 Conclusioni	50

Elenco delle tabelle

2.1	Riepilogo degli studi sul legame tra utilizzo energetico e sviluppo	19
3.1	Andamenti nazionali e globali di alcuni indicatori usati nell'analisi	26
3.2	Correlazioni a coppie tra indici di accessibilità elettrica ed alcuni indicatori	26
3.3	PIL e consumi energetici	33
3.4	Aspettativa di vita e consumi energetici	34
3.5	Istruzione e consumi energetici	35
4.1	PIL e consumi energetici totali	41
4.2	Confronto fra gruppi di paesi per la relazione tra PIL e consumi energetici totali	42
4.3	Aspettativa di vita (LEB) e consumi energetici totali	44
4.4	Confronto fra gruppi di paesi per la relazione tra aspettativa di vita (LEB) e consumi energetici totali	45
4.5	Istruzione (MYS) e consumi energetici totali	47
4.6	Confronto fra gruppi di paesi per la relazione tra istruzione (MYS) e consumi energetici totali	49

Elenco delle figure

3.1	Andamento di LEB e MYS	24
3.2	Andamento del PIL pro capite	24
3.3	Diagramma a scatola e baffi dei consumi elettrici pro capite nel mondo, dal 1990 al 2014	25
3.4	Consumi energetici e CO ₂	27
3.5	Consumi energetici e MPI	27
3.6	PIL e consumi energetici totali	28
3.7	PIL e consumi elettrici totali	28
3.8	PIL e consumi energetici totali (Yemen)	28
3.9	PIL e consumi energetici totali (USA)	28
3.10	PIL e consumi energetici totali (Tanzania)	29
3.11	PIL e consumi energetici totali (Kenya)	29
3.12	PIL e consumi elettrici totali (Yemen)	29
3.13	PIL e consumi elettrici totali (USA)	29
3.14	Aspettativa di vita e consumi energetici totali	30
3.15	Aspettativa di vita e consumi elettrici totali	30
3.16	Aspettativa di vita e consumi energetici totali (Giappone)	30
3.17	Aspettativa di vita e consumi elettrici totali (Giappone)	30
3.18	Confronto delle relazioni tra istruzione (MYS) e consumo elettrico pro-capite in quattro gruppi di paesi suddivisi per reddito	31
3.19	Istruzione e consumo elettrico pro-capite nei paesi a basso reddito	32
3.20	Aspettativa di vita e consumi elettrici pro capite nei paesi MB	32
3.21	Aspettativa di vita e consumi elettrici pro capite nei paesi MA	32

Capitolo 1

Introduzione

A partire dal 1990 le condizioni di vita nel mondo sono gradualmente migliorate. Fattori come la crescita economica, l'evoluzione delle istituzioni e l'attenzione agli aspetti sociali, hanno determinato uno sviluppo significativo in molti paesi. Parallelamente, numerose ricerche hanno tentato di analizzare i fattori legati allo sviluppo spiegandone le cause. Un considerevole insieme di pubblicazioni identifica il consumo energetico come determinante dello sviluppo. Gli studi in tale campo sono nella maggior parte dei casi concentrati su aspetti limitati, quali consumi energetici e crescita economica, efficienza d'utilizzo energetico ed aumento del benessere soggettivo, e così via. Comprendere l'influenza del consumo energetico sullo sviluppo è prerogativa di molti governi, i quali negli ultimi anni hanno anche dato attenzione alla crescita sostenibile per contrastare il degrado e lo sfruttamento dell'ambiente.

La presente trattazione vuole offrire un ulteriore contributo alla ricerca, analizzando il legame che hanno avuto variabili di carattere economico, politico, e sociale, con i consumi energetici nell'ultimo trentennio, dal 1990 al 2019. Rispetto agli studi precedenti, la presente ricerca considererà molti più fenomeni potenzialmente connessi allo sviluppo e cercherà di riportarne le evidenze più significative.

La trattazione è organizzata come segue:

Capitolo 2 offre una revisione della letteratura sul rapporto tra energia e sviluppo;

Capitolo 3 descrive la metodologia usata per condurre lo studio;

Capitolo 4 discute i risultati ottenuti;

Capitolo 5 riporta le conclusioni dello studio.

Capitolo 2

Revisione della letteratura

Il presente capitolo offre una rassegna dei principali articoli su energia e sviluppo. La relazione sarà in seguito abbreviata con l'espressione "energia-sviluppo". Il capitolo è strutturato in tre sezioni. Nella prima si affronta la misurazione dello sviluppo, questione al centro di molti studi economici e sociali, e dell'utilizzo energetico. La seconda sezione propone una rassegna delle principali teorie e modelli adottati per studiare il legame energia-sviluppo. L'ultima sezione elenca invece le evidenze empiriche ricorrenti in letteratura. Una tabella in fondo al capitolo riassume gli articoli su energia e sviluppo esaminati, evidenziandone: (i) paesi e (ii) periodo di studio, (iii) indicatori adottati, (iv) metodologia e (v) risultati.

2.1 Indicatori

2.1.1 Indicatori di sviluppo e benessere

La misurazione dello sviluppo di un paese è stata storicamente oggetto di numerosi studi accademici ed argomento d'interesse per una vasta comunità di organizzazioni e decisori politici. Le scelte di misurazione ponevano inizialmente il Prodotto Interno Lordo (PIL) come principale elemento di osservazione. Successivamente, a partire dal 1946, i contributi alle definizioni di sviluppo e benessere si arricchirono vedendo nel preambolo dello statuto dell'Organizzazione Mondiale della Sanità un primo tentativo di valorizzare le condizioni psicologiche e sociali degli individui (WHO, 1946). Nel 1972 lo Stato del Bhutan iniziò ad adoperare il concetto di Felicità Interna Lorda (FIL) secondo cui la nozione di sviluppo doveva tenere in considerazione anche gli aspetti non economici del benessere. Il FIL divenne successivamente un indicatore e nel 2008 fu inserito nella costituzione del Bhutan (Ura et al., 2012). Uguali sforzi furono compiuti dalla commissione di ricercatori, tra cui Amartya Sen, Joseph Stiglitz e Jean-Paul Fitoussi, che nel 2009 completarono un rapporto nel quale si riconosceva l'importanza di considerare aspetti di carattere sociale nella definizione di sviluppo (Stiglitz et al., 2009).

Valutare lo sviluppo di una popolazione richiede di misurare gli aspetti che la caratterizzano. Le misurazioni danno vita a valori (e.g. numeri, codici, sigle) che possono godere di proprietà matematiche più o meno forti (Franceschini, 2001). A seconda dell'ambito studiato, può risultare complesso ricavare misurazioni rappresentative di sviluppo e benessere. Dal lato materiale è facile ad esempio ricavare valori di reddito e consumo. Nello

studio della qualità della vita (in inglese “Quality of Life”, QoL) è invece più difficile ottenere misure significative, soprattutto perché la precisione delle valutazioni è alterata dalla soggettività di chi raccoglie i dati e degli individui da cui essi provengono (McGregor et al., 2015; Franceschini et al., 2007).

Il metodo di misurazione più adoperato dalle istituzioni, di ogni appartenenza, e dalla comunità scientifica si basa sull’uso degli indicatori. Gli indicatori possono essere classificati in svariati modi, ad esempio definendoli: (i) oggettivi qualora esprimano una relazione univoca tra una manifestazione empirica della realtà ed una misura tracciabile su un’apposita scala; (ii) soggettivi se ricavati mediante le valutazioni arbitrarie di un individuo rispetto ad un determinato fenomeno. Inoltre, la classificazione può essere perfezionata ulteriormente suddividendo gli indicatori in dimensioni e domini (McGregor et al., 2015). Per gli scopi di questa ricerca, dovendo studiare le condizioni di sviluppo e benessere nei paesi, la classificazione sarà composta da indicatori economici, istituzionali e sociali.

Indicatori economici

Tra gli indicatori economici il più usato è indubbiamente il PIL. Esso è la misura aggregata, a prezzi di mercato, di tutti i beni e i servizi finali prodotti all’interno di un paese. L’acceptabilità di questo indicatore è stata oggetto di controversie da parte della comunità scientifica per diverse ragioni. È ad esempio opinabile l’idea per cui il benessere e lo sviluppo possano essere misurati in chiave economica (McGillivray, 2006). Easterlin (1974) sostiene che ci sia un legame positivo tra reddito e felicità¹; W. Sacks et al. (2010) confermano che le persone ricche riportino un maggior grado di soddisfazione della vita. Al contrario il PIL è criticato da altri per la sua scarsa significatività in ambito sociale (Bergh, 2009; Jess, 2010; McGregor et al., 2015); Kahneman et al. (2006) dimostrano che il legame tra reddito e felicità sia molto debole, malgrado le persone credano di poter migliorare il proprio benessere soggettivo con l’aumento del reddito.

Mentre il PIL è considerato uno dei principali indicatori della ricchezza complessiva di un paese, il PIL pro capite, che si ottiene dividendo il PIL di un paese ed il suo numero di abitanti, fornisce una misura del benessere medio dei cittadini. In molti studi si adotta il PIL pro capite, come ad esempio in Hagerty (1999), Pasternak (2000), Ronald et al. (2008), Steinberger e Roberts (2010), Mazur (2011), Niu et al. (2013), Arto et al. (2016) e Nadimi e Tokimatsu (2018b).

Misure altrettanto comuni in letteratura ed ottenibili apportando alcune modifiche al PIL, sono il Reddito Nazionale Lordo (RNL) (McGillivray, 2006; Nadimi e Tokimatsu, 2018b; Saikia et al., 2018) ed il Reddito Nazionale Lordo pro capite (Jess, 2010; Nadimi e Tokimatsu, 2018a). Il RNL è costituito dalla somma di tutti i beni e servizi finali prodotti in un anno, sia all’interno che all’esterno, dagli operatori residenti in un determinato paese. PIL e RNL sono impiegati congiuntamente perché il PIL da solo incorpora spese (e.g. i finanziamenti pubblici) che determinano una crescita economica nazionale ma che non conferiscono benefici economici ai singoli individui. Il RNL è un indicatore volto a misurare

¹Secondo Easterlin (1974) quando aumenta il reddito la felicità aumenta fino a un certo punto, ma poi comincia a diminuire.

il reddito di cui dispone un paese per i consumi finali e il risparmio. Pertanto si presta a descrivere il livello di benessere cui dispongono i singoli individui.

Lee e Chang (2008), Salahuddin et al. (2015) e Bekhet et al. (2017) impiegano l'indicatore di sviluppo finanziario (in inglese Financial Development, FD), misurato come quota del credito privato e domestico sul PIL.

Infine, per includere disuguaglianza e distribuzione del reddito nella valutazione dello sviluppo, è importante citare l'uso del coefficiente di Gini in numerosi studi, quali ad esempio Jess (2010), Pasten e Santamarina (2012), Niu et al. (2013) e Lambert et al. (2014).

Indicatori istituzionali

Gli indicatori istituzionali sono generalmente impiegati per descrivere l'assetto politico e l'efficienza delle misure messe in atto dai governi per migliorare determinati aspetti dello sviluppo e del benessere. Tra questi si annoverano la forma di governo, l'efficienza dei sistemi giudiziari, le libertà civili e d'espressione politica, la regolamentazione delle industrie, lo stato dei diritti di proprietà e la stabilità politica. In questa sotto-sezione si tratteranno alcuni indicatori ricorrenti nella letteratura che descrive lo sviluppo dei paesi.

Il livello di democrazia è un indicatore ricorrente. Esso misura quanto un paese, mediante le sue istituzioni, consenta ai cittadini di esprimere le proprie preferenze politiche, ponga limiti al potere dell'organo esecutivo e garantisca le libertà civili. Comim (2017) elenca alcuni degli indicatori di democratizzazione più usati, evidenziando che le problematiche inerenti ad essi sono molteplici: (i) la sintesi di più aspetti istituzionali in una sola metrica; (ii) i problemi di aggregazione degli indicatori compositi; (iii) l'influenza della visione politica delle istituzioni che creano gli indicatori. Negli articoli esaminati si riscontra un ricorrente uso della raccolta di indicatori Polity IV rilasciati dal Center for Systemic Peace. Ronald et al. (2008) giustificano l'utilizzo del Democracy score (DS), indicatore del livello di democratizzazione nella suddetta raccolta, con evidenze empiriche secondo cui felicità e democrazia siano strettamente correlate. Egli sostiene anche una relazione causale bidirezionale tra democrazia e benessere soggettivo. Jorgenson et al. (2014) e Sweidan e Alwaked (2016) considerano il DS per il potenziale che ha nell'aumentare l'aspettativa di vita e nel ridurre i livelli di consumo energetico.

Un altro indicatore adottato quando si esamina lo sviluppo di un paese è l'accessibilità a fonti d'acqua non contaminate. Le risorse idriche, a prescindere dai modi in cui si consumano, costituiscono un bisogno fondamentale per l'uomo. Un accesso adeguato ad acque non contaminate determina la riduzione della diffusione di malattie ed un aumento della qualità della vita (WHO, 2004). Condividendo tali considerazioni, Pasten e Santamarina (2012) e Nadimi e Tokimatsu (2018a) inseriscono l'accessibilità all'acqua pulita (in inglese Water Access, WA) tra gli indicatori istituzionali rilevanti.

Quando si descrive il livello di degrado ambientale si cita spesso l'indicatore che misura le emissioni di anidride carbonica (Jess, 2010; Steinberger e Roberts, 2010; Pîrlogea, 2012; Salahuddin et al., 2015; Bekhet et al., 2017; Nadimi e Tokimatsu, 2018b; Wang et al., 2018). Esso è abbreviato con CO₂ ed è spesso impiegato nella forma pro capite.

È infine necessario evidenziare che alcuni autori si sono serviti di indicatori intermedi (proxy) per la valutazione degli aspetti istituzionali. Gli indicatori proxy sono utilizzati nel caso in cui non sia possibile individuare una misura diretta del fenomeno considerato.

Lambert et al. (2014) ad esempio impiegano l'indice di accessibilità al trattamento medico per valutare lo sviluppo di un paese, ed il tasso di alfabetizzazione femminile per l'uguaglianza di genere. L'uso di indicatori proxy può talvolta condurre a risultati discordanti. Sweidan e Alwaked (2016) ad esempio riportano che la quota di PIL riservata alla sanità pubblica ha dimostrato a volte di avere un saldo legame con l'aumento dell'aspettativa di vita ed altre no.

Indicatori sociali

Dall'analisi della letteratura sono emersi molte metriche di carattere sociale. Uno degli indicatori usati più frequentemente è l'indice di sviluppo umano (in inglese Human Development Index, HDI) (ad esempio in Pasternak, 2000; Dias et al., 2006; Martínez e Ebenhack, 2008; Steinberger e Roberts, 2010; Jess, 2010; Pîrlogea, 2012; Pretty, 2013; Lambert et al., 2014; Arto et al., 2016; Brand-Correa e Steinberger, 2017; Comim, 2017; Nadimi e Tokimatsu, 2018b; Akizu-Gardoki et al., 2018; Ngamaba e Soni, 2018; Wang et al., 2018; Saikia et al., 2018). Esso è una misura di sintesi delle attività di sviluppo umano di un paese o di una regione. L'HDI è definito come la media geometrica di tre indici di base, legati rispettivamente alla speranza di vita, al livello di istruzione e al reddito. L'indicatore, dopo essere stato criticato in numerosi studi e sotto diversi aspetti (ad esempio in Sagar e Najam, 1998; Ranis et al., 2006; Franceschini et al., 2007; Wolff et al., 2011; Hardeman e Dijkstra, 2014), è stato revisionato più volte e ne sono state sviluppate versioni alternative. Fra queste è opportuno ricordare l'IHDI (inequality-adjusted HDI), una revisione del classico HDI che include la disuguaglianza (McGillivray, 2006). Nonostante tutto, l'HDI rappresenta un valido indicatore per molti autori che lo adottano per la disponibilità di dati e l'oggettività di cui invece mancano misure alternative come il Happy Life Expectancy (Veenhoven, 1996).

Una parte della letteratura si serve di indicatori costruiti a partire da interviste condotte su campioni di residenti in alcuni paesi. McGregor et al. (2015), Comim (2017) e Oishi e Diener (2013) menzionano ed impiegano gli indicatori forniti dalla società Gallup. L'organizzazione rilascia ogni anno una raccolta a pagamento di indicatori, denominata Gallup World Poll, ottenuta dalle risposte a più di cento domande da parte di cittadini in 160 paesi del mondo. Alcune delle metriche incluse riguardano giustizia e legalità, nutrizione, istituzioni, infrastrutture, lavoro.

Un secondo gruppo di autori fa invece riferimento alla raccolta World Values Survey (WVS). La raccolta è stata realizzata da una rete mondiale di scienziati sociali che, dal 1981, hanno condotto indagini nazionali in quasi 100 nazioni. La WVS raccoglie dati empirici su atteggiamenti della popolazione mondiale verso l'ambiente, il lavoro, la famiglia, la politica, l'identità nazionale, la cultura, la diversità, l'insicurezza ed il benessere soggettivo. A partire dai dati della WVS, autori come Jess (2010), Diener et al. (1993) e Ronald et al. (2008) usano nelle loro ricerche l'indicatore Subjective well-being mentre Ed et al. (2006), Oishi e Diener (2013), Vinson e Ericson (2013) e Ronald et al. (2008) prediligono il Life Satisfaction (LS) come misura soggettiva del benessere.

Nel 2000 invece le Nazioni Unite hanno promosso l'iniziativa "Obbiettivi del Millennio" (Millennium Development Goals o, in forma abbreviata, MDGs), una dichiarazione in cui i paesi dell'ONU si sono impegnati a raggiungere otto obbiettivi nell'area dello sviluppo. In

sostituzione agli MDGs, scaduti nel 2015, sono subentrati gli obiettivi di sviluppo sostenibile (Sustainable Development Goals o, in forma abbreviata, SDGs) che mirano a risolvere un’ampia gamma di questioni intervenendo sulle cause dei problemi più che sui problemi stessi. Il termine dell’agenda degli SDGs è fissato per il 2030.

Un progetto parallelo a quello delle Nazioni Unite è “Better Life” lanciato dall’OECD. Nell’ambito del progetto esiste un apposito indice, il Better Life Index, che permette di mettere a confronto il grado di benessere nei vari Paesi, incorporato negli 11 temi che l’OCSE ha identificato quali essenziali, nelle diverse aree che interessano le condizioni materiali e la qualità della vita.

2.1.2 Indicatori di utilizzo energetico

Definiamo indicatori di utilizzo energetico le metriche finalizzate a descrivere la quantità di energia consumata e prodotta, a livello individuale o aggregato. In letteratura si fa distinzione tra indicatori che si riferiscono all’energia proveniente da fonti di primarie (gas naturale, eolico, petrolio, solare, geotermico e idroelettrico) e quelli provenienti da fonti secondarie, ottenute invece a valle di una trasformazione di energia (benzina, energia elettrica ed idrogeno).

Uno degli indicatori più ricorrenti in letteratura è il Consumo Energetico (Energy Consumption o, in forma abbreviata, EC) impiegato da Lee (2005), Dias et al. (2006), Lee e Chang (2008), Martínez e Ebenhack (2008), Jess (2010), Mazur (2011), Pasten e Santamarina (2012), Bekhet et al. (2017), Nadimi et al. (2017), Nadimi e Tokimatsu (2018a), Nadimi e Tokimatsu (2018b) e Tang et al. (2018). Esso è misurato in tonnellate equivalenti di petrolio (in inglese “tonne of oil equivalent”, toe) e convenzionalmente $1 \text{ toe} = 41.87 \text{ GJ} = 1330 \text{ W}$. L’EC è spesso espresso nella forma pro capite (ECpc) quando si confronta la relazione energia-sviluppo tra un paese e l’altro, mentre si usa nella forma aggregata se ci si limita ad esaminare la crescita economica. In quest’ultimo caso infatti il confronto è effettuato a livello macroeconomico tra variazioni di PIL ed EC. Un’altra forma ricorrente dell’EC è l’Electricity Consumption (EIC), misurato in kWh, limitato alla misurazione del consumo di energia elettrica. Anche l’EIC è usato in forma pro capite (EICpc) per confronti tra paesi (Pasternak, 2000; Niu et al., 2013; Salahuddin et al., 2015) e aggregata per trattazioni di carattere globale (Nadimi e Tokimatsu, 2018b). Pasternak (2000) si è servito dell’EIC come proxy per l’EC. Le fonti d’energia elettrica e rinnovabile sono ritenute i principali mezzi verso cui i paesi devono muoversi per uno sviluppo sostenibile.

Pirlogea (2012) e Wang et al. (2018) usano invece il Renewable Energy Consumption (REC), indicatore pro capite adatto agli studi sul rapporto tra energie rinnovabili, l’HDI e le emissioni di CO₂ pro capite.

Gli indicatori Total Primary Energy Demand (TPED) e Total Primary Energy Supply (TPES) sono rispettivamente impiegati da Arto et al. (2016) e Steinberger e Roberts (2010). TPED e TPES sono equivalenti in valore ma differiscono per la procedura di calcolo. Il primo include i consumi del settore energetico, le perdite che avvengono nei processi di trasformazione (per esempio da carbone o gas a elettricità) e distribuzione, ed il consumo degli utilizzatori finali. Il TPES è invece il valore della produzione energetica primaria e delle importazioni, meno le esportazioni e più/meno le variazioni di stock. Entrambi gli indicatori sono utilizzati per descrivere il consumo interno lordo di risorse energetiche primarie. Mentre Steinberger e Roberts (2010) usano il TPES come variabile esplicativa

del loro modello, Arto et al. (2016) si servono del TPED per fare un confronto con un indicatore di impatto energetico.

Arto et al. (2016) e Akizu-Gardoki et al. (2018) sostengono che, per studiare in modo più corretto il legame energia-sviluppo, un indicatore di consumo energetico debba considerare anche l'energia impiegata esternamente a quel paese per produrre i beni e servizi da esso importati. Pertanto propongono l'indicatore di impatto energetico EF (Energy Footprint) o il TPEF (Total Primary Energy Footprint) nel caso delle sole risorse energetiche primarie. Gli indicatori di impatto energetico includono sia il consumo diretto delle famiglie (e.g. il carburante consumato quando si guida un'auto) sia i bisogni energetici globali per produrre beni e servizi richiesti dagli utilizzatori finali (e.g. tutta l'energia usata globalmente per produrre un'auto).

Una soluzione alternativa all'EC, che incorpora nella misurazione energetica aspetti dello sviluppo umano, è rappresentata dall'indicatore Energy intensity of human well-being (EIWB). La definizione dell'EIWB varia da un autore all'altro. Jorgenson et al. (2014) definiscono l'EIWB come il rapporto tra consumo energetico pro capite ed aspettativa di vita di un paese. Anche Sweidan e Alwaked (2016) aderiscono a tale definizione, mentre Dietz et al. (2012) pongono al numeratore l'Ecological Footprint, indicatore più adatto alla sostenibilità dello sviluppo. Tuttavia entrambi i metodi di calcolo dell'EIWB sono coerenti con il suo significato, ovvero descrivere l'intensità dello sfruttamento ambientale per produrre sviluppo e benessere.

Lambert et al. (2014) partono invece da un'altra considerazione: non tutta l'energia prodotta è effettivamente trasformata in sviluppo. Più specificamente, non tutte le fonti energetiche hanno la stessa utilità per il benessere. Essi citano l'esempio dell'idroelettrico che, convertito in elettricità, ha più potenziale nel produrre sviluppo rispetto alla conversione finale in energia termica. Si servono quindi dell'Energy return on investment (EROI), misura dell'energia netta disponibile utile a soddisfare i bisogni di un individuo o società.

2.2 Metodologia degli studi esistenti

In questa sezione si descrivono brevemente alcune teorie sul legame tra utilizzo energetico e sviluppo. Successivamente si approfondiscono gli approcci ed i modelli econometrici impiegati per lo studio del medesimo legame.

2.2.1 Teorie

Il legame tra utilizzo energetico e sviluppo economico è stato ampiamente discusso in letteratura. Payne ha scritto revisioni dettagliate sulle relazioni di energia-crescita (Payne, 2010b) e di elettricità-crescita (Payne, 2010a), mentre Tiba e Omri (2017) hanno presentato una rassegna letteraria sul rapporto tra energia, ambiente e crescita economica. Quest'ultimo filone ha spesso esaminato gli effetti dell'economia sull'ambiente con l'ipotesi della curva ambientale di Kuznets².

²La Curva ambientale di Kuznets (EKC) è una ipotetica relazione tra indicatori di degrado ambientale e reddito pro capite. Nelle prime fasi di sviluppo, le emissioni inquinanti e il degrado ambientale aumentano; successivamente, al raggiungimento di un livello di reddito – punto di svolta – l'andamento

La comunità scientifica ha dato tuttavia anche risalto ad aspetti meno considerati in precedenza, includendo nella nozione di sviluppo il benessere ed il cambiamento istituzionale dei paesi. Gli articoli esaminati in questa sezione affrontano con diversi metodi e campioni di dati le seguenti relazioni: (i) utilizzo energetico e sviluppo, e (ii) utilizzo energetico, sviluppo ed ambiente. Gli articoli affrontano le relazioni con due approcci: i) “situazione contemporanea”, in cui l’analisi è effettuata in uno specifico anno con dati sezionali (Pasternak, 2000; Martínez e Ebenhack, 2008; Steinberger e Roberts, 2010); ii) “futuro potenziale”, in cui, mediante dati panel relativi ad anni passati, si formulano stime su come le politiche di efficienza possano migliorare l’utilizzo energetico futuro (Steinberger e Roberts, 2010; Jess, 2010; Pasten e Santamarina, 2012; Nadimi e Tokimatsu, 2018b).

2.2.2 Approcci e modelli econometrici

Relazione tra utilizzo energetico e sviluppo

Sia Pasternak (2000) che Mazur (2011) adoperano come indicatori di utilizzo energetico il consumo energetico primario pro capite (ECpc) ed il consumo elettrico pro capite (ElCpc). Pasternak (2000) effettua uno studio in 60 paesi ad alta densità demografica analizzando due grafici in cui l’asse delle ordinate rappresenta l’HDI mentre sulle ascisse si trovano rispettivamente ECpc ed ElCpc. Mazur (2011) adotta un approccio analitico basato sull’analisi delle correlazioni, in 21 paesi industrializzati, tra ECpc, ElCpc, ed 11 indicatori di sviluppo. Di questi 11 uno è economico (i.e. PIL), uno sociale (i.e. Life Satisfaction tratto dalla WVS) e 9 istituzionali (e.g. mortalità infantile, medici per abitante e tasso di divorzio). Mazur (2011) riconosce che la correlazione tra due variabili non fornisca evidenza diretta della loro causalità ma si limita ad evidenziare che l’assenza di correlazione spieghi la presumibile assenza di causalità. Martínez e Ebenhack (2008) effettuano un’analisi di correlazione tra ECpc e HDI ampliando il campione di studio a 120 paesi. La grandezza del campione è giustificata dal tentativo di individuare un trend sul legame energia-sviluppo valido per la maggioranza dei paesi. Pîrlogea (2012) si pone obiettivi simili a Martínez e Ebenhack (2008), limitando il campo di osservazione a 6 paesi europei altamente sviluppati, dal 1995 al 2008, ed utilizzando dati panel per tracciare una regressione con il metodo dei minimi quadrati in cui la variabile dipendente è l’HDI. Anche Niu et al. (2013) costruiscono il modello partendo da dati panel, su 50 paesi dal 1990 al 2009. Il loro studio analizza la causalità tra consumo elettrico pro capite e 5 indicatori di sviluppo (i.e. PILpc, spesa nel consumo, tasso di urbanizzazione, aspettativa di vita e livello di scolarizzazione).

Lambert et al. (2014) preferiscono adottare una misura alternativa di utilizzo energetico creata appositamente da loro, il Lambert Energy Index (LEI). La creazione di questo indicatore è giustificata, secondo gli autori, dal fatto che l’EC, così come l’EROI, siano correlati agli indicatori di sviluppo. Tuttavia EC ed EROI non hanno alcuna correlazione tra loro. Così il LEI è calcolato con la media geometrica dell’EROI, dell’energia disponibile pro capite e del coefficiente di Gini (gli autori assumono che la distribuzione del reddito sia

muta, e le emissioni diminuiscono. Elevati livelli di crescita economica portano a un miglioramento nella qualità ambientale. Secondo l’economista Kuznets la relazione assume un andamento parabolico con concavità rivolta verso il basso.

un indicatore proxy della distribuzione energetica di un paese). Il LEI è poi confrontato con indicatori già citati precedentemente, tra cui HDI e accessibilità a fonti d'acqua.

Arto et al. (2016) usano l'Energy Footprint (EF) come indicatore di utilizzo energetico. La difficoltà d'impiego dell'EF risiede nel suo calcolo. Gli autori si servono del Multi-regional input-output (MRIO), un metodo d'analisi degli impatti ambientali ed energetici comunemente usato in letteratura. Per calcolare l'EF dei paesi sono usati dati provenienti da due dataset: il World Input-Output Database (WIOD), che contiene informazioni su 35 settori, 59 prodotti e 40 paesi, dal 1995 al 2008, ed i dati sui bilanci energetici rilasciati dall'Agenzia internazionale dell'energia (in inglese International Energy Agency, IEA).

Nadimi e Tokimatsu (2018a) non impiegano unicamente l'HDI ma costruiscono un indicatore composito di sviluppo basato su sei variabili (i.e. aspettativa di vita, mortalità infantile, anni di frequenza scolastica, accessibilità a fonti d'acqua, PIL e RNL). L'obiettivo degli autori è di verificare, in virtù delle critiche – precedentemente esposte – sull'HDI, se esistano misure più rappresentative dello sviluppo. Nadimi e Tokimatsu (2018a) tracciano poi l'indicatore sulle ordinate di un grafico mentre sulle ascisse riportano prima l'ECpc e poi ElCpc. Tramite il metodo dei minimi quadrati tracciano infine le rispettive regressioni di forma sigmoidea su cui condurre l'analisi dei risultati.

Tramite la funzione sigmoidea, Nadimi e Tokimatsu (2018a) scompongono la categoria dei paesi in via di sviluppo in due sotto-insiemi: (1) paesi sotto sviluppati, ossia paesi che non riescono a soddisfare il fabbisogno essenziale energetico, ed (2) in via di sviluppo. La classificazione e lo studio dei paesi in famiglie è una caratteristica comune anche ad altri autori. Niu et al. (2013) ad esempio compiono uno studio su 50 paesi suddividendoli a seconda del reddito in quattro categorie.

Relazione tra utilizzo energetico, sviluppo ed ambiente

Alcuni autori considerano l'ambiente, o meglio lo stato ambientale di un paese, separatamente dagli indicatori di sviluppo. Le analisi effettuate in questa categoria di ricerche includono sempre un indicatore ambientale.

Jess (2010) conduce studi a coppie di indicatori, considerando costantemente nelle diverse relazioni il consumo energetico come variabile indipendente. Le variabili dipendenti sono invece il tasso di malnutrizione, il PIL, l'HDI, l'impatto ecologico ed un indicatore risultante dalla combinazione lineare di felicità e benessere soggettivi, entrambi ottenuti dalla WVS. L'analisi delle relazioni è tuttavia svolta mediante semplice osservazione dei grafici.

Salahuddin et al. (2015), Sweidan e Alwaked (2016) e Bekhet et al. (2017) conducono ricerche sui paesi del Consiglio di cooperazione del Golfo (in inglese Gulf Cooperation Council, GCC). In tali studi l'indicatore ambientale è rappresentato dalle emissioni di CO₂. Salahuddin et al. (2015) e Bekhet et al. (2017) impostano un modello econometrico in cui la variabile dipendente è il livello di CO₂ pro capite, espresso in funzione di consumo elettrico pro capite, PIL-pro capite e sviluppo finanziario. Gli autori dello studio effettuano diverse operazioni su dati panel tra cui il test di radice unitaria, due regressioni con metodi derivati dai minimi quadrati ed il test di causalità di Granger. Jorgenson et al. (2014) e Sweidan e Alwaked (2016) propongono l'EIWB come variabile indipendente dei loro modelli e lo considerano una misura dello stress ambientale dovuto all'incremento del benessere.

Jorgenson et al. (2014) tuttavia limita la sua ricerca a 12 paesi dell'Europa centro-orientale (CEE).

2.3 Energia e sviluppo: evidenze empiriche

2.3.1 Funzioni e punti di saturazione

Lungo la curva energia-sviluppo è spesso individuato un punto definito in letteratura con “plateau”, “treshold” o “punto di saturazione”. Da tale punto, l'aumento dell'utilizzo energetico non apporta sostanziali cambiamenti allo sviluppo. Pasternak (2000) individua il plateau in corrispondenza di un consumo elettrico pro capite di 4000 kWh ed un HDI pari a 0,9. Sopra a 5000 kWh nessun paese ha un HDI inferiore a 0,9. Martínez e Ebenhack (2008) rivelano invece situazioni diverse a seconda dei paesi considerati. Su 120 nazioni analizzate, in quelle con scarsa dotazione energetica il consumo energetico determina un rapido aumento dell'HDI (da 0,354 a 0,7), in quelli in transizione l'HDI passa da 0,7 a 0,9, mentre quelli con abbondante dotazione energetica non riflettono aumenti significati del benessere con l'incremento di consumo energetico. Steinberger e Roberts (2010) e Pasten e Santamarina (2012) confermano che un leggero aumento dei consumi energetici nei paesi poveri determina notevoli miglioramenti dello sviluppo. Mazur (2011) conclude che nei paesi industrializzati, tra il 1980 e 2006, l'aumento dell'utilizzo energetico non è stato seguito da un analogo aumento di benessere. Arto et al. (2016) dimostrano nel confronto di TPED e TPEF che, a prescindere dagli indicatori di utilizzo energetico impiegati, esiste un punto di saturazione nella relazione energia-sviluppo. Tuttavia riportano che con il TPEF il bisogno energetico associato ad un dato livello di sviluppo risulta più alto rispetto al TPED.

Nelle ricerche appena citate la forma della funzione energia-sviluppo è a forma logaritmica. Nel modello studiato da Nadimi e Tokimatsu (2018a) la funzione energia-sviluppo è a “S”. Di conseguenza i punti attorno a cui l'indicatore di sviluppo cresce/decresce rapidamente sono due: uno in basso a sinistra ed uno in alto a destra. Nel punto di svolta più basso si collocano i paesi estremamente poveri d'energia. Essi richiedono un consumo iniziale considerevole per aumentare il proprio sviluppo. Nella zona intermedia della funzione si collocano i paesi in via di sviluppo. In questi paesi un aumento dell'utilizzo energetico è compensato da un quasi corrispondente incremento di sviluppo. Per i paesi invece molto ricchi la situazione è diversa: l'utilizzo energetico è molto alto ma il corrispettivo incremento di sviluppo è molto basso.

2.3.2 Efficienza e consumi energetici

L'aumento del consumo energetico nei paesi è spiegato in modi diversi. In corrispondenza del 2013, Nadimi e Tokimatsu (2018a) notano che l'ECpc nei paesi in via di sviluppo, ossia quelli che hanno iniziato a costruire infrastrutture e ad automatizzare certi settori industriali, riportano un consumo elettrico pari a 30 volte quello dei paesi sotto-sviluppati. Mazur (2011), osservando dati panel dal 1980 al 2006, afferma che i paesi industrializzati hanno raggiunto un alto livello di sviluppo e che sostanzialmente nessun incremento di energia può migliorarlo.

Nell'analisi delle regressioni gli autori affrontano spesso il concetto di efficienza energetica. Pasten e Santamarina (2012) evidenzia che, a parità di consumo elettrico, paesi come Arabia Saudita e Sud Africa hanno HDI con valori relativamente bassi rispetto ad altri paesi (rispettivamente 0.740 e 0.695). Al contrario, Steinberger e Roberts (2010) citano il caso del Costa Rica che con consumi inferiori ai 50 GJ riesce ad avere un HDI pari a quello di paesi come Cina, India, Giappone, Spagna e USA. Pasten e Santamarina (2012) avanzano ulteriormente nell'analisi proponendo una strategia per migliorare il benessere globale con consumi minimi d'energia. Tra le tante azioni possibili suggeriscono di portare il consumo energetico massimo pro capite a 5kW e quello minimo a 1 kW. In tal modo il consumo energetico nel 2040 sarebbe solo del 14% superiore a quello del 2010 (mentre attualmente si prospetta al 50%). Anche Jess (2010) propone di inserire limitazioni al consumo individuale energetico in paesi già ricchi come gli USA, e di migliorare l'efficienza in paesi come Cina ed India dove la crescita dell'RNL porterebbe a proporzionali aumenti dei consumi energetici. Arto et al. (2016) spiegano invece che l'efficienza energetica dei paesi sviluppati è stata raggiunta in modo diverso. Secondo i risultati della ricerca tali paesi hanno progressivamente migliorato il benessere e al contempo ridotto i consumi a scapito di paesi con economie emergenti, dove invece i consumi sono aumentati.

2.3.3 Disaccoppiamento di energia e sviluppo

Un risultato meno conclusivo è invece quello del “decoupling” (traducibile con il termine “disaccoppiamento”) ossia quando, dopo aver raggiunto un elevato livello di sviluppo, l'aumento del benessere non dipende più dai consumi energetici. Steinberger e Roberts (2010) sostengono che lo sviluppo in molti paesi dipenda sempre meno dalle condizioni materiali. Essi osservano però anche evidenze contraddittorie. Ad esempio che l'istruzione, molto incisiva sullo sviluppo, è relativamente economica in termini energetici. Ciononostante permane forte correlazione tra indicatori di sviluppo e consumi energetici. Arto et al. (2016) evidenziano che il disaccoppiamento è stato raggiunto in maniera permanente o parziale in corrispondenza di diversi livelli di HDI in 89 paesi, di cui però solo 27 hanno mostrato un'indipendenza permanente dall'energia nel periodo 2000-2014. Solo 6 paesi hanno invece dimostrato di aver mantenuto il disaccoppiamento, con un HDI=0.8, nel periodo 2004-2014. Akizu-Gardoki et al. (2018) creano un indicatore (Decoupling Index o, abbreviato, DI) che gli permetta di comprendere meglio il disaccoppiamento nei paesi. Con i valori del DI notano che il disaccoppiamento non è solo un fenomeno che interessa i paesi ad alto reddito, dove l'efficienza energetica è migliore, ma anche i paesi con un basso HDI e bassi consumi energetici.

2.3.4 Energy intensity of human well-being

Gli studi dove si adotta il concetto di Energy intensity of human well-being (EIWB) presentano risultati discordanti e riferiti a gruppi di paesi limitati. Dietz et al. (2012) realizzano uno studio per l'esistenza di una curva ambientale di Kuznets che leghi il PIL pro capite all'EIWB. Il risultato ottenuto è contrario a quello predetto: la regressione è parabolica ma con la concavità rivolta verso l'alto: aumentare il reddito pro capite tende a ridurre l'impatto ambientale dovuto alla produzione di benessere. Superando però \$2558/persona

l'impatto torna a peggiorare. Jorgenson et al. (2014) individuano come risultato principale una relazione negativa e statisticamente significativa tra PILpc ed EIWB nei paesi dell'Europa centro-orientale. Nello stesso articolo però si evidenzia che il livello di democratizzazione influenza negativamente l'EIWB mentre il coefficiente di Gini e il tasso di manifattura influenzano positivamente l'EIWB. Sweidan e Alwaked (2016) rivelano invece che il PILpc abbia avuto un impatto positivo nei paesi dell'area GCC tra il 1995 ed il 2012. Sostengono inoltre che il PIL pro capite sia il solo componente che contribuisce negativamente sull'ambiente nei paesi da loro esaminati.

2.3.5 Emissioni di CO₂

Steinberger e Roberts (2010) notano un disaccoppiamento tra CO₂ e sviluppo. Secondo i loro risultati, se le risorse energetiche sono distribuite equamente, le emissioni di CO₂ sono sufficienti per soddisfare le esigenze globali dell'uomo mantenendo un alto livello di sviluppo. Pîrlogea (2012) individua invece legami contrastanti tra emissioni e sviluppo. Ella ricava dalle regressioni in cui la variabile dipendente è l'HDI mentre tra i regressori si trova una variabile proporzionale alla CO₂. Tale variabile è, per alcuni paesi, preceduta da un coefficiente leggermente negativo. Ciò determina un abbassamento dell'HDI al crescere della CO₂ mentre per altri paesi l'aumento della CO₂ determina l'innalzamento dell'HDI. Salahuddin et al. (2015) individuano nei paesi dell'area GCC una causalità bidirezionale tra crescita economica ed emissioni ma nessun legame tra FD e CO₂. Concludono tuttavia una relazione negativa e statisticamente rilevante tra FD e CO₂. Bekhet et al. (2017), per la stessa area di paesi, notano che il consumo energetico non causa sempre l'aumento delle emissioni.

2.3.6 Critiche

Mazur (2011) afferma che il tasso di mortalità infantile, variabile usata molto in letteratura, non può scendere, date le condizioni di sviluppo raggiunte oggi, sotto una certa soglia nei paesi industrializzati; anzi, l'autore dimostra che dal 1980 and 2006 l'aspettativa di vita non è mai diminuita. Steinberger e Roberts (2010) affermano che l'HDI, il quale incorpora l'aspettativa di vita, è costantemente in crescita nei paesi, a prescindere dai consumi energetici. Nadimi e Tokimatsu (2018a) infatti sostengono che l'HDI non si presta più a spiegare la relazione energia-sviluppo.

Arto et al. (2016) fanno notare che l'ammontare energetico minimo pro capite è in parte determinato da condizioni strutturali come il clima, il territorio, la storia e le differenze culturali. Ad esempio, il bisogno di riscaldamento, ed il conseguente consumo energetico, varia da paesi con temperature miti a quelli più freddi.

Brand-Correa e Steinberger (2017) citano il problema del relativismo dei bisogni umani. Secondo loro i bisogni delle persone differiscono in base a cultura, nazione e contesti. Perciò lo sviluppo ed il benessere richiedono l'uso di indicatori appropriati.

Inquadrare la direzionalità della relazione energia-sviluppo non è facile. Come spiegano Tang et al. (2018) la crescita economica porta al progresso tecnologico; il progresso a sua volta determina un aumento della produttività che porta ad un maggiore consumo energetico. Non è quindi semplice capire se sia lo sviluppo a generare i consumi, l'opposto o entrambi i casi.

N.	Autori e anno	Paesi	Anni	Indicatori	Modelli e Metodologie	Risultati
1	Akizu-Garbobi, Orzi et al. (2018)	126 paesi	2000-2014	HDI TPEF TPES DI EC	Global Multi Regional Input-Output (GMRIO) Equazione di Leontief	Il Disaccoppiamento assoluto è stato raggiunto con differenti consumi energetici e valori dell'HDI in 89 paesi Solo 27 paesi hanno raggiunto un disaccoppiamento assoluto nel periodo 2000-2014. Solo 6 di loro, con un HDI sopra 0,8, hanno raggiunto un disaccoppiamento assoluto durante il periodo 2004-2008, 2008-2012 and 2012-2014.
2	Arco, Inadi et al. (2016)	27 paesi EU e 13 non-EU	1995-2008	HDI PII TPEF TPED	Global Multi Regional Input-Output (GMRIO) Analisi dei grafici Regressione semi-logaritmica	Correlazione positiva energia-sviluppo Punto di saturazione energia-sviluppo Bisogni energetici maggiori usando TPEF e TPED L'avanzamento dei paesi sviluppati a bassi consumi energetici è stato possibile grazie al commercio internazionale di beni e servizi.
3	Beklier, Hussain Ali, Ali Motar e Tahira Yasmin (2017)	Paesi del GCC	1980-2011	PII EC EF CO ₂	Test di Dickey Fuller (ADF), Phillips-Perron (P-P), and Kwiatkowski, Phillips, Schmidt, e Shin (KPSS) Unrestricted error correction model (UECM) Test di causalità di Granger Test CUSUM e CUSUMQ	Esiste una relazione di lungo termine tra CO ₂ , PII reale, consumi energetici e sviluppo finanziario nei paesi del GCC eccetto l'UAE.
4	Devez, Thomas, Eugene A. Rosa e Richard York (2012)	58 paesi	1961-2003	Aspettativa di vita PIIpc EF	Analisi dei grafici Funzione polinomiale	Il modello di Kuznets non è adeguato per spiegare gli andamenti dello sviluppo. La relazione trovata è a forma parabolica con concavità rivolta verso l'alto e non, come predetto, verso il basso.
5	Jess, Andrews (2010)		1995-2007	PIIpc % Malnutrizione HDI Benessere soggettivo	Analisi dei grafici	I paesi ad alto reddito, con domanda energetica di 3-8 toe pro-capite devono ridurre la domanda a 2 toe pro-capite I paesi a basso reddito devono aumentare il consumo energetico a 2 toe pro-capite.
6	Jorganson, Andrew K., Alina Alekseyko e Vincentas Giedraitis (2014)	12 paesi CEE	1992-2010	EIWB ECpc Aspettativa di vita Democratizzazione Coefficiente di Gini Spese sanitarie pubbliche, % PII PIIpc Manifattura, % PII Esportazioni, % PII PIIpc	Analisi dei grafici Modello di regressione di Prais-Winsten con PCSE	L'effetto del PIIpc sull'EIWB è negativo e statisticamente significativo. Tutte le interazioni tra PIIpc e le altre variabili sono positive e statisticamente significative. Il livello di democratizzazione influisce negativamente sull'EIWB nei paesi CEE, mentre la disuguaglianza del reddito e la manifattura aumentano l'EIWB.
7	Lambert, Jessica G. et al. (2014)	12 paesi in via di sviluppo	2012	EROI HDI % Bambini sottopeso Spese sanitarie pubbliche Alfabetizzazione femminile	Analisi della regressione Analisi dei grafici	Più è alto l'EROI maggiori sono i suoi effetti sulla qualità della vita. Se l'EROI continua a scendere nel tempo, il benessere aggiuntivo dovuto alla realizzazione di attività meno essenziali nella società (e.g. istruzione superiore, arti, trattamenti medici tecnologici avanzati etc.) potrebbe diminuire.

Tabella 2.1: Riepilogo degli studi sul legame tra utilizzo energetico e sviluppo

	Disuguaglianza di genere (GII)	Accessibilità a fonti d'acqua Lambert Energy Index (LEI)
8	Lee, Chien-Chiang e Chau-Ping Chang (2005)	18 paesi in via di sviluppo
	1875-2001	
	PII EC Investimenti fissi lordi	Modello multivariato Test di causalità di Granger Fully modified ordinary least squares (FMOLS)
9	Lee, Chien-Chiang e Chau-Ping Chang (2008)	16 paesi asiatici
	1971-2002	
	PII reale EC Forza lavoro Investimenti fissi lordi	Modello multivariato Fully modified ordinary least squares (FMOLS) Test di causalità di Granger
10	Martinez, Daniel M. e Ben W. Eberhach (2008)	120 paesi
	2000-2014	
	ECpc HDI	Analisi dei grafici
<p>Alti consumi energetici generano grande crescita economica, ma non viceversa.</p> <p>I consumi energetici causano l'aumento del PII nel lungo termine, ma non viceversa. Non c'è alcuna relazione causale di breve o lungo termine dal PII all'EC.</p> <p>Esiste una forte relazione tra valori dell'indice e consumo di energia è osservata per la maggior parte del mondo.</p> <p>Il consumo energetico ha un impatto forte sullo sviluppo dei paesi poveri d'energia.</p> <p>Il consumo energetico ha un impatto moderato sullo sviluppo dei paesi con poca dotazione energetica.</p> <p>Il consumo energetico non ha impatto sostanziale sullo sviluppo dei paesi che dispongono e utilizzano molta energia.</p> <p>I paesi più poveri del mondo possono migliorare notevolmente la loro situazione con bassi aumenti del consumo energetico.</p>		
11	Mour, Allan (2011)	21 paesi industrializzati
	1980-2006	
	Aspettativa di vita Mortalità infantile % Medici % Letti ospedalieri % Suicidi maschili % Divorzi % Universitari % Case con TV % Possessori di telefoni % Passeggeri di auto % Utilizzatori di Internet PIIpc % Soddisfatti della vita ECpc ECpc	Analisi di dati longitudinali Analisi delle correlazioni e dei grafi
<p>Quasi tutte le nazioni che consumano sopra 40MWh a persona hanno un'aspettativa di vita di circa 80 anni.</p> <p>Il PIIpc e l'uso di Internet aumentano entrambi con l'aumento dei consumi elettrici ed energetici pro-capite.</p> <p>Tra le nazioni industriali, gli aumenti del consumo pro-capite di energia ed elettricità negli ultimi tre decenni non sono associati a corrispondenti miglioramenti della qualità della vita.</p>		
12	Nadimi, Reza e Koji Tokimatsu (2018)	112 paesi
	2005-2013	
	HDI Mortalità infantile Aspettativa di vita Anni medi di scolarità PII RNL WA TPES EIC	Metodo dei minimi quadranti Analisi fattoriale
<p>Nel periodo studiato, in media, l'ECpc e l'EICpc nei paesi sviluppati erano rispettivamente 11 e 36 volte rispetto ai paesi in via di sviluppo.</p> <p>L'aumento del consumo energetico nei paesi in via di sviluppo è stato leggermente aumentato dalla QoL fino a un punto dopo il quale è stata rilevato un'influenza significativa.</p>		

Tabella 2.1: Riepilogo degli studi sul legame tra utilizzo energetico e sviluppo (continuazione)

13	Nadimi, Reza e Koji Tokimatsu (2018)	112 paesi	2005-2013	Mortalità infantile PIIpc RNIpc ECpc	Analisi fattoriale Analisi numerica Metodo dei minimi quadrati Clustering di tipo K-Means	La riduzione delle emissioni di biossido di carbonio e la conservazione delle fonti energetiche naturali sono fattori di priorità più alta per incoraggiare i paesi sviluppati a ridurre il consumo di energia. Nel caso dei paesi in via di sviluppo, oltre ai due fattori precedenti, la povertà e la qualità della vita sono le prossime priorità. Per i paesi in via di sviluppo, la prima priorità è la riduzione della povertà, quindi la salute e il miglioramento della qualità della vita. Esiste una causalità bidirezionale di lungo periodo tra il consumo di elettricità e gli altri cinque indicatori. Più alto è il reddito di un paese, maggiore è il suo consumo di elettricità e maggiore è il suo livello di sviluppo. L'aumento del reddito aumenta l'impatto del consumo elettrico sul PIL e la spesa per i consumi. Nei paesi ad alto reddito il tasso di urbanizzazione, l'aspettativa di vita e il tasso di alfabetizzazione degli adulti presentano un andamento indebolito. Per aumentare lo sviluppo, l'elettricità dovrebbe essere integrata nei servizi pubblici di base per migliorare la disponibilità di energia elettrica per i residenti a basso reddito.
14	Niu, Shuwen et al. (2013)	15 paesi sviluppati e 35 in via di sviluppo	1990-2009	PIIpc Spesa pro-capite per consumi Urbanizzazione Aspettativa di vita Alfabetizzazione degli adulti ECpc	Testi LLC, ADF e PP Cointegrazione panel Test di causalità di Granger Modello con dati panel	
15	Pastern, Cesar e Juan Carlos Santamarina (2012)	118 paesi	1980, 2005 e 2010	WA Aspettativa di vita Mortalità infantile Anni medi di scolarità ECpc QoL Crescita demografica	Analisi dei grafici Regressione lineare	Il consumo energetico di 1 kW pro-capite può garantire l'accesso all'acqua potabile e all'elettricità, un'elevata aspettativa di vita e una bassa mortalità infantile. Il consumo superiore a 5 kW pro-capite non è necessario per raggiungere i valori più alti degli indicatori della qualità della vita. È possibile ottenere significativi miglioramenti nella qualità della vita con un impatto limitato sulla domanda di energia in tutte le nazioni, in particolare nei paesi in via di sviluppo. Le società benestanti nei paesi sviluppati possono facilmente ridurre l'energia rispetto al consumo. I tassi di consumo energetico superiori a 5 kW pro-capite non portano a una migliore qualità della vita. La correlazione dell'HDI con l'elettricità è in qualche modo migliore rispetto all'energia primaria totale e mostra una soglia più acuta. L'HDI raggiunge un valore massimo quando il consumo di elettricità è di circa 4.000 kWh pro-capite all'anno. Oltre 4.000 kWh non si osserva un aumento significativo dell'HDI.
16	Pasternak, Alan D (2000)	60 paesi	1997-2020	HDI EC EC	Analisi dei grafici	
17	Prilega, Corina (2012)	6 paesi EU	1995-2008	RECpc Consumo energetico da combustibili fossili HDI Energy Intensity CO ₂	Metodo dei minimi quadrati	I risultati evidenziano legami contrastanti tra emissioni e sviluppo. L'impatto della CO ₂ sull'HDI è infatti in alcuni paesi negativo mentre in altri positivo.

Tabella 2.1: Riepilogo degli studi sul legame tra utilizzo energetico e sviluppo (continuazione)

18	Salahuddin, Mohamamad, Jeff Gow e Ilhan Ozturk (2015)	6 paesi del GCC	1980-2012	CO ₂ EIC PII _{pc} FD	Dynamic ordinary least squares (DOLS) Fully modified ordinary least squares (FMOLS) Dynamic fixed effect model (DFE)	Il consumo elettrico e la crescita economica hanno una relazione positiva nel lungo termine con le emissioni di CO ₂ , mentre è stata trovata una relazione negativa e significativa tra le emissioni di CO ₂ e lo sviluppo finanziario. Queste evidenze portano a pensare che il consumo di elettricità e la crescita economica stimolano le emissioni di CO ₂ nei paesi del GCC, mentre lo sviluppo finanziario lo riduce.
19	Steinberger, Julia K. e J. Timmons Roberts (2010)	156 paesi	1975-2005	Aspettativa di vita PII _{pc} HDI EC _{pc} CO ₂	Analisi di dati longitudinali Regressione lineare	I risultati del test di causalità di Granger rivelano che esiste un nesso causale bidirezionale tra crescita economica ed emissioni di CO ₂ e un nesso causale unidirezionale che va dal consumo di elettricità alle emissioni di CO ₂ . Tuttavia, non esiste un nesso causale tra lo sviluppo finanziario e le emissioni di CO ₂ . Per le nazioni più povere, i grafi benefici tendono ad emergere con incrementi relativamente lievi del consumo energetico e delle emissioni di CO ₂ . L'HDI aumenta costantemente nel tempo, anche se i livelli di emissione di energia e di carbonio sono mantenuti costanti.
20	Sweidan, Osama D. e Ahmed A. Alwaked (2016)	Paesi del GCC	1995-2012	EIWB EC _{pc} Aspettativa di vita PII _{pc} Democratizzazione Spese sanitarie pubbliche, % PII Esportazioni, % PII	Modello di regressione di Prais-Winsten con PCSE	Lo sviluppo economico nei paesi del GCC è stata l'unica componente che ha contribuito negativamente allo stress ambientale. Lo sviluppo economico ha avuto un impatto positivo sull'EIWB nel periodo 1995-2012.
21	Tang, Erzi, Chong Peng e Yilan Xu (2018)	China	1980-2013	EC Produttività	Analisi teorica Analisi dei grafici	L'analisi teorica indica che il cambiamento dei consumi energetici, assieme allo sviluppo economico, è spesso spiegato dalla crescita della produttività dovuta al progresso tecnologico o alla migliore efficienza dell'economia. L'aumento dei consumi energetici aumenta in primo luogo con la crescita della produttività. Tuttavia aumenta anche perché l'energia è un bene finale il cui consumo dipende in larga parte dal reddito.
22	Wang, Zhaohua et al. (2018)	Pakistan	1990-2014	REC CO ₂ HDI PII Scambi, % PII Urbanizzazione	Metodo dei minimi quadrati a due stadi (2SLS) Test di causalità di Granger	La crescita economica ha un significativo effetto negativo sull'HDI. La crescita economica riduce il processo di sviluppo in Pakistan. Le emissioni di CO ₂ sono utili per migliorare l'HDI. Un consumo superiore di energia rinnovabile non ha alcun ruolo nel migliorare il processo di sviluppo in Pakistan. Il commercio ostacola il processo di sviluppo in Pakistan. Esiste una causalità bidirezionale tra l'emissione di CO ₂ e l'HDI.

Tabella 2.1: Riepilogo degli studi sul legame tra utilizzo energetico e sviluppo (continuazione)

Capitolo 3

Metodologia

3.1 Dati

3.1.1 La raccolta utilizzata

La raccolta non bilanciata di dati panel utilizzata nella presente trattazione include 169 paesi, con popolazione superiore a 2 milioni di abitanti, e copre un arco temporale di 30 anni, dal 1990 al 2019. Ogni osservazione nella raccolta include i valori, relativi ad un determinato anno, degli indicatori scelti per l'analisi.

Essendo le osservazioni datate a partire dal 1990, è opportuno specificare che alcuni paesi hanno modificato i propri confini dividendosi o unendosi in una o più entità. La WB tratta tali casi speciali con l'approccio del successore: per ogni paese designa un successore che lo rappresenti dopo la divisione/unione. Ad esempio, il successore della Cecoslovacchia è la Repubblica Ceca mentre quello dell'Unione Sovietica la Russia. Dal momento che la maggior parte dei dati proviene dalla WB, si è ritenuto necessario adottare l'approccio del successore nella presente trattazione.

3.1.2 Descrizione dei dati

Pattern

Il pattern dei dati della raccolta è il seguente: 90% dei paesi osservati riporta valori per ognuno dei 30 anni; meno dell'1% ha solo un anno di osservazioni mancanti; il 4,67% riporta valori per un arco temporale di 19 anni; il 2,68% riporta valori per un arco temporale dai 3 ai 5 anni; il 2% riporta osservazioni per un solo anno.

Analisi degli andamenti nazionali e globali

Una prima analisi della varianza dei dati evidenzia che alcuni indicatori hanno andamenti crescenti nel tempo, come riportato nella tabella 3.1.

Tra loro s'individua ad esempio l'indice di istruzione (in inglese Mean Years of Schooling, MYS), ossia il medio numero di anni scolastici frequentati dalle persone che hanno almeno 25 anni d'età in un paese. Con una media globale di 7,76 anni di istruzione, si osserva che una persona ha mediamente aumentato, nell'arco di 6 anni, la propria istruzione di un anno.

L'aspettativa di vita (in inglese Life Expectancy at Birth, LEB) è un altro noto indicatore in crescita. La media globale è 67,69 anni di vita. Tuttavia in 28 anni di osservazione, l'aspettativa di vita è aumentata mediamente di 3 anni in tutti i paesi. Nella figura 3.1 sono riportati gli andamenti medi globali di MYS e LEB nel tempo. Alla pari del LEB, il reddito pro capite è aumentato mediamente del 25% in 131 paesi anche se alcuni hanno registrato fino all'81% di caduta del proprio reddito pro capite (figura 3.2).

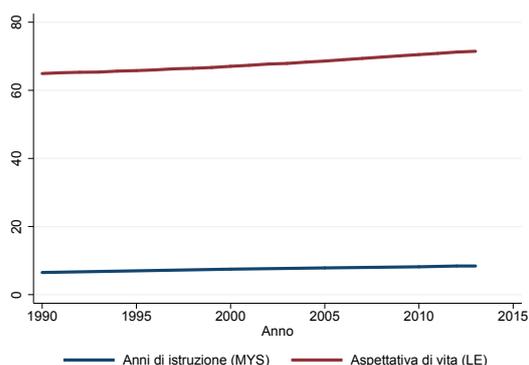


Figura 3.1: Andamento di LEB e MYS

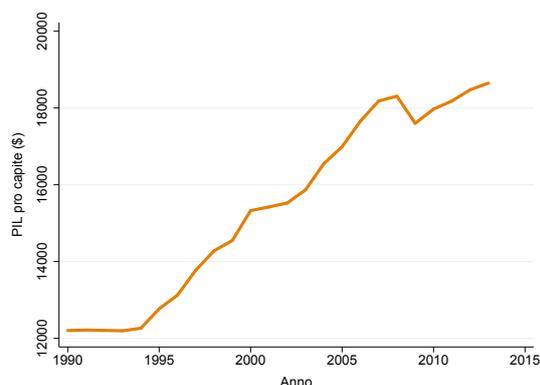


Figura 3.2: Andamento del PIL pro capite

Altri indicatori mostrano fenomeni diversi se considerati su scala globale o nazionale. Ad esempio l'indicatore di accessibilità a fonti d'acqua non contaminate (i.e. la percentuale di persone che hanno accesso a tali fonti) evidenzia una crescita media, in 134 paesi, del 19,11%. Se però si analizza l'aumento dell'accessibilità per singolo paese, si nota che la variazione media in 25 anni è pari al 5,31%. Analogamente avviene per l'indice di disoccupazione che, in 135 paesi osservati, è aumentato mediamente al 4,83%. Nel singolo paese invece, l'aumento medio della disoccupazione si attesta al 2,33%. Nell'arco di 28 anni di osservazione, la disoccupazione è variata mediamente dal -3.12% al 23%. Gli scostamenti più grandi si osservano paragonando gli utilizzi energetici medi nei singoli paesi con quelli globali. La variazione media del consumo elettrico pro capite nell'arco di 25 anni spazia infatti da -1089,9 fino a 7033,4 kWh, contro un aumento medio globale del consumo pari a 3857,6 kWh. Come evidenziato tuttavia dalla figura 3.3, i paesi che hanno raggiunto consumi molto alti rappresentano delle eccezioni. Tra essi, Norvegia, Canada, Svezia, Finlandia, paesi i cui alti consumi sono spiegati dalla necessità di riscaldamento e trasporto. Tra gli altri outlier si individuano anche gli Stati Uniti e l'Australia, con consumi attorno ai 10kWh/persona.

Un ristretto numero di metriche rivela invece che determinati fenomeni relativi al singolo paese si sono verificati similmente su scala globale. Ne è esempio la democratizzazione, misurata con il già citato indice (DS) della raccolta Polity IV. In ognuno dei 139 paesi analizzati il passaggio a forme di governo più democratiche ha raggiunto risultati simili determinando una trasformazione globale uniforme nell'arco di 27 anni.

Correlazioni

Per verificare la crescita/decrecita congiunta, o l'assenza di legame, tra indicatori energetici e di sviluppo, si è svolta un'analisi su 1590 correlazioni di coppie di indicatori. Il

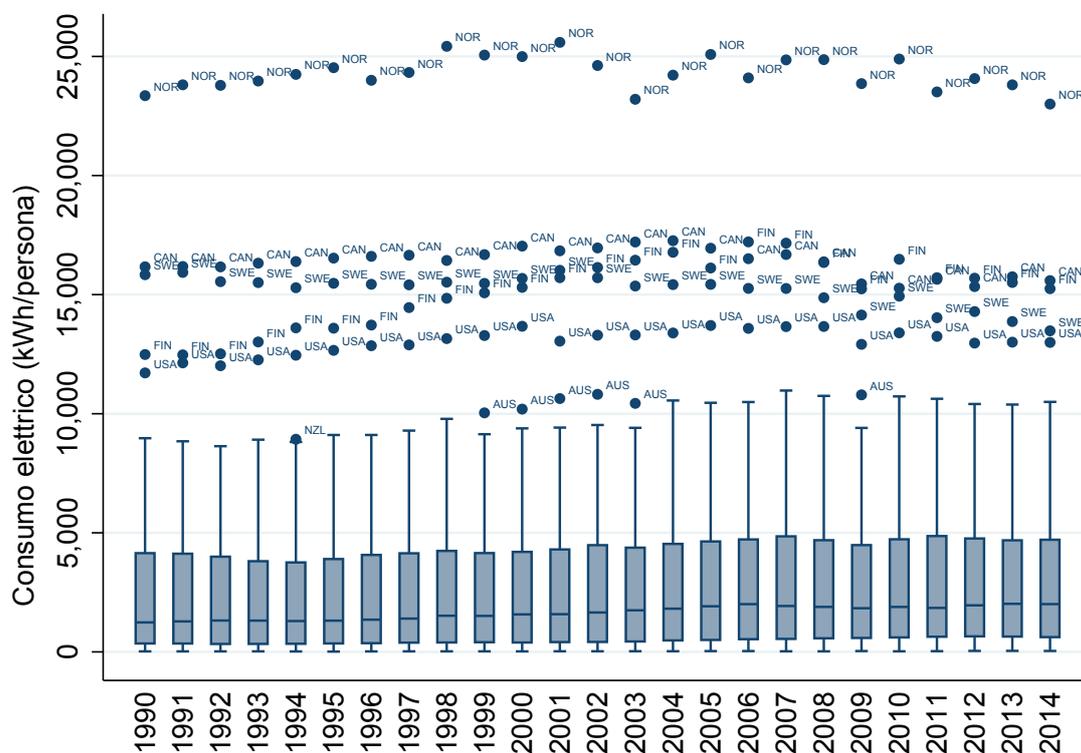


Figura 3.3: Diagramma a scatola e baffi dei consumi elettrici pro capite nel mondo, dal 1990 al 2014

77,6% delle coppie rappresenta legami statisticamente significativi. Le restanti correlazioni sono in gran parte concettualmente poco rilevanti (e.g. la relazione tra consumo finale e democrazia).

Tra gli indicatori istituzionali/sociali il coefficiente di Gini sembra ad esempio avere poche relazioni statisticamente significative con altri indici. Non è significativo il suo rapporto con l'indice di democrazia della raccolta Polity IV né con l'HDI. Anche gli indici di povertà, come quello di povertà umana (in inglese Human Poverty Index, HPI) e la sua versione più recente, l'indice multidimensionale di povertà (in inglese Multidimensional Poverty Index, MPI), sono poco correlati con altri indicatori sociali/istituzionali. L'unico legame significativo con il MPI sembrerebbe esistere con l'indicatore di accessibilità all'energia elettrica, misurato come percentuale della popolazione con accesso all'elettricità (AE). Considerando inoltre separatamente l'AE per i contesti urbani e rurali, sembra che esso abbia una correlazione con il MPI più accentuata nelle periferie. La tabella 3.2 riporta alcune correlazioni statisticamente significative tra accessibilità elettrica ed indicatori sociali.

Le emissioni di CO₂ non risultano correlate con gli indici di soddisfazione e felicità

¹In inglese Adult Literacy Rate, ALR.

Indicatore	Analisi	Media	Dev. Std.	Minimo	Massimo	N/n/T
MYS (anni)	complessiva	7,767083	2,945261	,5	13,3	720
	temporale		2,914105	1,1	12,9	128
	nazionale		,8266384	4,517083	10,75042	5,625
LEB (anni)	complessiva	67,69491	10,23531	27,61	84,68049	3772
	temporale		9,744435	42,84343	81,59834	135
	nazionale		3,219002	44,5228	84,40881	27,94074
PIL pro capite (\$/persona)	complessiva	13566,41	14528,43	354,2845	85535,38	3584
	temporale		14077,82	713,3543	58926,27	131
	nazionale		3457,504	-11015,19	40237,26	27,35878
Accessibilità acqua (%)	complessiva	81,16987	19,69043	13,2	100	3369
	temporale		19,11723	25,79474	100	134
	nazionale		5,313263	56,46603	109,1506	25,14179
Disoccupazione (%)	complessiva	7,604935	5,355042	,273	33,473	3780
	temporale		4,837587	,8153929	27,91368	135
	nazionale		2,332686	-3,124136	22,9754	28
EIC pro capite (kWh/persona)	complessiva	3046,628	3891,021	0	25590,69	2912
	temporale		3857,578	34,10481	24286,49	118
	nazionale		550,7087	-1089,855	7033,444	24,67797
DS (valore tra -10 e +10)	complessiva	1,247173	18,56661	-88	10	3714
	temporale		15,02918	-88	10	139
	nazionale		13,68396	-90,46711	62,53289	26,71942

Tabella 3.1: Andamenti nazionali e globali di alcuni indicatori usati nell'analisi

Indicatore	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
(1) AE urbana	1,000						
(2) AE rurale	0,807*	1,000					
(3) LEB	0,775*	0,842*	1,000				
(4) MYS	0,622*	0,725*	0,741*	1,000			
(5) Alfabetizzazione ¹	0,684*	0,749*	0,733*	0,745*	1,000		
(6) Mortalità infantile	-0,766*	-0,804*	-0,931*	-0,773*	-0,798*	1,000	
(7) MPI	-0,804*	-0,855*	-0,811*	-0,845*	-0,925*	0,823*	1,000

* significatività al 0,05

Tabella 3.2: Correlazioni a coppie tra indici di accessibilità elettrica ed alcuni indicatori

della raccolta WVS. Tuttavia, sono correlate in modo forte (i.e. 0,93) e statisticamente significativo con PIL/RNL.

Le variabili di utilizzo energetico hanno relazioni significative con la maggior parte degli indicatori sociali ed istituzionali. Tra queste, particolarmente intense sono le correlazioni

positive tra:

- Consumo energetico/elettrico totale e PIL/RNL, con valori da 0,96 a 0,98;
- Consumo energetico/elettrico totale e CO₂, con valori rispettivamente di 0,986 e 0,962. La figura 3.4 mostra la correlazione tra consumi e CO₂;

I legami invece statisticamente poco significativi si notano tra:

- Consumo energetico/elettrico pro capite e totale, ed HPI/MPI (figura 3.5);
- Consumo energetico/elettrico totale e Coefficiente di Gini;
- Consumo energetico totale e tasso di alfabetizzazione (ALR);
- Consumo energetico totale e debito pubblico;
- Consumo energetico/elettrico totale e indice di corruzione percepita (in inglese Corruption Percetion Index, CPI);
- L'indice di felicità della raccolta WVS e l'accessibilità all'energia elettrica.

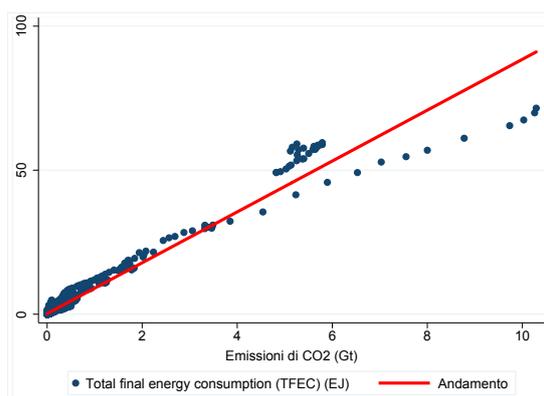


Figura 3.4: Consumi energetici e CO₂

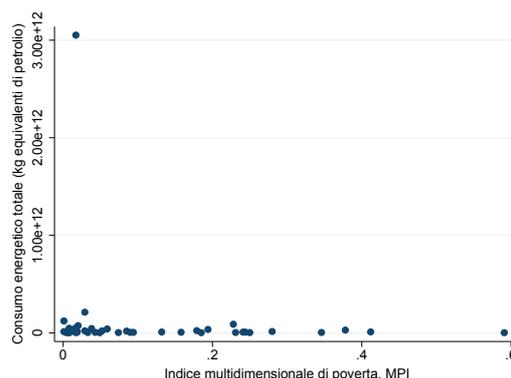


Figura 3.5: Consumi energetici e MPI

Le relazioni tra indicatori di sviluppo e di utilizzo energetico mediante analisi dei grafici

Nelle figure 3.6 e 3.7 sono rappresentati i grafici a dispersione tra PIL e, rispettivamente, consumi energetici ed elettrici. Osservando i due grafici non sembra generalmente esistere una relazione lineare. Inoltre si nota che alcuni insiemi di punti (i.e. paesi) hanno andamenti diversi, indipendentemente dal livello di reddito. Yemen (fig. 3.8) e USA (fig. 3.9) sono rispettivamente paesi a basso ed alto reddito, ma presentano un tipo di crescita esponenziale che induce a presumere la presenza di un plateau.

Viceversa, la relazione tra Tanzania (fig. 3.10) e Kenya (fig. 3.11), paesi rispettivamente a reddito basso e medio-basso, presentano crescite esponenziali.

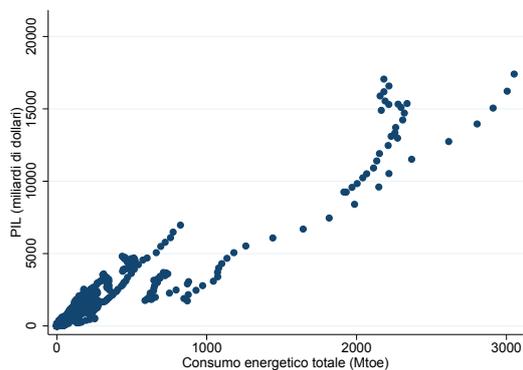


Figura 3.6: PIL e consumi energetici totali

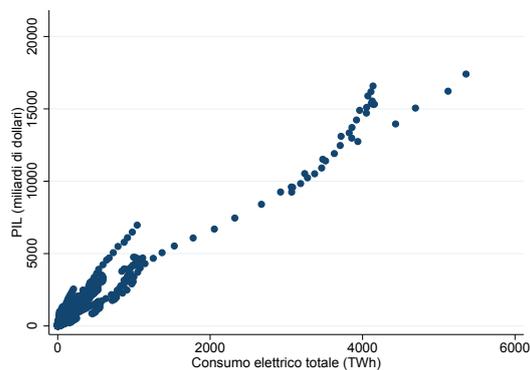


Figura 3.7: PIL e consumi elettrici totali

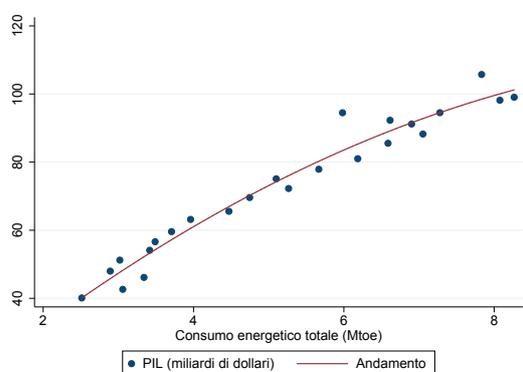


Figura 3.8: PIL e consumi energetici totali (Yemen)

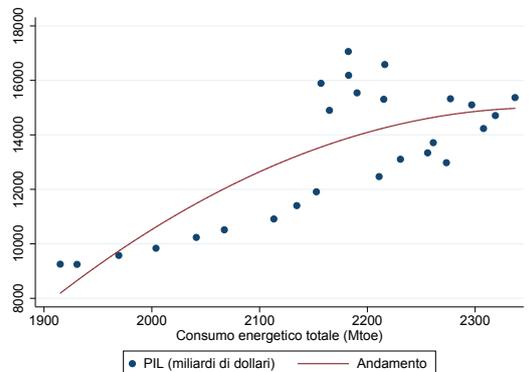


Figura 3.9: PIL e consumi energetici totali (USA)

I consumi elettrici ed energetici non sembrano relazionarsi allo stesso modo con il PIL. Si consideri sempre l'esempio di Yemen e USA. Nel primo (fig. 3.12) si conferma in modo più evidente la presenza di un plateau, nel secondo (fig. 3.13) l'andamento assume una crescita esponenziale sempre maggiore.

Nelle figure 3.14 e 3.15 sono rappresentati invece i grafici a dispersione tra aspettativa di vita e, rispettivamente, consumi energetici ed elettrici nel mondo. Si nota che neanche tali grafici descrivono in maniera chiara una relazione lineare.

L'aspettativa di vita non risulta avere legami lineari con i consumi energetici ed elettrici. Se si considera ad esempio il caso del Giappone, oltre a notare l'assenza di linearità, è riscontrabile un rapporto diverso tra aspettativa di vita e consumi energetici (fig. 3.16), ed elettrici (fig. 3.17).

La figura 3.18 riporta invece i grafici a dispersione che mettono in relazione l'indice di istruzione (MYS) e i consumi elettrici pro capite in quattro gruppi di paesi suddivisi in base al reddito². Non si notano evidenti relazioni lineari, soprattutto nei paesi ad alto

²La notazione è quella adoperata dalla Banca Mondiale, che classifica i paesi in gruppi di reddito

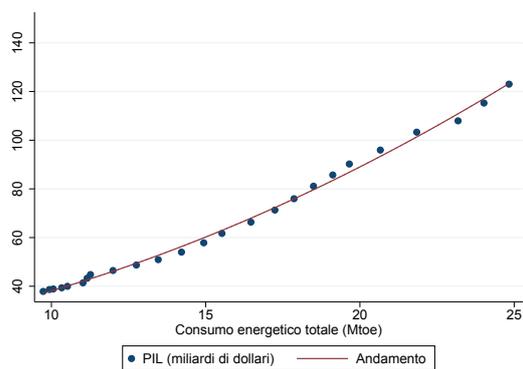


Figura 3.10: PIL e consumi energetici totali (Tanzania)

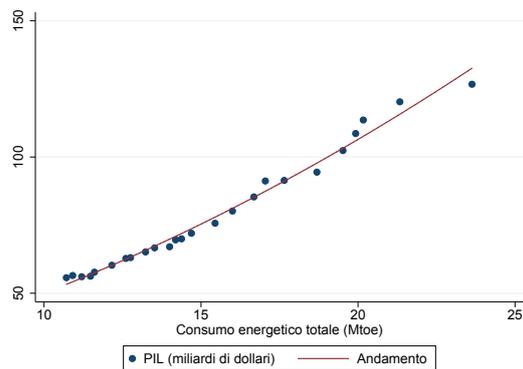


Figura 3.11: PIL e consumi energetici totali (Kenya)

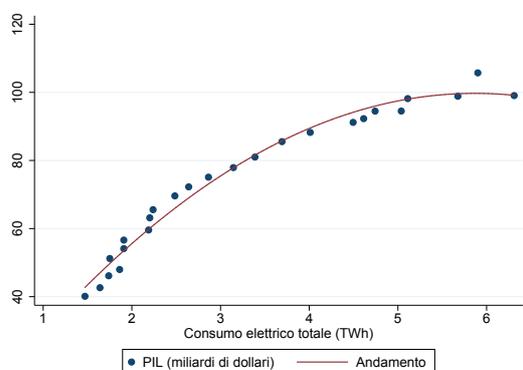


Figura 3.12: PIL e consumi elettrici totali (Yemen)

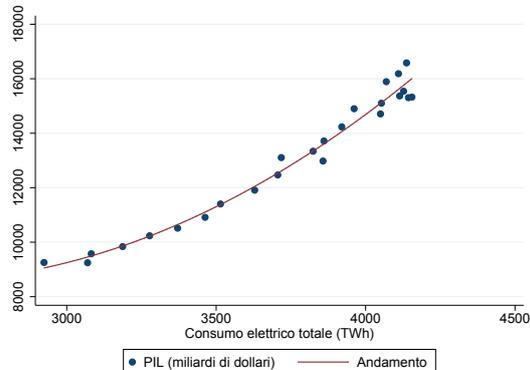


Figura 3.13: PIL e consumi elettrici totali (USA)

reddito. Tuttavia, un primo risultato deducibile dal grafico dimostra che mediamente i consumi crescono con la fascia di reddito dei paesi.

Analizzando più nel dettaglio la situazione dei paesi a basso reddito (fig. 3.19), escludendo Tagikistan, Siria, e Zimbabwe, sembra che non esista una relazione tra consumi elettrici pro capite ed anni di istruzione. Analogamente per gli stati ad alto reddito dove, escludendo alcune eccezioni, non si nota un legame particolarmente chiaro tra consumi energetici ed istruzione. L'assenza di relazioni non vale invece per i paesi a reddito medio-basso (fig. 3.20) e medio-alto (fig. 3.21), dove sembra esserci una relazione non lineare.

basso (BR), medio-basso (MB), medio-alto (MA), ed alto (AR).

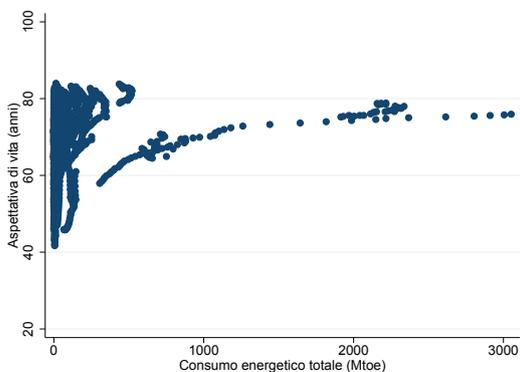


Figura 3.14: Aspettativa di vita e consumi energetici totali

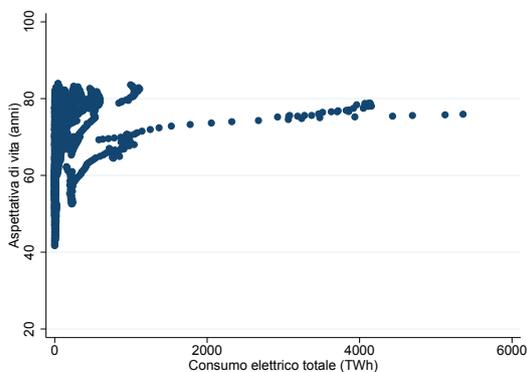


Figura 3.15: Aspettativa di vita e consumi elettrici totali

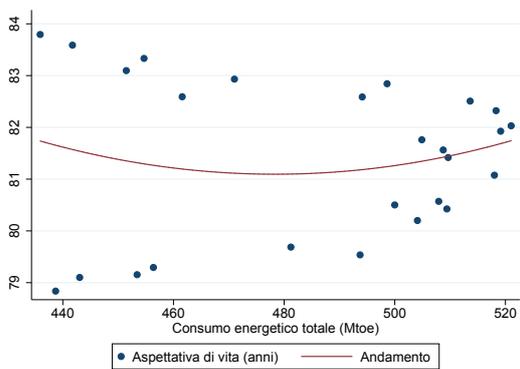


Figura 3.16: Aspettativa di vita e consumi energetici totali (Giappone)

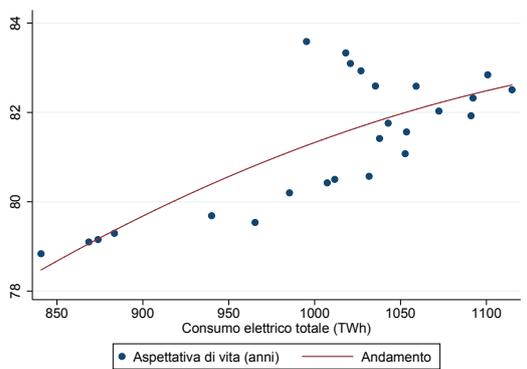


Figura 3.17: Aspettativa di vita e consumi elettrici totali (Giappone)

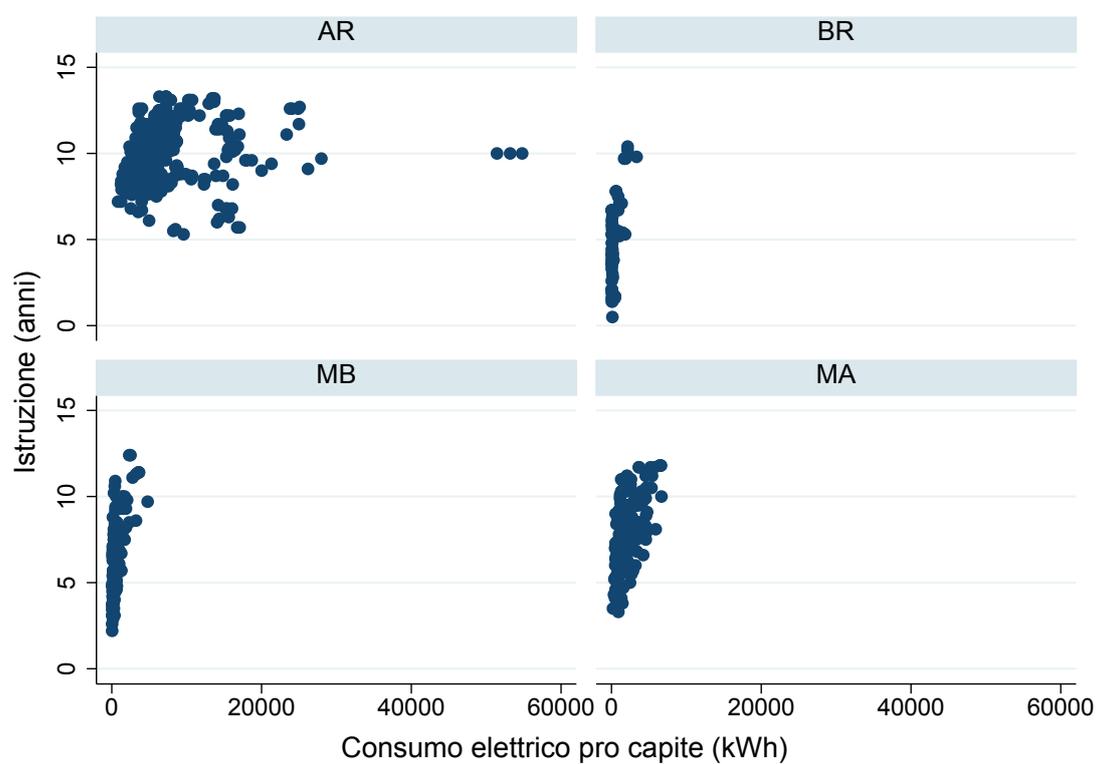


Figura 3.18: Confronto delle relazioni tra istruzione (MYS) e consumo elettrico pro-capite in quattro gruppi di paesi suddivisi per reddito

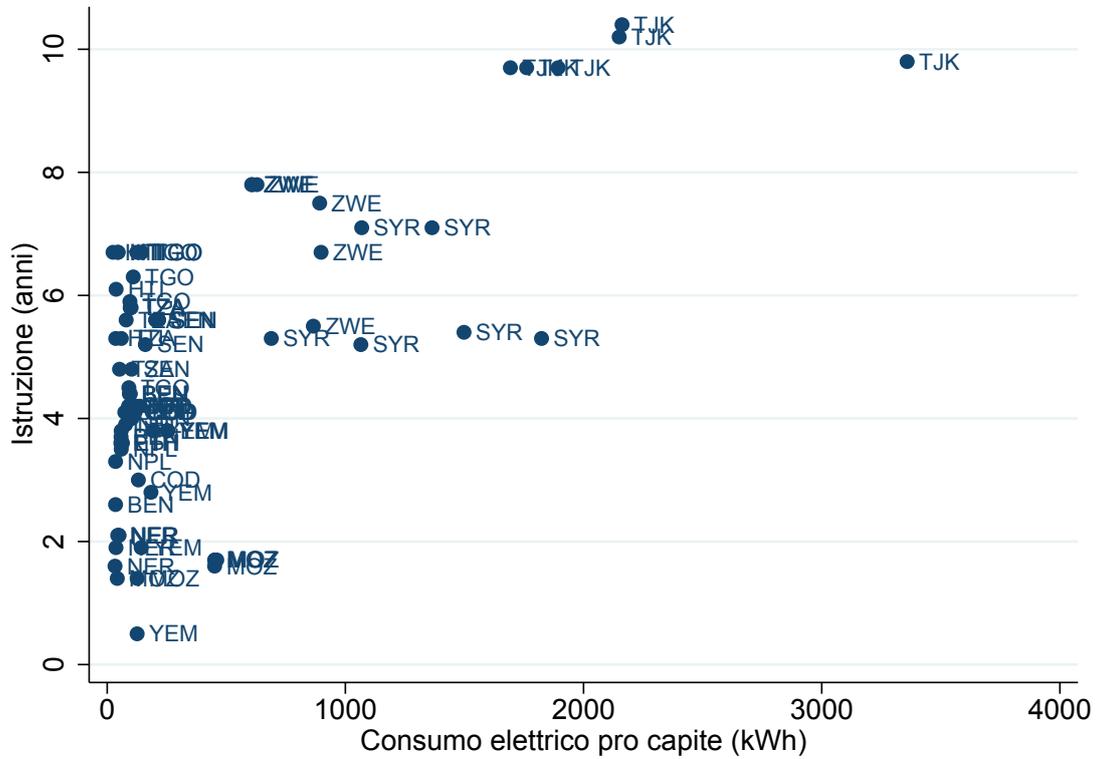


Figura 3.19: Istruzione e consumo elettrico pro-capite nei paesi a basso reddito

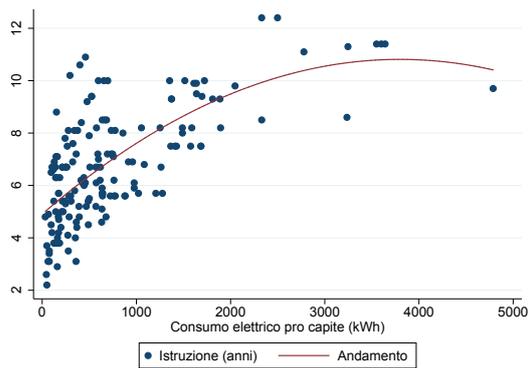


Figura 3.20: Aspettativa di vita e consumi elettrici pro capite nei paesi MB

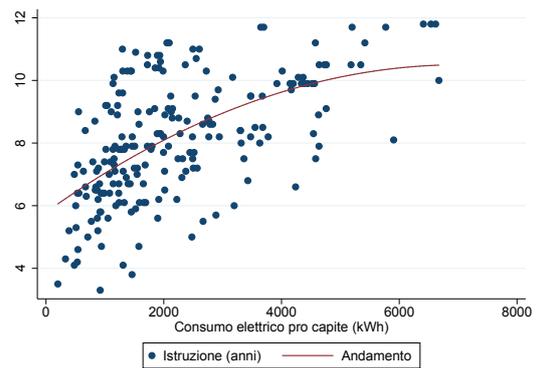


Figura 3.21: Aspettativa di vita e consumi elettrici pro capite nei paesi MA

Alcune verifiche con l'analisi della regressione

Per trovare conferma nei risultati mostrati dai grafici a dispersione, in questa sezione si realizzeranno alcune verifiche mediante l'analisi di regressione. La tecnica di stima utilizzata è la stessa adoperata in seguito, ossia la regressione con effetti fissi. Di questa tecnica si offre una descrizione nella sezione 3.2.2.

La tabella 3.3 mostra il modello stimato per il PIL (variabile dipendente) in 167 paesi con un campione complessivo di 3346 osservazioni. Ogni colonna rappresenta una regressione separata. Le voci delle prime tre righe sono i coefficienti di regressione stimati, con i rispettivi errori standard riportati in parentesi. Le cinque righe finali contengono statistiche sintetiche della regressione. Le tre tipologie di R^2 indicano rispettivamente la bontà di approssimazione della regressione a livello complessivo, di panel (i.e. paesi diversi nello stesso anno), e di paese (i.e. stesso paese ma in anni differenti). Gli asterischi vicino ai coefficienti indicano il livello di significatività per l'ipotesi che il coefficiente sia nullo.

La prima regressione, riportata nella colonna (1) della tabella, ha solo il consumo energetico totale come regressore. La colonna (2) riporta il consumo energetico quadratico come secondo regressore. L'introduzione di tale termine è stata effettuata per garantire maggiore flessibilità alla funzione di regressione. È infatti interessante catturare nella stima più forme, come ad esempio le eventuali flessioni marginali decrescenti della funzione stimata. La colonna (3) riporta infine la specificazione lineare-logaritmica della relazione tra PIL e consumi.

	(1)	(2)	(3)
	PIL	PIL	PIL
Consumo energetico totale	6,6688*** (,4263)	7,2566*** (1,6009)	
Consumo energetico totale ²		-,0002 (,0004)	
log(Consumo energetico totale)			515,7373** (248,3117)
Intercetta	8,8911 (32,5977)	-24,2231 (94,7292)	-813,2572 (641,5084)
Osservazioni	3446	3446	3443
Paesi	167	167	167
R^2 complessivo	,9253	,9261	,3033
R^2 panel	,9391	,9411	,2450
R^2 paese	,8281	,8286	,0648

Gli errori standard sono riportati in parentesi sotto i coefficienti

* $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$

Tabella 3.3: PIL e consumi energetici

La pendenza della regressione (1) è positiva (6,67) e l'ipotesi che il coefficiente sia nullo può essere rifiutata ad un livello di significatività dell'1%. La colonna (2) rivela che il consumo energetico quadratico ha coefficiente negativo, ossia che maggiori consumi portano il PIL a calare. La decrescita è tuttavia molto bassa. Il coefficiente quadratico dei consumi è inoltre statisticamente non significativo. Anche i termini R^2 paese in (1) e (2) differiscono poco. Nella specificazione logaritmica il coefficiente del regressore è invece

statisticamente significativo al 5%. I valori di R^2 nella (3) sono inferiori ai corrispettivi in (1) e (2), soprattutto confrontandoli a livello di paese. In tutti e tre i casi le intercette non sono statisticamente significative.

	(1) LE	(2) LE	(3) LE
Consumo energetico totale	,0057** (,0027)	,0409*** (,0099)	
Consumo energetico totale ²		-,0000*** (,0000)	
log(Consumo energetico totale)			5,5120*** (,5242)
Intercetta	69,2930*** (,1998)	67,3732*** (,5558)	55,4813*** (1,3545)
Osservazioni	3583	3583	3580
Paesi	169	169	169
R^2 complessivo	,0186	,0288	,0816
R^2 panel	,0205	,0319	,0948
R^2 paese	,0242	,0901	,3238

Gli errori standard sono riportati in parentesi sotto i coefficienti

* $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$

Tabella 3.4: Aspettativa di vita e consumi energetici

La tabella 3.4 è analoga alla precedente con l'unica differenza che la variabile dipendente è l'aspettativa di vita. Tutti i coefficienti in tabella sono statisticamente significativi al 5%. In questo caso però sembra che la specificazione quadratica sia migliore di quella lineare. Si notano inoltre due differenze rispetto alle regressioni di stima del PIL. La prima è che le intercette sono statisticamente significative. La seconda è che i valori di R^2 nella (3) sono molto più grandi, soprattutto a livello di paese, dei corrispettivi nella (1) e (2).

Si consideri infine la tabella 3.5. Essa riassume le regressioni che predicano il valore degli anni medi di istruzione (MYS) al variare dei consumi energetici. Anche in questo caso la specificazione quadratica rivela approssimazioni migliori rispetto a quella lineare. Le intercette sono tutte statisticamente significative all'1% ed i valori di R^2 rivelano una migliore bontà di approssimazione nella (3).

3.2 Metodo

Per valutare la relazione tra sviluppo ed utilizzo energetico è stata impiegata l'analisi di regressione su dati panel. I modelli stimati includono un numero aggiuntivo di variabili per controllare per determinati aspetti dello sviluppo discussi nel capitolo precedente. In questa sezione saranno elencate le variabili scelte per i modelli. Successivamente si descriverà la tecnica utilizzata per le stime ed infine i modelli stessi.

	(1) MYS	(2) MYS	(3) MYS
Consumo energetico totale	,0018** (,0007)	,0126*** (,0039)	
Consumo energetico totale ²		-,0000*** (,0000)	
log(Consumo energetico totale)			1,6781*** (,1660)
Intercetta	8,1217*** (,0605)	7,4551*** (,2446)	3,5936*** (,4628)
Osservazioni	768	768	768
Paesi	142	142	142
R ² complessivo	,0266	,0425	,0759
R ² panel	,0244	,0382	,0779
R ² paese	,0273	,0983	,2985

Gli errori standard sono riportati in parentesi sotto i coefficienti

* $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$

Tabella 3.5: Istruzione e consumi energetici

3.2.1 Variabili

La collezione dati inizialmente conteneva 378 indicatori, scelti in base agli articoli scientifici che trattano di sviluppo o energia. Alcuni degli indicatori provenivano da raccolte note, come quella dei Millenium Development Goals che ne contiene 132. In una prima fase di selezione il numero di metriche da analizzare è stato portato a 80, tenendo solo quelle presenti negli articoli in cui si trattano congiuntamente energia e sviluppo. In un secondo momento il numero è stato ulteriormente ridotto, scegliendo solo gli indicatori più ricorrenti in letteratura (alcuni dei quali citati nel capitolo precedente). Pertanto, si elencano in seguito gli indicatori scelti, al termine della selezione, per essere variabili dei modelli³.

Variabili dipendenti

Le variabili scelte descrivono le stesse tre dimensioni sintetizzate dall'indice di sviluppo umano (HDI). Diversamente dagli articoli citati nel capitolo precedente, in questa trattazione si è preferito considerare singolarmente le dimensioni che compongono l'HDI. Le stime dei modelli permettono in questo modo di cogliere con più precisione il legame tra energia ed indicatori di sviluppo.

- **Prodotto interno lordo.** Discusso già nella revisione della letteratura, l'indicatore sarà adottato nella forma aggregata.
- **Aspettativa di vita.** Denominata in inglese Life Expectancy at Birth (LEB), l'aspettativa di vita alla nascita indica il numero di anni che un neonato mediamente

³Se non specificato, la fonte dei dati è la Banca Mondiale (World Bank, 2016)

vivrebbe se gli schemi prevalenti di mortalità al momento della sua nascita rimanessero gli stessi per tutta la sua vita. Il LEB è ritenuto un importante indicatore dello stato di salute medio di un paese.

- **Istruzione.** Tra i diversi indicatori di istruzione disponibili, quello scelto per questa trattazione è il MYS, già citato nel presente capitolo.

Variabili indipendenti

- **Consumo energetico.** È l'indicatore più adoperato dalle ricerche citate nel capitolo precedente. I dati su questo indicatore provengono dall'Agenzia internazionale dell'energia (in inglese International Energy Agency, IEA) (IEA, 2018).

Variabili di controllo

- **Democratizzazione.** È una misura di quanto una nazione sia democratica ed è rilasciata nella raccolta Polity IV (Gurr et al., 2016). La valutazione sul livello di democrazia di un paese si basa sulla sua competitività ed apertura nei processi elettorali, sulla natura della partecipazione politica in generale e sul controllo che il suo organo esecutivo esercita. Per ogni anno e paese viene determinato un punteggio che va da -10 a +10, con -10 per le autocrazie e 10 per le democrazie. Jorgenson et al. (2014) fanno notare che esistono diverse ricerche sul legame tra assetto istituzionale e qualità della vita, nonché sulla salute pubblica. Così come Sweidan e Alwaked (2016), essi considerano la democrazia uno degli aspetti più legati all'aspettativa di vita nonché ai consumi energetici.
- **Esportazioni.** Le esportazioni rappresentano il valore di tutti i beni e servizi forniti al resto del mondo, espressi in percentuale del PIL. Maggiori esportazioni comportano più consumi energetici, rafforzano l'economia, incrementano i salari, ed aumentano l'aspettativa di vita, portando così ad un miglioramento del benessere collettivo (Jorgenson et al., 2014; Sweidan e Alwaked, 2016).
- **Spesa sanitaria.** Abbreviata con SS, misura il livello attuale delle spese sanitarie espresso in percentuale del PIL. Le stime delle attuali spese sanitarie comprendono beni e servizi sanitari di cui usufruisce un paese ogni anno. Questo indicatore non include le spese in capitali quali edifici, macchinari, strumenti IT e scorte di vaccini per emergenze o focolai. Intuitivamente, una maggiore spesa sanitaria pubblica dovrebbe comportare un miglioramento nella qualità della vita. Le evidenze in letteratura sono però discordanti. Kennelly et al. (2003) individuano una relazione positiva tra spese sanitarie pubbliche e aspettativa di vita nei paesi ad alto reddito. Al contrario, Jorgenson et al. (2014) non riscontrano un legame statisticamente significativo tra spese pubbliche ed aspettativa di vita. Shandra et al. (2004) trovano che la spesa sanitaria pubblica non abbia effetto significativo sulla mortalità infantile.
- **Manifattura.** È la percentuale di PIL legata al valore aggiunto prodotto delle industrie del settore secondario. La manifattura è considerata spesso avere un legame positivo con i consumi energetici, soprattutto nei paesi in via di sviluppo (Clark et

al., 2010). Inoltre, si sostiene comunemente che maggiore industrializzazione porti a maggiori consumi energetici.

- **Disuguaglianza di genere.** L'indice di disuguaglianza di genere (in inglese Gender Inequality Index, GII) è una misura della disparità di genere introdotta nel Programma di sviluppo delle Nazioni Unite (UNDP, 2014). Secondo l'UNDP, questo indice è una misura composita per quantificare la perdita di risultati in un paese a causa della disparità di genere. Utilizza tre dimensioni per misurare il costo opportunità: salute riproduttiva, empowerment e partecipazione al mercato del lavoro. La componente di salute riproduttiva è a sua volta composta dal tasso di mortalità materna (MM) e la prevalenza di gravidanze avute da adolescenti. Il GII è misurato su una scala da 0 a 1, con 0 per una situazione di totale uguaglianza tra uomini e donne ed 1 per la completa disparità.
- **Soddisfazione della vita.** Anch'essa citata precedentemente (con l'abbreviazione LS), misura il livello di soddisfazione della vita nei paesi mediante interviste annuali a campioni casuali di persone. La domanda posta agli intervistati nella WVS (Association, 2015) è: "Tutto considerato, quanto sei soddisfatto/a della tua vita nel suo insieme in questi giorni?". Il punteggio attribuibile alla risposta spazia da 1 ("insoddisfatto/a") a 10 ("soddisfatto/a"). Nella raccolta le interviste sono state realizzate in 6 "ondate", ossia sei intervalli temporali in cui non tutti i paesi sono stati sondati. Pertanto in questa trattazione, pur conoscendo il difetto di stima dovuto a molti dati mancanti, si è inclusa la media dei punteggi alle risposte, laddove disponibili, di un determinato paese ed anno.

3.2.2 Modelli

Tecnica di stima dei modelli

La regressione con effetti fissi è un metodo per controllare per le variabili omesse nei dati panel quando queste variano tra le entità (i.e. paesi) ma non nel tempo. La regressione con effetti fissi può essere usata quando ci sono due o più osservazioni, senza valori mancanti, sulla stessa entità. Il modello di regressione con effetti fissi è:

$$Y_{it} = \alpha + \beta_1 X_{1,it} + \dots + \beta_k X_{k,it} + \beta s_i + \nu_i + \epsilon_{it} \quad (3.1)$$

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. ν_i è il termine d'errore specifico per un'entità. α è l'intercetta comune a tutte le regressioni ottenibili dal modello. I termini $\alpha_i = \beta s_i + \nu_i$ sono noti come effetti fissi ed assumono valori specifici da un'entità all'altra. Essi sono da aggiungere all'intercetta α comune a tutte le entità. β_1, \dots, β_k sono invece gli stessi per ogni entità. La stima di coefficienti ed intercette nei modelli è stata realizzata mediante il software Stata®. Si assumerà inoltre, secondo l'approccio suggerito da Stock e Watson (2005) nell'econometria, che "non ci sia alcuna ragione a priori di pensare che gli errori siano omoschedastici". Pertanto, si utilizzeranno errori standard robusti all'eteroschedasticità con il comando `xtreg, robust fe`.

Modelli da stimare

Essendo tre le variabili dipendenti, si studierà un pari numero di modelli di regressione. Essi sono espressi come:

$$\begin{aligned}
 PIL_{it} = & \alpha + \beta_1 \log Consumo\ Energetico_{it} + \beta_2 Democrazia_{it} + \beta_3 Esportazioni_{it} \\
 & + \beta_4 Spesa\ sanitaria_{it} + \beta_5 Disuguaglianza\ di\ genere_{it} \\
 & + \beta_6 Soddisfazione\ della\ vita_{it} + \alpha_i + \epsilon_{it}
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

$$\begin{aligned}
 Aspettativa\ di\ vita_{it} = & \alpha + \beta_1 \log Consumo\ Energetico_{it} + \beta_2 Democrazia_{it} + \beta_3 Esportazioni_{it} \\
 & + \beta_4 Spesa\ sanitaria_{it} + \beta_5 Disuguaglianza\ di\ genere_{it} \\
 & + \beta_6 Soddisfazione\ della\ vita_{it} + \alpha_i + \epsilon_{it}
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

$$\begin{aligned}
 Istruzione_{it} = & \alpha + \beta_1 \log Consumo\ Energetico_{it} + \beta_2 Democrazia_{it} + \beta_3 Esportazioni_{it} \\
 & + \beta_4 Spesa\ sanitaria_{it} + \beta_5 Disuguaglianza\ di\ genere_{it} \\
 & + \beta_6 Soddisfazione\ della\ vita_{it} + \alpha_i + \epsilon_{it}
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Le variabili dipendenti, indipendenti e di controllo dei modelli sono state già introdotte nella sezione 3.2.1. L'unica variabile diversa da quelle descritte è il consumo energetico totale, espresso nel modello con forma logaritmica. La scelta di usare tale forma è dovuta a due ragioni:

- (i) La prima è che la distribuzione dei consumi energetici potrebbe presentare valori anomali in grado di influenzare la stima della regressione. La forma logaritmica attenua tale problema. Inoltre, un vantaggio importante per la stima è dato dalla possibilità di catturare eventuali andamenti marginalmente decrescenti del consumo energetico.
- (ii) La seconda deriva dalla consapevolezza che non tutti i paesi abbiano lo stesso livello di sviluppo. Pensare pertanto che uguali incrementi di consumo energetico possano portare ai medesimi miglioramenti, in due paesi molto diversi, è abbastanza improbabile. Il miglior modo per confrontare gli effetti dei consumi energetici in diversi paesi è realizzabile con misure percentuali e non assolute.

I modelli saranno studiati inizialmente solo con le variabili indipendenti. Successivamente s'includeranno quelle di controllo. Essendo il panel dati di partenza non bilanciato, i risultati, ottenuti con l'aggiunta delle variabili per controllare per le caratteristiche dei paesi, forniranno evidenze per un numero ristretto di paesi e con stime meno precise. Con la consapevolezza che, tra le variabili di controllo considerate, l'indice di soddisfazione della vita è quello che riporta meno dati (talvolta con solo due osservazioni per paese), si presenteranno anche regressioni dove si esclude tale indicatore. Infine si farà il confronto delle regressioni stimate per quattro categorie di paesi, differenziate in base al reddito. La notazione adottata è la stessa anticipata precedentemente: reddito basso (BR), medio-basso (MB), medio-alto (MA), ed alto (AR).

Capitolo 4

Risultati

4.1 PIL e consumi energetici

La tabella 4.1 riporta i risultati stimati per il modello 3.2. La prima regressione, riportata nella colonna (1) della tabella, ha solo il consumo energetico, espresso in forma logaritmica, come regressore. La sua pendenza è positiva e l'ipotesi che il coefficiente sia nullo può essere rifiutata ad un livello di significatività del 5%. La colonna (2) riporta i risultati ottenuti includendo le variabili aggiuntive che controllano per le caratteristiche istituzionali, economiche e sociali dei paesi. Aggiungendo le variabili di controllo al modello, il coefficiente stimato per il consumo energetico cambia su due aspetti:

- (i) aumenta del 53%, passando da 515,73 nella prima regressione a 790,09 nella seconda;
- (ii) l'ipotesi che sia nullo è rifiutata ad un livello di significatività dell'1%, mentre prima poteva esserlo per un livello del 5%.

Un modo per valutare la dimensione del coefficiente stimato per il consumo energetico è immaginare che un paese, incrementando i consumi energetici dell'1%, possa aumentare, in riferimento alla regressione (2), il proprio PIL di 7,9 miliardi di dollari. La stima non sarebbe probabilmente così elevata se il campione di paesi da cui è ricavata tale regressione fosse più numeroso.

Un altro cambiamento passando da (1) a (2) caratterizza l'intercetta che acquisisce significatività al livello 1%. Le variabili che controllano per le caratteristiche del paese invece si alternano tra l'essere significative all'1%, come nel caso della spesa sanitaria e la soddisfazione della vita, ed il non essere significative, come la democrazia, le esportazioni, la manifattura, e la disuguaglianza di genere. L'esclusione del controllo per la soddisfazione della vita nella regressione (3) comporta alcuni cambiamenti rispetto alla (2). Il coefficiente stimato per il consumo energetico si riduce a 342,82 e passa ad essere statisticamente non significativo. Il coefficiente della spesa sanitaria rimane significativo solo al livello 5% mentre quello della disuguaglianza di genere, che non è significativo nella (2), presenta nella (3) un significatività del 5%. I restanti coefficienti rimangono non significativi anche nella (3).

Il confronto degli R^2 nelle regressioni (2) e (3) fornisce alcune indicazioni sul modello tra PIL e consumi energetici. Nella (2) l' R^2 complessivo indica che la bontà di adattamento ai

dati è molto inferiore rispetto alla (3), la quale tuttavia include un numero quasi 13 volte più grande di osservazioni. In termini generali, entrambi gli R^2 complessivi sono bassi. I confronti tra i rispettivi R^2 panel seguono analoghe considerazioni. A livello di paese, il valore degli R^2 suggerisce che il miglior adattamento sia effettuato nella regressione (2), dove il valore arriva a raggiungere 0,86 contro il 0,07 della (3).

u_i è lo stimatore del termine α_i definito nell'equazione 3.2. I valori σ_u riportati nella penultima riga della tabella rappresentano le stime di σ_α e descrivono quale sia la variabilità degli effetti fissi dei paesi. ρ invece indica quanto, in termini percentuali, la variabilità del PIL è spiegata dalle differenze di reddito tra i paesi. I valori di ρ nelle colonne (2) e (3) sono molto alti.

Alcuni risultati interessanti sono osservabili dal confronto tra la colonna (2) e la (3) che differiscono in modo sostanziale nella numerosità delle osservazioni e dei paesi:

1. L'aumento del livello di democrazia di un paese sembra avere effetti negativi sul PIL, mentre tendere verso un'autocrazia ne favorirebbe la crescita. Tuttavia, la stima è imprecisa. Con un errore standard del coefficiente pari a 105,12, l'intervallo di confidenza al 95% per l'aumento di un punto (si ricorda che la scala dell'indice spazia da -10 a +10) è di $-154,91 \times 1 \pm 1,96 \times 105,12 \times 1 = (-365,95, 51,49)$. Un simile intervallo include molti valori prossimi allo zero. Nella colonna (3) l'effetto della democrazia è notevolmente più basso.
2. Le esportazioni sembrano in entrambi i casi avere effetti negativi. La manifattura nella regressione (2) dimostra di avere effetti positivi sul PIL mentre sono negativi nella regressione (3). L'affidabilità delle stime, sia per esportazioni che per manifattura, presenta le stesse criticità affrontate per il livello di democrazia.
3. La disuguaglianza di genere ha un effetto considerevole nella colonna (3). L'indice di disuguaglianza include infatti anche il rafforzamento delle competenze e la partecipazione al mercato del lavoro, due aspetti che determinano un miglioramento della situazione economica di un paese.

La tabella 4.2 mostra invece il confronto delle regressioni stimate per le quattro categorie di paesi differenziate in base al reddito. Le regressioni sono inoltre stimate includendo o meno le variabili di controllo.

I coefficienti stimati per i consumi sono tutti positivi ma l'ipotesi che essi siano nulli non può essere rifiutata in nessuna delle regressioni in cui sono incluse le variabili di controllo. Quando invece si esclude il controllo per le caratteristiche del paese si nota che il coefficiente stimato per i consumi energetici è significativo all'1% nei paesi dei gruppi BR e AR, ed al 10% nei paesi MB. Nei paesi MA non si riscontra alcun legame significativo tra consumi energetici totali e PIL. In tutte le regressioni senza variabili di controllo le intercette non sono statisticamente significative e assumono valori negativi. Una stima di intercetta significativa all'1% è riscontrabile nella regressione (1) con controlli: tale risultato rivela che senza alcun consumo energetico, il PIL è di circa 78 miliardi di dollari. La stima tuttavia si basa su un numero inferiore di osservazioni rispetto a tutte le altre regressioni presentate nella tabella.

Il miglior valore di R^2 complessivo e a livello di paese è presente nella regressione (1) con controlli. Tali valori rivelano tuttavia una bontà di adattamento compresa tra 0,51 e

	(1) PIL	(2) PIL	(3) PIL
log(Consumo energetico totale)	515,7373** (248,3117)	790,0881*** (273,6763)	343,8213 (219,3950)
Democrazia		-154,9081 (105,1247)	-,6414 (,5274)
Esportazioni		-1,8254 (7,7898)	-2,2755 (2,1452)
Spesa sanitaria		105,7054*** (24,1242)	28,8639** (14,2374)
Manifattura		4,1125 (17,5362)	-6,2340 (4,8799)
Disuguaglianza di genere		136,4534 (979,2156)	-731,5859** (280,3099)
Soddisfazione della vita		280,8373*** (72,9261)	
Intercetta	-813,2572 (641,5084)	$-3,77 \times 10^3$ *** (1181,5554)	-29,1028 (665,5595)
Osservazioni	3443	64	804
Paesi	167	52	126
R ² complessivo	,3033	,0882	,3964
R ² panel	,2450	,0781	,3682
R ² paese	,0648	,8609	,0688
ρ	,8756	,9994	,9634
σ_u	1299,6615	3680,0568	1691,6990
σ_ϵ	489,9248	86,9742	329,6669

Gli errori standard sono riportati in parentesi sotto i coefficienti

* $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$

Tabella 4.1: PIL e consumi energetici totali

0,56. Complessivamente tutti gli altri paesi dimostrano valori di R^2 molto bassi. La scarsa approssimazione è dovuta alle forti differenze tra i paesi, come rivelano i valori di σ_u . Tra paesi del gruppo MB ad esempio la varianza del PIL è con/senza controlli rispettivamente pari a 918 e 911 miliardi di dollari. I valori di ρ in tutte le regressioni sono molto alti, a conferma che la variabilità del PIL è spiegata molto dalle differenze del reddito tra paesi.

	(1) BR		(2) MB		(3) MA		(4) AR	
	No	Sì	No	Sì	No	Sì	No	Sì
log(Consumo energetico totale)	32,2261*** (9,8526)	15,1515 (10,7030)	403,3615* (212,6806)	250,0859 (170,2189)	941,0379 (674,9050)	746,2460 (647,6585)	284,6350*** (87,7367)	142,6029 (104,0786)
Intercetta	-16,8481 (13,9374)	78,1754*** (20,1487)	-618,2395 (474,6452)	676,3710 (518,5111)	-1,82 × 10 ³ (1670,1025)	-583,1481 (2102,7914)	-101,0912 (283,0294)	-462,6708 (521,5793)
Variabili di controllo								
Osservazioni	351	65	819	178	1014	228	1259	333
Paesi	18	13	41	29	52	39	56	45
R ² complessivo	,3962	,6302	,3132	,4499	,3114	,3909	,3778	,3767
R ² panel	,4997	,5633	,2572	,3547	,3201	,3616	,3118	,3731
R ² paese	,4030	,5060	,1224	,1260	,1071	,0940	,0247	,2170
ρ	,9534	,9379	,9101	,9491	,8866	,9112	,9494	,9967
σ_u	48,0113	24,0631	918,3721	911,7492	2071,2397	1820,6344	1637,2871	2223,1641
σ_ϵ	10,6109	6,1924	211,2218	288,7106	568,5309	740,6928	127,3322	378,1497

Gli errori standard sono riportati in parentesi sotto i coefficienti

* $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$

Tabella 4.2: Confronto fra gruppi di paesi per la relazione tra PIL e consumi energetici totali

4.2 Aspettativa di vita e consumi energetici

La tabella 4.3 riporta i risultati stimati per il modello 3.3. Le tre regressioni riportate su colonne distinte sono state costruite con la stessa procedura con cui si è analizzata la stima del PIL. Mentre nella regressione (1) il coefficiente stimato per il consumo energetico porta effetti positivi sull'aspettativa di vita, sembra che l'introduzione di variabili di controllo per effetti aggiuntivi nella (2) portano i maggiori consumi energetici ad influire negativamente. La regressione (3) presenta invece un coefficiente stimato simile alla (1), con significatività in entrambi i casi al livello 1%.

L'intercetta in tutte e tre le regressioni è significativa all'1%. L'inclusione di altre variabili di controllo aumenta il valore dell'intercetta stimata da 55,5 anni nella regressione (1) a circa 76 anni nella (2). Le intercette hanno in tutte le regressioni valori positivi, rivelando che l'aspettativa di vita, senza alcun consumo, è stimata almeno di 55,5 anni. Nella regressione (3) sono rilevanti alcune differenze rispetto alla (2). In primo luogo, l'ipotesi di rifiuto che alcuni coefficienti siano nulli può essere portata ad un livello dell'1%. Si tratta ad esempio dei casi della democrazia e la disuguaglianza di genere. Continuano ad avere effetti negativi sul LEB sia la manifattura, espressa come percentuale del PIL, sia la disuguaglianza di genere.

La disuguaglianza di genere sembra ridurre notevolmente l'aspettativa di vita. La ragione più plausibile di questo effetto è dovuta alla presenza della componente di salute riproduttiva all'interno del GII. Se la mortalità materna è bassa, la possibilità di riservare cure adeguate ai nati/neonati è alta, con conseguenze aumento dell'aspettativa di vita (UNDP, 2010). Analogo discorso vale se si riducono le morti che colpiscono le donne incinte con età compresa tra i 15 e i 18 anni. Anche in tal caso aumenta l'aspettativa di vita (Rowbottom, 2007).

Dal confronto degli R^2 nelle regressioni, si nota che:

- (i) complessivamente, la bontà di adattamento è maggiore nelle regressioni (3) rispetto alla (1) e (2). L' R^2 complessivo della (3) è comunque basso;
- (ii) a livello di panel, il maggior valore è offerto dalla regressione (3), anche se tale valore risulta basso.
- (iii) il miglior adattamento avviene a livello di paese nella regressione (2), dove il valore di R^2 è pari a circa 0,88. Minor adattamento è dimostrato nella (3) ed ancora inferiore nella (1).

Anche in questo caso la numerosità di paesi ed osservazioni è adeguata nelle regressioni (1) e (3) ma meno nella (2). I valori di ρ , in tutte e tre le regressioni, sono vicini tra loro e molto alti, a conferma che la variabilità dell'aspettativa di vita è spiegata molto dalle differenze di condizioni tra paesi. Il valore minimo individuato di σ_u spiega una varianza negli effetti fissi dei vari paesi di circa 8 anni di vita.

La tabella 4.4 mostra il confronto delle regressioni stimate per quattro categorie di paesi, differenziate in base al reddito.

I coefficienti stimati per i consumi sono tutti positivi. Sono inoltre tutti statisticamente significativi ad eccezione della regressione (4) con controlli. Le intercette invece sono tutte

	(1) LEB	(2) LEB	(3) LEB
log(Consumo energetico totale)	5,5120*** (,5242)	-3,4168 (2,3378)	5,0093*** (,8717)
Democrazia		,7117 (,9510)	,0119*** (,0038)
Esportazioni		,1344*** (,0377)	,0506*** (,0128)
Spesa sanitaria		,5374 (,3872)	,0697 (,1558)
Manifattura		-,2584** (,1199)	-,1432*** (,0536)
Disuguaglianza di genere		-4,4569 (4,1188)	-12,1720*** (4,4231)
Soddisfazione della vita		,9911 (,8330)	
Intercetta	55,4813*** (1,3545)	76,0386*** (9,4998)	60,8815*** (3,9904)
Osservazioni	3580	64	812
Paesi	169	52	128
R ² complessivo	,0816	,0422	,3134
R ² panel	,0948	,0495	,3323
R ² paese	,3238	,8769	,5341
ρ	,9770	,9977	,9775
σ_u	13,4028	15,5712	8,2208
σ_ϵ	2,0571	,7499	1,2461

Gli errori standard sono riportati in parentesi sotto i coefficienti

* $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$

Tabella 4.3: Aspettativa di vita (LEB) e consumi energetici totali

statisticamente significative all'1%, mostrando valori più bassi nelle regressioni senza controlli, compresi tra 45,5 e 64 anni di vita, e più alti nelle regressioni con controlli, compresi tra i 66 e 70 anni di aspettativa di vita. I consumi energetici sembrano anche nel confronto tra paesi incrementare relativamente poco l'aspettativa di vita. Si consideri ad esempio il coefficiente stimato per i consumi energetici della regressione (1) con controlli. Se i consumi di un paese a basso reddito aumentassero dell'1%, l'aspettativa di vita crescerebbe di 23 giorni. Un pari incremento in un paese ad a reddito medio alto comporterebbe un aumento di circa 16 giorni.

Complessivamente e a livello panel, la regressione (4) con controlli presenta la migliore bontà di adattamento. I valori di R² a livello di paese appartiene invece alla regressione (3) con controlli. La stessa regressione presenta una bassa varianza degli effetti fissi se paragonata ad altre regressioni con controlli. La varianza più alta negli effetti fissi è riscontrabile nella regressione (2) senza controlli del gruppo MB, con un valore di circa 20 anni di aspettativa di vita. I valori di ρ in tutte le regressioni sono molto alti.

	(1) BR		(2) MB		(3) MA		(4) AR	
	No	Sì	No	Sì	No	Sì	No	Sì
log(Consumo energetico totale)	8,1117*** (1,8119)	6,4805*** (1,7279)	7,4233*** (1,2847)	6,5024*** (1,4546)	4,4477*** (,6826)	4,2790*** (1,4060)	3,9690*** (,6338)	,1519 (,9663)
Intercetta	45,5227*** (2,8880)	67,4703*** (6,1818)	47,1697*** (2,8231)	67,4827*** (7,4499)	58,9436 (1,7181)	66,0566*** (6,3218)	64,1647*** (2,0191)	69,7864*** (4,8173)
Variabili di controllo	No	Sì	No	Sì	No	Sì	No	Sì
Osservazioni	401	66	830	178	1041	235	1308	333
Paesi	20	14	42	29	51	40	56	45
R ² complessivo	,0174	,1123	,0054	,0589	,0056	,0323	,0919	,2720
R ² panel	,0215	,1144	,0089	,1570	,0025	,0461	,2181	,2562
R ² paese	,3830	,8612	,4508	,6777	,2940	,9803	,2365	,6812
ρ	,9699	,9912	,9883	,9818	,9752	,9803	,9516	,9501
σ_u	15,7594	9,9949	20,4460	10,4090	11,8496	9,0856	7,3242	3,1015
σ_e	2,7753	,9412	2,2273	1,4154	1,8916	1,2890	1,6525	,7105

Gli errori standard sono riportati in parentesi sotto i coefficienti

* $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$

Tabella 4.4: Confronto fra gruppi di paesi per la relazione tra aspettativa di vita (LEB) e consumi energetici totali

4.3 Istruzione e consumi energetici

La tabella 4.5 riporta i risultati stimati per il modello 3.4. Le tre colonne stimano allo stesso modo i modelli presentati nelle tabelle 4.1 e 4.3, fatta eccezione per la variabile dipendente che in questo caso è il MYS (anni medi di istruzione).

I contributi del consumo energetico sono positivi nelle regressioni (1) e (3), negativi nella (2). In tutte e tre sono molto bassi. Prendendo come riferimento la regressione (1), se si aumentassero i consumi energetici totali dell'1% si otterrebbe un corrispettivo incremento di 0,017 anni di scuola, ossia circa 6 giorni in più. Le variabili per controllare per alcune caratteristiche dei paesi forniscono qualche informazione aggiuntiva:

1. Sia nella regressione (2) che nella (3) la manifattura, espressa come valore in percentuale del PIL, influisce negativamente sul numero medio di anni di scuola. Nel primo caso l'aumento di un punto percentuale di quota sul PIL riduce la frequenza media scolastica di quasi 18 ore mentre nel secondo di circa 5 ore. L'ipotesi che il coefficiente stimato per la manifattura sia nullo può essere rifiutata ad un livello di significatività del 5% nella (2) e dell'1% nella (3).
2. La soddisfazione per la vita è significativa al 5% e dimostra che l'aumento di un punto, su una scala da 1 a 10, della soddisfazione generale per la vita comporti una riduzione degli anni medi di scuola.
3. Al di là di ogni considerazione sulla quantità di consumi minimi necessari per l'istruzione, l'intercetta della colonna (2) descrive un risultato eccessivo. Il valore lascia intendere infatti che, senza nessun consumo energetico e senza alcun effetto delle altre variabili, gli anni di istruzione siano mediamente 40, un numero che chiaramente non può rappresentare il ciclo di studi medio nel mondo. Un valore più ragionevole per la stima dell'intercetta, pari a circa 8 anni, è presente nella regressione (3).
4. La spesa sanitaria, espressa come percentuale del PIL, apporta effetti negativi nella regressione (2), con un calo nella frequenza scolastica di 0,003 anni (i.e. 1 giorno) ad ogni incremento dell'1% sul PIL, ed un aumento di appena 5 ore ad una pari variazione della quota sul PIL nella (3).
5. La disuguaglianza di genere, che incorpora in qualche modo la dimensione educativa con l'empowerment, sembra avere effetti negativi molto più delle altre variabili, soprattutto nella regressione (2) dove l'aumento di un punto percentuale nella disuguaglianza provoca la riduzione, di circa 4 settimane, della frequenza scolastica.
6. Esportazioni e democrazia influiscono poco sugli anni medi di scuola.

Un'analisi delle statistiche descrittive della tabella 4.5 evidenzia nuovamente il divario, dovuto alla numerosità di osservazioni e paesi considerati, presente tra le regressioni (1) e (3), e la regressione (2). Complessivamente e a livello di panel, la regressione (3) riporta una bontà di adattamento superiore alle altre ma con valori tuttavia bassi. La migliore approssimazione a livello di paese è offerta invece dalla regressione (2). Anche nella relazione tra aspettativa di vita e consumi energetici il ρ evidenzia che la variabilità nel numero di anni medi di scolarità sia spiegato in gran parte dalle differenze dei livelli d'istruzione

tra paesi. Il valore minimo individuato di σ_u spiega una varianza negli effetti fissi dei vari paesi di circa 8 anni di scuola.

	(1) MYS	(2) MYS	(3) MYS
log(Consumo energetico totale)	1,6781*** (,1660)	-5,2149*** (1,8890)	,6276** (,2481)
Democrazia		,5005 (,3953)	-,0024 (,0017)
Esportazioni		,2122*** (,0488)	,0081* (,0048)
Spesa sanitaria		-,3022** (,1258)	,0764** (,0379)
Manifattura		-,2009** (,0983)	-,0617*** (,0209)
Disuguaglianza di genere		-7,3789 (5,0322)	-3,4712*** (1,1057)
Soddisfazione della vita		-1,3709** (,6450)	
Intercetta	3,5936*** (,4628)	40,0906*** (12,2853)	8,0849*** (1,1473)
Osservazioni	768	44	537
Paesi	142	34	126
R ² complessivo	,0759	,0562	,4320
R ² panel	,0779	,0966	,4104
R ² paese	,2985	,8787	,3297
ρ	,9556	,9993	,9393
σ_u	3,5856	14,4896	1,9916
σ_ϵ	,7727	,3821	,5062

Gli errori standard sono riportati in parentesi sotto i coefficienti

* $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$

Tabella 4.5: Istruzione (MYS) e consumi energetici totali

La tabella 4.6 mostra, come nei casi precedenti, il confronto delle regressioni stimate per quattro categorie di paesi, differenziate in base al reddito.

Come per il modello generale presentato nella tabella 3.5, anche l'analisi per categorie di reddito evidenzia coefficienti positivi, ad eccezione della regressione (4) senza controlli. Sempre escludendo quest'ultima, tutti i coefficienti stimati per i consumi sono significativi al livello 1% eccetto quelli delle regressioni (1) e (2) con controlli. Il coefficiente della (4) con controlli non è statisticamente significativo. I contributi dei consumi sugli anni medi di scolarità sono in tutti i casi molto bassi. Si consideri ad esempio la regressione (3) senza controlli, che presenta il più alto coefficiente stimato per i consumi energetici totali. La stima rivela che se in un paese a reddito medio-alto i consumi totali aumentassero dell'1%, le persone aumenterebbero la frequenza scolastica totale nella propria vita di appena 7 giorni in più. Nella stessa regressione, l'intercetta rivela che senza consumi energetici le persone frequenterebbero mediamente la scuola per circa 3 anni. Le intercette sono in tutti i casi significative al livello 1%, rivelando un numero di anni di scuola, indipendentemente

dai consumi energetici, compreso tra 2 e 4 nei paesi più poveri, tra 3 e 8 anni nei paesi MB, tra 3 e 7 nei paesi MA, e tra 5 e 10 nei paesi più ricchi.

Complessivamente, i valori R^2 sono molto bassi. Nel caso della regressione (2) senza controlli il valore è pari a 0, indicando l'inefficacia di adattamento della regressione ai dati. A livello di panel i valori R^2 restano molto bassi mentre sono migliori a livello di paese. Nelle regressioni con controlli, il maggior valore di R^2 paese è riscontrabile nella regressione (1). La stessa regressione senza controlli spiega altrettanto bene i dati. Entrambe hanno tuttavia valori di R^2 bassi. La varianza negli effetti fissi è relativamente alta in tutte le regressioni. Essa è compresa tra 3 e 5 anni per le regressioni senza controlli, tra 2 e 3 per quelle con controlli. Similmente alla situazione presentata nella tabella 4.5, anche in questo caso il ρ evidenzia che la variabilità nel numero di anni medi di scolarità sia determinato fortemente dalle differenze dei livelli d'istruzione tra paesi.

	(1) BR		(2) MB		(3) MA		(4) AR	
	No	Sì	No	Sì	No	Sì	No	Sì
log(Consumo energetico totale)	1,5418*** (,3626)	,6714* (,2420)	1,5407*** (,3634)	,5105* (,2415)	1,9200*** (,3083)	1,2978*** (,4774)	1,5860*** (,2882)	-,4493 (,6382)
Intercetta	2,2271*** (,6164)	4,3580*** (,8248)	2,8259*** (,9173)	7,8615*** (1,3600)	2,8775*** (,8365)	6,6567*** (2,3889)	5,0186*** (,9489)	10,8634*** (3,1106)
Variabili di controllo								
Osservazioni	81	45	170	124	221	159	296	209
Paesi	15	14	32	29	45	39	50	44
R ² complessivo	,0030	,0181	,0000	,0545	,0102	,0798	,0752	,0641
R ² panel	,0123	,0359	,0077	,0350	,0077	,0540	,0930	,0655
R ² paese	,4487	,8364	,3757	,3677	,3948	,4464	,1793	,3575
ρ	,9656	,9978	,9668	,9650	,9724	,9673	,9009	,9171
σ_u	2,9760	2,2599	3,4804	2,1408	4,5829	2,7145	2,6544	1,8725
σ_e	,5616	,1065	,6452	,4079	,7716	,4991	,8804	,5628

Gli errori standard sono riportati in parentesi sotto i coefficienti

* $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$

Tabella 4.6: Confronto fra gruppi di paesi per la relazione tra istruzione (MYS) e consumi energetici totali

Capitolo 5

Conclusioni

Nella presente trattazione è stato effettuato uno studio empirico sulla relazione tra consumo energetico e sviluppo. Quest'ultimo è stato descritto attraverso tre misure, PIL, aspettativa di vita e anni medi di istruzione, rappresentative delle dimensioni economiche sociali ed istituzionali di un paese. Per effettuare le stime dei modelli è stato utilizzato il metodo della regressione con effetti fissi, adatto per controllare per caratteristiche che variano tra paesi ma non nel tempo. La collezione di dati panel impiegata per l'analisi include 169 paesi con popolazione superiore a 2 milioni di abitanti, dal 1990 al 2019. Sulla base degli studi effettuati nella letteratura che tratta del rapporto tra energia e sviluppo, sono state incluse nei modelli variabili per il controllo per fattori potenzialmente rilevanti.

Dall'analisi dei risultati è emerso che, senza l'inclusione di controlli, esiste un legame statisticamente significativo e positivo tra PIL e consumi energetici totali. Con i controlli tale significatività è persa: altre variabili evidenziano stime più rilevanti nella determinazione del PIL. Dal confronto effettuato tra le categorie di reddito dei paesi sono emersi risultati analoghi.

I risultati hanno anche mostrato un legame significativo tra consumi energetici ed aspettativa di vita, sia nella stima generica, ossia non differenziando i paesi tra loro, sia nei confronti per fasce di reddito. L'impatto più forte di maggiori consumi energetici sull'aspettativa di vita è stato riscontrato nei paesi più poveri e quelli a reddito medio-basso. Nei paesi ad alto reddito l'influenza dei consumi energetici sull'aspettativa di vita è pressoché inesistente. In generale, l'apporto positivo che maggiori consumi energetici danno all'aspettativa di vita corrente è risultato basso. Nel miglior caso rilevato, un incremento dei consumi dell'1% aumenta di 30 giorni l'aspettativa di vita a fronte di 45 anni di partenza.

Anche la relazione tra consumi energetici e anni medi di istruzione è risultato positivo e significativo. Tuttavia, i contributi che maggiori consumi conferiscono agli anni medi di scolarità sono molto bassi. Nelle regressioni che includono variabili di controllo i contributi sono tendenzialmente nulli. Nel miglior risultato individuato, ossia nei paesi a reddito medio-alto, un incremento dei consumi energetici dell'1% aggiunge solamente 7 giorni ad un periodo totale d'istruzione già di 3 anni.

Il problema principale riscontrato in questa ricerca è stato l'incompletezza dei dati. In tutti i casi le regressioni con controlli sono state ricavate su un campione limitato di paesi poiché molte variabili riportano valori mancanti. I dati del resto sono stati ottenuti da enti diversi, partendo dalla Banca Mondiale, fino ad organizzazioni indipendenti e di ampiezza

modesta. L'inclusione di più controlli e l'utilizzo di collezioni dati più complete è lasciato come oggetto di future ricerche.

Bibliografia

- Akizu-Gardoki, Ortzi et al. (2018). “Decoupling between human development and energy consumption within footprint accounts”. In: *Journal of Cleaner Production* 202, pp. 1145–1157. ISSN: 0959-6526. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.235>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618325848>.
- Arto, Iñaki et al. (2016). “The energy requirements of a developed world”. In: *Energy for Sustainable Development* 33, pp. 1–13. ISSN: 0973-0826. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.04.001>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082616301892>.
- Association, World Values Survey (2015). *World Value Survey 1981-2014 Longitudinal Aggregate v.20150418*. URL: <http://worldvaluessurvey.org>.
- Bekhet, Hussain Ali, Ali Matar e Tahira Yasmin (2017). “CO2 emissions, energy consumption, economic growth, and financial development in GCC countries: Dynamic simultaneous equation models”. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 70, pp. 117–132. ISSN: 1364-0321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.089>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211630853X>.
- Bergh, Jeroen C.J.M. van den (2009). “The GDP paradox”. In: *Journal of Economic Psychology* 30.2, pp. 117–135. ISSN: 0167-4870. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joep.2008.12.001>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167487008001141>.
- Brand-Correa, Lina I. e Julia K. Steinberger (2017). “A Framework for Decoupling Human Need Satisfaction From Energy Use”. In: *Ecological Economics* 141, pp. 43–52. ISSN: 0921-8009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.05.019>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800916308448>.
- Clark, Brett, Andrew K. Jorgenson e Jeffrey Kentor (2010). “Militarization and Energy Consumption”. In: *International Journal of Sociology* 40.2, pp. 23–43. DOI: [10.2753/ijso020-7659400202](https://doi.org/10.2753/ijso020-7659400202).
- Comim, Flavio (apr. 2017). “Beyond the HDI? Assessing alternative measures of human development from a capability perspective”. In: URL: <http://hdr.undp.org/en/content/beyond-hdi-assessing-alternative-measures-human-development-capability-perspective>.
- Dias, Rubens A., Cristiano R. Mattos e José A. P. Balestieri (2006). “The limits of human development and the use of energy and natural resources”. In: *Energy Policy* 34.9, pp. 1026–1031. ISSN: 0301-4215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.09.008>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421504003052>.

- Diener, Ed et al. (1993). “The relationship between income and subjective well-being: Relative or absolute?” In: *Social Indicators Research* 28.3, pp. 195–223. ISSN: 1573-0921. DOI: [10.1007/BF01079018](https://doi.org/10.1007/BF01079018). URL: <https://doi.org/10.1007/BF01079018>.
- Dietz, Thomas, Eugene A. Rosa e Richard York (2012). “Environmentally efficient well-being: Is there a Kuznets curve?” In: *Applied Geography* 32.1. Environmental Kuznets Curves and Environment-Development Research, pp. 21–28. ISSN: 0143-6228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.10.011>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014362281000144X>.
- Easterlin, Rrichard A. (1974). “Does Economic Growth Improve the Human Lot? Some Empirical Evidence”. In: *Nations and Households in Economic Growth*. A cura di PAUL A. DAVID e MELVIN W. REDER. Academic Press, pp. 89–125. ISBN: 978-0-12-205050-3. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-205050-3.50008-7>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780122050503500087>.
- Ed et al. (2006). “Beyond the hedonic treadmill: revising the adaptation theory of well-being.” In: *The American psychologist* 61 4, pp. 305–14.
- Franceschini, Fiorenzo (2001). *Dai prodotti ai servizi. Le nuove frontiere per la misura della qualità*. A cura di UTET Università.
- Franceschini, Fiorenzo, Maurizio Galetto e Domenico Maisano (gen. 2007). *Management by Measurement: Designing Key Indicators and Performance Measurement Systems*. DOI: [10.1007/978-3-540-73212-9](https://doi.org/10.1007/978-3-540-73212-9).
- Gurr, Ted Robert, Monty G Marshall e Keith Jagers (2016). *Polity IV project: Political regime authority characteristics and transitions 1800–2015*.
- Hagerty, Michael R. (1999). “Testing Maslow’s Hierarchy of Needs: National Quality-of-Life Across Time”. In: *Social Indicators Research* 46.3, pp. 249–271. ISSN: 1573-0921. DOI: [10.1023/A:1006921107298](https://doi.org/10.1023/A:1006921107298). URL: <https://doi.org/10.1023/A:1006921107298>.
- Hardeman, Sjoerd e Lewis Dijkstra (2014). “The EU Regional Human Development Index”. In: *European Commission Joint Research Centre*.
- IEA (2018). *World Energy Balances 2018*. Paris: OECD Publishing.
- Jess, Andreas (2010). “What might be the energy demand and energy mix to reconcile the world’s pursuit of welfare and happiness with the necessity to preserve the integrity of the biosphere?” In: *Energy Policy* 38.8, pp. 4663–4678. ISSN: 0301-4215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.04.026>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421510003009>.
- Jorgenson, Andrew K., Alina Alekseyko e Vincentas Giedraitis (2014). “Energy consumption, human well-being and economic development in central and eastern European nations: A cautionary tale of sustainability”. In: *Energy Policy* 66, pp. 419–427. ISSN: 0301-4215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.020>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513011270>.
- Kahneman, Daniel et al. (lug. 2006). “Would You Be Happier If You Were Richer? A Focusing Illusion”. In: *Science (New York, N.Y.)* 312, pp. 1908–10. DOI: [10.1126/science.1129688](https://doi.org/10.1126/science.1129688).
- Kennelly, Brendan, Eamon O’Shea e Eoghan Garvey (2003). “Social capital, life expectancy and mortality: a cross-national examination”. In: *Social Science & Medicine* 56.12, pp. 2367–2377. DOI: [10.1016/s0277-9536\(02\)00241-1](https://doi.org/10.1016/s0277-9536(02)00241-1).
- Lambert, Jessica G. et al. (2014). “Energy, EROI and quality of life”. In: *Energy Policy* 64, pp. 153–167. ISSN: 0301-4215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.03.011>.

- 2013.07.001. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513006447>.
- Lee, Chien-Chiang (2005). “Energy consumption and GDP in developing countries: A cointegrated panel analysis”. In: *Energy Economics* 27.3, pp. 415–427. ISSN: 0140-9883. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2005.03.003>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014098830500023X>.
- Lee, Chien-Chiang e Chun-Ping Chang (2008). “Energy consumption and economic growth in Asian economies: A more comprehensive analysis using panel data”. In: *Resource and Energy Economics* 30.1, pp. 50–65. ISSN: 0928-7655. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2007.03.003>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928765507000188>.
- Martínez, Daniel M. e Ben W. Ebenhack (2008). “Understanding the role of energy consumption in human development through the use of saturation phenomena”. In: *Energy Policy* 36.4, pp. 1430–1435. ISSN: 0301-4215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.12.016>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421507005575>.
- Mazur, Allan (2011). “Does increasing energy or electricity consumption improve quality of life in industrial nations?” In: *Energy Policy* 39.5, pp. 2568–2572. ISSN: 0301-4215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.02.024>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421511001042>.
- McGillivray, Mark (2006). *Human well-being: Concept and measurement*. Springer.
- McGregor, Allister, Sarah Coulthard e Laura Camfield (2015). “Measuring what matters: The role of well-being methods in development policy and practice”. In:
- Nadimi, Reza e Koji Tokimatsu (2018a). “Energy use analysis in the presence of quality of life, poverty, health, and carbon dioxide emissions”. In: *Energy* 153, pp. 671–684. ISSN: 0360-5442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.150>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544218305590>.
- (2018b). “Modeling of quality of life in terms of energy and electricity consumption”. In: *Applied Energy* 212, pp. 1282–1294. ISSN: 0306-2619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.01.006>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261918300060>.
- Nadimi, Reza, Koji Tokimatsu e Kunio Yoshikawa (2017). “Sustainable energy policy options in the presence of quality of life, poverty, and CO2 emission”. In: *Energy Procedia* 142. Proceedings of the 9th International Conference on Applied Energy, pp. 2959–2964. ISSN: 1876-6102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.314>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217360563>.
- Ngamaba, Kayonda Hubert e Debbie Soni (2018). “Are Happiness and Life Satisfaction Different Across Religious Groups? Exploring Determinants of Happiness and Life Satisfaction”. In: *Journal of Religion and Health* 57.6, pp. 2118–2139. ISSN: 1573-6571. DOI: [10.1007/s10943-017-0481-2](https://doi.org/10.1007/s10943-017-0481-2). URL: <https://doi.org/10.1007/s10943-017-0481-2>.
- Niu, Shuwen et al. (2013). “Electricity consumption and human development level: A comparative analysis based on panel data for 50 countries”. In: *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 53, pp. 338–347. ISSN: 0142-0615. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.05.024>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061513002263>.

- Oishi, Shigehiro e Ed Diener (dic. 2013). “Residents of Poor Nations Have a Greater Sense of Meaning in Life Than Residents of Wealthy Nations”. In: *Psychological science* 25. DOI: [10.1177/0956797613507286](https://doi.org/10.1177/0956797613507286).
- Pasten, Cesar e Juan Carlos Santamarina (2012). “Energy and quality of life”. In: *Energy Policy* 49. Special Section: Fuel Poverty Comes of Age: Commemorating 21 Years of Research and Policy, pp. 468–476. ISSN: 0301-4215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.06.051>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421512005617>.
- Pasternak, Alan D (2000). “Global energy futures and human development: a framework for analysis”. In: *US Department of Energy, Oak Ridge*.
- Payne, James E. (2010a). “A survey of the electricity consumption-growth literature”. In: *Applied Energy* 87.3, pp. 723–731. ISSN: 0306-2619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.06.034>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261909002748>.
- (2010b). “Survey of the international evidence on the causal relationship between energy consumption and growth”. In: *Journal of Economic Studies* 37.1, pp. 53–95. DOI: [10.1108/01443581011012261](https://doi.org/10.1108/01443581011012261). eprint: <https://doi.org/10.1108/01443581011012261>. URL: <https://doi.org/10.1108/01443581011012261>.
- Pretty, Jules (2013). “The Consumption of a Finite Planet: Well-Being, Convergence, Divergence and the Nascent Green Economy”. In: *Environmental and Resource Economics* 55.4, pp. 475–499. ISSN: 1573-1502. DOI: [10.1007/s10640-013-9680-9](https://doi.org/10.1007/s10640-013-9680-9). URL: <https://doi.org/10.1007/s10640-013-9680-9>.
- Pîrlogea, Corina (2012). “The Human Development Relies on Energy. Panel Data Evidence”. In: *Procedia Economics and Finance* 3. International Conference Emerging Markets Queries in Finance and Business, Petru Maior University of Tîrgu-Mures, ROMANIA, October 24th - 27th, 2012, pp. 496–501. ISSN: 2212-5671. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(12\)00186-4](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(12)00186-4). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212567112001864>.
- Ranis, Gustav, Frances Stewart e Emma Samman (2006). “Human Development: Beyond the Human Development Index”. In: *Journal of Human Development* 7.3, pp. 323–358. DOI: [10.1080/14649880600815917](https://doi.org/10.1080/14649880600815917). eprint: <https://doi.org/10.1080/14649880600815917>. URL: <https://doi.org/10.1080/14649880600815917>.
- Ronald, Inglehart et al. (lug. 2008). “Development, Freedom, and Rising Happiness A Global Perspective (1981-2007)”. In: *Perspectives on Psychological Science* 3. DOI: [10.1111/j.1745-6924.2008.00078.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-6924.2008.00078.x).
- Rowbottom, Sara (2007). *Giving girls today & tomorrow: breaking the cycle of adolescent pregnancy*. URL: https://www.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/giving_girls.pdf.
- Sagar, Ambuj D e Adil Najam (1998). “The human development index: a critical review1This paper is based, in part, on an earlier version presented at the 9th Annual Conference of the Academic Council of the United Nations System (ACUNS) held in Turin, Italy in June 1996.1”. In: *Ecological Economics* 25.3, pp. 249–264. ISSN: 0921-8009. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00168-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00168-7). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800997001687>.

- Saikia, Udoy, Gouranga Dasvarma e James Chalmers (2018). “Chapter 13 - Methods of Measuring Human Well-being and Human Development”. In: *Integrated Population Biology and Modeling, Part A*. A cura di Arni S.R. Srinivasa Rao e C.R. Rao. Vol. 39. Handbook of Statistics. Elsevier, pp. 545 –575. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.host.2018.06.008>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169716118300130>.
- Salahuddin, Mohammad, Jeff Gow e Ilhan Ozturk (2015). “Is the long-run relationship between economic growth, electricity consumption, carbon dioxide emissions and financial development in Gulf Cooperation Council Countries robust?” In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 51, pp. 317 –326. ISSN: 1364-0321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.005>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115005754>.
- Shandra, John M. et al. (2004). “Dependency, democracy, and infant mortality: a quantitative, cross-national analysis of less developed countries”. In: *Social Science & Medicine* 59.2, pp. 321 –333. ISSN: 0277-9536. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2003.10.022>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277953603005628>.
- Steinberger, Julia K. e J. Timmons Roberts (2010). “From constraint to sufficiency: The decoupling of energy and carbon from human needs, 1975–2005”. In: *Ecological Economics* 70.2. Special Section: Ecological Distribution Conflicts, pp. 425 –433. ISSN: 0921-8009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.09.014>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800910003733>.
- Stiglitz, Joseph E, Amartya Sen e Jean-Paul Fitoussi (2009). “Commission on the measurement of economic performance and social progress”. In: *Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress*.
- Stock, James H e Mark W Watson (2005). *Introduzione all'econometria*. Milano: Pearson Education Italia. ISBN: 9788871922676.
- Sweidan, Osama D. e Ahmed A. Alwaked (2016). “Economic development and the energy intensity of human well-being: Evidence from the GCC countries”. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 55, pp. 1363 –1369. ISSN: 1364-0321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.001>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115005717>.
- Tang, Erzi, Chong Peng e Yilan Xu (2018). “Changes of energy consumption with economic development when an economy becomes more productive”. In: *Journal of Cleaner Production* 196, pp. 788 –795. ISSN: 0959-6526. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.101>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618317517>.
- Tiba, Sofien e Anis Omri (2017). “Literature survey on the relationships between energy, environment and economic growth”. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 69, pp. 1129 –1146. ISSN: 1364-0321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.113>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116305998>.
- UNDP (2010). *The real wealth of nations: pathways to human development*. A cura di United Nations Development Programme. United Nations Development Programme.

- UNDP (2014). *Human Development Report 2015: Work for Human Development*. A cura di United Nations Development Programme. United Nations Development Programme. URL: <http://hdr.undp.org/en/content/gender-inequality-index-gii>.
- Ura, Karma et al. (2012). *An extensive analysis of GNH index*.
- Veenhoven, Ruut (1996). "Happy Life-Expectancy: A Comprehensive Measure of Quality-of-Life In Nations". In: *Social Indicators Research* 39.1, pp. 1–58. ISSN: 03038300, 15730921. URL: <http://www.jstor.org/stable/27522942>.
- Vinson, Tony e Matthew Ericson (ott. 2013). "The social dimensions of happiness and life satisfaction of Australians: Evidence from the World Values Survey". In: *International Journal of Social Welfare* 23. DOI: [10.1111/ijsw.12062](https://doi.org/10.1111/ijsw.12062).
- W. Sacks, Daniel, Betsey Stevenson e Justin Wolfers (ott. 2010). "Subjective Well-Being, Income, Economic Development and Growth". In: DOI: [10.3386/w16441](https://doi.org/10.3386/w16441).
- Wang, Zhaohua et al. (2018). "Renewable energy consumption, economic growth and human development index in Pakistan: Evidence form simultaneous equation model". In: *Journal of Cleaner Production* 184, pp. 1081 –1090. ISSN: 0959-6526. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.260>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618305924>.
- WHO (1946). *Preamble to the Constitution of the World Health Organization as adopted by the International Health Conference*.
- (2004). *Guidelines for drinking-water quality*. Vol. 1. World Health Organization.
- Wolff, Hendrik, Howard Chong e Maximilian Auffhammer (gen. 2011). "Classification, Detection and Consequences of Data Error: Evidence from the Human Development Index". In: *The Economic Journal* 121.553, pp. 843–870. ISSN: 0013-0133. DOI: [10.1111/j.1468-0297.2010.02408.x](https://doi.org/10.1111/j.1468-0297.2010.02408.x). eprint: <http://oup.prod.sis.lan/ej/article-pdf/121/553/843/26061370/ej0843.pdf>. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0297.2010.02408.x>.
- World Bank, World Bank (2016). *World Development Indicators 2016*. World Bank. URL: <https://datacatalog.worldbank.org/dataset/world-development-indicators>.