



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI ECONOMIA “GIORGIO FUÀ”

Corso di Laurea triennale in Economia Aziendale

**UN MODELLO PANEL PER IL MERCATO
DELLE AUTO ELETTRICHE**
**A PANEL MODEL FOR THE ELECTRIC CAR
MARKET**

Relatore:

Prof. Giulio Palomba

Rapporto Finale di:

Filippo Carella

Anno Accademico 2025/2026

*A te, Nonno.
Le tue parole, la tua saggezza e i
tuoi sorrisi continuano ad
accompagnarmi ogni giorno. Nei
momenti più difficili li sento
ancora più vicini, come una
mano sulla spalla che mi ricorda
di continuare.*

INDICE

INTRODUZIONE	2
1. IL MERCATO DELLE AUTO ELETTRICHE: EVOLUZIONE E FATTORI DETERMINANTI	5
1.1 DALLA MOBILITÀ TRADIZIONALE ALLA MOBILITÀ ELETTRICA	5
1.2 L'EVOLUZIONE DEL MERCATO MONDIALE DEI VEICOLI ELETTRICI	9
1.3 I PRINCIPALI FATTORI CHE INFLUENZANO LA DIFFUSIONE DEI VEICOLI ELETTRICI.....	13
1.3.1 Fattori economici	13
1.3.2 Infrastrutture di ricarica	14
1.3.3 Intervento pubblico e incentivi	16
1.3.4 Fattori tecnologici ed energetici	17
1.3.5 Fattori comportamentali e sociali	18
2. ANALISI EMPIRICA	20
2.1 IL DATASET E LE VARIABILI.....	20
2.2 SPECIFICAZIONE DEL MODELLO	24
2.3 MODELLO AD EFFETTI INDIVIDUALI.....	25
2.3.1 Modello ad effetti fissi.....	26
2.3.2 Modello ad effetti casuali	29
2.3.3 Scelta del modello.....	32
CONCLUSIONI	34
Bibliografia	36

INTRODUZIONE

La diffusione dei veicoli elettrici rappresenta uno dei principali cambiamenti che stanno interessando il settore automobilistico. La progressiva sostituzione dei veicoli tradizionali coinvolge aspetti economici, tecnologici, energetici e ambientali e interessa in misura crescente imprese, consumatori e istituzioni pubbliche. Il mercato dei veicoli elettrici ha conosciuto negli ultimi anni una forte espansione, ma tale processo non ha seguito lo stesso andamento in tutti i Paesi.

Questa eterogeneità rende interessante osservare non soltanto l'evoluzione del fenomeno nel tempo, ma anche cercare di comprendere quali condizioni possano favorirne o limitarne lo sviluppo nelle differenti aree geografiche. Da queste considerazioni emerge dunque il seguente interrogativo: *“Quali fattori possono contribuire a spiegare le differenze nella diffusione dei veicoli elettrici tra i diversi Paesi e la loro evoluzione negli anni?”*

L'obiettivo di questo lavoro è quindi approfondire le ragioni che possono contribuire a spiegare l'eterogeneità osservata tra i diversi mercati nazionali, mettendo in relazione l'evoluzione della mobilità elettrica con alcuni dei fattori che possono determinarne la diffusione.

Pertanto, non si cerca esclusivamente di descrivere l'espansione del mercato dei veicoli elettrici, ma si tenta di verificare empiricamente l'esistenza di relazioni tra la loro diffusione e alcuni fattori che possono assumere rilievo nel processo di adozione. In questo modo, l'analisi descrittiva dell'evoluzione del mercato viene

affiancata da un'analisi quantitativa finalizzata a comprendere se e in quale misura le variabili considerate siano associate alle differenze riscontrate tra i Paesi nel corso del tempo.

La letteratura economica e gli studi dedicati alla mobilità elettrica hanno analizzato il fenomeno da prospettive differenti. Alcuni lavori si sono concentrati sulle condizioni economiche e sui costi sostenuti dai consumatori; altri hanno approfondito il ruolo delle infrastrutture di ricarica e delle politiche pubbliche, mentre ulteriori contributi hanno considerato le caratteristiche tecnologiche dei veicoli, il sistema energetico e gli atteggiamenti individuali dei consumatori. La presenza di una pluralità di possibili determinanti rende quindi utile affiancare alla rassegna degli studi precedenti un'analisi empirica capace di osservare contemporaneamente più paesi e più periodi.

Per rispondere alla domanda di ricerca è stato utilizzato un dataset relativo a 23 Paesi osservati annualmente nel periodo 2015-2023. La presenza di osservazioni riferite agli stessi Paesi in differenti anni consente di organizzare i dati secondo una struttura panel. Il periodo analizzato risulta inoltre particolarmente interessante, in quanto comprende anni nei quali il mercato dei veicoli elettrici ha attraversato una fase di forte sviluppo. Il dataset contiene informazioni relative sia alla diffusione dei veicoli elettrici sia ad alcune caratteristiche economiche, infrastrutturali ed energetiche dei Paesi considerati. Tra le variabili considerate rientrano la quota percentuale delle vendite di nuove automobili costituita da veicoli elettrici, il

numero di punti di ricarica pubblici, il PIL pro-capite e la quota di elettricità prodotta da fonti rinnovabili.

L'analisi econometrica consentirà quindi di studiare la relazione tra la diffusione dei veicoli elettrici e le variabili esplicative considerate, sfruttando la struttura panel dei dati.

Il lavoro si sviluppa quindi attraverso due capitoli strettamente collegati. Il primo è dedicato all'evoluzione della mobilità elettrica e all'analisi dei principali fattori che ne influenzano la diffusione, attraverso una rassegna della letteratura. Dopo una ricostruzione dello sviluppo del mercato mondiale dei veicoli elettrici, vengono approfondite le principali determinanti individuate dagli studi precedenti. In particolare, vengono analizzati i fattori economici, il ruolo delle infrastrutture di ricarica, le politiche pubbliche e gli incentivi, i fattori tecnologici ed energetici e, infine, alcuni aspetti comportamentali e sociali legati alle scelte dei consumatori.

Il secondo capitolo è, invece, dedicato all'analisi empirica. Dopo una presentazione iniziale del dataset, delle variabili utilizzate e delle loro principali caratteristiche, verrà specificato un modello econometrico. Successivamente saranno presentati e discussi i risultati ottenuti, interpretandoli sia dal punto di vista statistico, sia da quello economico e confrontandoli con le principali evidenze emerse dagli studi precedenti.

Nelle conclusioni saranno infine sintetizzati i principali risultati ottenuti, evidenziandone le implicazioni e gli eventuali limiti.

Capitolo 1

IL MERCATO DELLE AUTO ELETTRICHE: EVOLUZIONE E FATTORI DETERMINANTI

1.1 DALLA MOBILITÀ TRADIZIONALE ALLA MOBILITÀ ELETTRICA

La mobilità elettrica non rappresenta un fenomeno esclusivamente recente. I primi tentativi di realizzare veicoli alimentati attraverso l'energia elettrica risalgono infatti al XIX secolo e derivano dai progressivi sviluppi delle batterie e dei motori elettrici. Negli Stati Uniti, uno dei primi veicoli elettrici di successo è stato realizzato intorno al 1890 da William Morrison e, all'inizio del Novecento, le automobili elettriche conoscono già una prima diffusione. Il loro sviluppo subisce però un forte rallentamento negli anni successivi, soprattutto a causa della crescente disponibilità e convenienza delle automobili alimentate a benzina e della loro produzione su larga scala.

L'interesse verso la mobilità elettrica torna a crescere diversi decenni più tardi, favorito dai progressi tecnologici delle batterie e dalla crescente attenzione verso le conseguenze ambientali dell'utilizzo dei combustibili fossili. Un passaggio importante è rappresentato dalla diffusione delle batterie agli ioni di litio nel settore automobilistico. Tra la fine degli anni Novanta e l'inizio del nuovo millennio vengono introdotti nuovi modelli elettrici e nel 2010 arriva sul mercato la Nissan Leaf, che diventa successivamente la prima automobile elettrica a superare le

100.000 unità vendute.

Oggi, con il termine *veicolo elettrico*, si fa riferimento a differenti tecnologie: i veicoli elettrici a batteria (*Battery Electric Vehicle*, BEV) che utilizzano esclusivamente un motore elettrico alimentato dall'energia accumulata in una batteria ricaricabile e i veicoli ibridi ricaricabili (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle*, PHEV) che, invece, combinano un motore elettrico con un motore a combustione interna e possono essere ricaricati mediante una fonte esterna di energia.

La distinzione tra queste categorie assume rilievo poiché esse presentano caratteristiche differenti in termini di utilizzo dei combustibili tradizionali, autonomia e potenziale riduzione delle emissioni. È proprio lo sviluppo di queste forme di mobilità alternativa rispetto ai tradizionali veicoli con motore a combustione interna a determinare una profonda trasformazione del settore automobilistico.

In questo processo, la mobilità elettrica sta assumendo un ruolo crescente, soprattutto in relazione agli obiettivi di riduzione delle emissioni, di contenimento della dipendenza dai combustibili fossili e di sviluppo di sistemi di trasporto maggiormente sostenibili. L'International Energy Agency (IEA, 2024), organizzazione internazionale che si occupa di analisi e politiche energetiche, considera infatti l'elettrificazione del trasporto stradale uno degli elementi più rilevanti del processo di transizione energetica. Il passaggio verso la mobilità elettrica non risponde esclusivamente a finalità ambientali, ma produce

conseguenze rilevanti anche sotto il profilo economico e industriale. La diffusione dei veicoli elettrici, infatti, modifica la struttura della domanda nel mercato automobilistico, richiede investimenti nella produzione di batterie e componenti specifici e determina la necessità di sviluppare una rete di infrastrutture di ricarica adeguata. Allo stesso tempo, le imprese automobilistiche sono chiamate ad adattare le proprie strategie produttive e commerciali in un mercato in progressiva trasformazione. La stessa IEA (2024) evidenzia come lo sviluppo della mobilità elettrica coinvolga ormai l'intera filiera, dalla produzione delle batterie alla disponibilità delle infrastrutture di ricarica.

Il vantaggio ambientale dei veicoli elettrici non deve tuttavia essere valutato considerando esclusivamente l'assenza di emissioni allo scarico. La quantità complessiva di emissioni associate a un veicolo, infatti, dipende anche dalla produzione dell'energia elettrica utilizzata per la ricarica, dai processi produttivi delle batterie e dall'intero ciclo di vita del mezzo. In ogni caso, i veicoli elettrici a batteria presentano emissioni complessive lungo il ciclo di vita inferiori rispetto ai corrispondenti veicoli con motore a combustione interna (International Energy Agency, 2024).

Nonostante i progressi tecnologici e la crescente attenzione rivolta al settore, l'adozione dei veicoli elettrici incontra ancora numerosi ostacoli. Coffman, Bernstein e Wee (2017) hanno individuato diversi elementi in grado di influenzare la diffusione dei veicoli elettrici (*Electric Vehicles*, EV). Tra questi assumono

particolare importanza il prezzo dei veicoli, le caratteristiche tecnologiche, le politiche pubbliche e la disponibilità delle infrastrutture di ricarica. La diffusione delle auto elettriche non può pertanto essere spiegata attraverso un unico fattore, ma deriva dall'interazione tra condizioni economiche, tecnologiche e istituzionali. Un'ulteriore prospettiva è fornita da Liao, Molin e van Wee (2017) i quali analizzano il tema dal punto di vista delle preferenze dei consumatori. Il prezzo di acquisto, l'autonomia, i tempi di ricarica, i costi di esercizio e la disponibilità delle infrastrutture costituiscono alcune delle caratteristiche che entrano nella decisione di acquisto. La valutazione del consumatore dipende quindi non soltanto dal costo iniziale del veicolo, ma anche dalla convenienza relativa rispetto alle automobili tradizionali e dalla possibilità di utilizzare agevolmente il mezzo.

Rezvani, Jansson e Bodin (2015) ampliano l'analisi considerando anche gli aspetti comportamentali connessi all'adozione. La loro rassegna evidenzia come il costo di acquisto rappresenti una barriera, mentre minori costi di utilizzo possono favorire la scelta di un veicolo elettrico. Accanto agli elementi strettamente economici e all'attenzione verso le questioni ambientali assumono rilievo anche l'interesse per l'innovazione e le percezioni individuali associate alla nuova tecnologia.

Le differenze osservabili nella diffusione dei veicoli elettrici tra diversi Paesi non dipendono soltanto dalla disponibilità della tecnologia, ma anche dalle condizioni economiche, dalle politiche adottate e dallo sviluppo delle infrastrutture. L'analisi dell'evoluzione del mercato internazionale consente di approfondire tali differenze

e costituisce argomento del paragrafo successivo.

1.2 L'EVOLUZIONE DEL MERCATO MONDIALE DEI VEICOLI ELETTRICI

Negli ultimi anni il mercato mondiale dei veicoli elettrici ha registrato una crescita particolarmente significativa. Se inizialmente la mobilità elettrica rappresentava una componente marginale del mercato automobilistico, la sua diffusione è aumentata rapidamente soprattutto a partire dalla seconda metà dello scorso decennio.

Secondo i dati riportati nel *Global EV Outlook* dell'International Energy Agency (IEA, 2024), nel 2018 i veicoli elettrici rappresentavano soltanto il 2% delle nuove automobili vendute a livello mondiale, mentre nel 2023 tale quota ha raggiunto circa il 18%. Nello stesso anno sono state vendute quasi 14 milioni di automobili elettriche, circa 3,5 milioni in più rispetto al 2022, con una crescita annuale del 35%.

L'aumento delle vendite ha determinato conseguentemente una crescita progressiva anche del numero complessivo di veicoli elettrici presenti sulle strade. Nel 2023 lo stock mondiale ha raggiunto circa 40 milioni di automobili elettriche, il 70% delle quali costituito da veicoli elettrici a batteria. Le nuove immatricolazioni registrate nel corso dello stesso anno sono risultate inoltre più di sei volte superiori rispetto al 2018.

La Figura 1 mostra la rapidità con cui questo mercato si è sviluppato nell'arco di soli dieci anni.

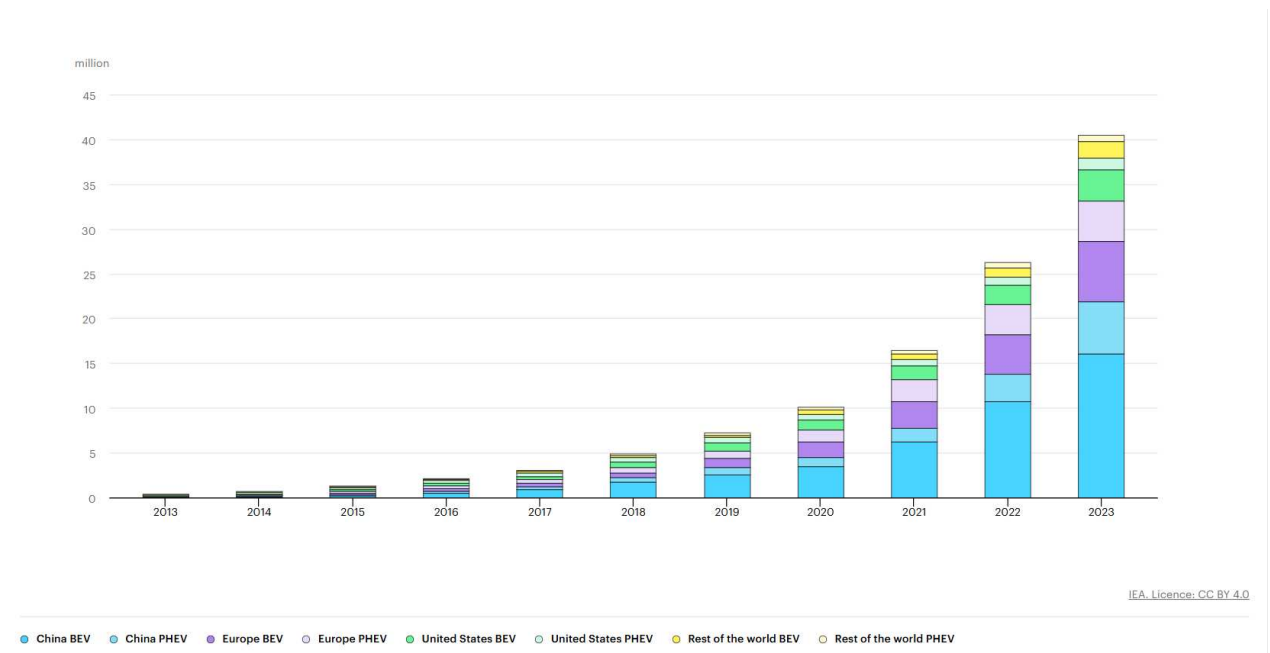


Figura 1 – Evoluzione dello stock mondiale di automobili elettriche, 2013-2023

Fonte: *International Energy Agency (2024), Global EV Outlook 2024.*

La diffusione dei veicoli elettrici non è tuttavia avvenuta in maniera uniforme tra i diversi Paesi. Il mercato mondiale risulta fortemente concentrato in tre grandi aree: Cina, Europa e Stati Uniti. Nel 2023 poco meno del 60% delle nuove automobili elettriche è stato immatricolato in Cina, poco meno del 25% in Europa e circa il 10% negli Stati Uniti. Complessivamente, queste tre aree hanno rappresentato circa il 95% delle vendite mondiali (IEA, 2024).

Nel 2023 sono stati immatricolati in Cina circa 8,1 milioni di nuovi veicoli elettrici e i dati mostrano che più di un'automobile nuova su tre, venduta sul mercato cinese,

è elettrica. La posizione raggiunta dalla Cina assume particolare importanza anche sotto il profilo industriale: i produttori cinesi realizzano più della metà delle automobili elettriche vendute a livello mondiale. Il mercato cinese si caratterizza inoltre per una crescente disponibilità di modelli appartenenti a differenti fasce di prezzo.

L'Europa rappresenta il secondo principale mercato mondiale. I dati del 2023 mostrano che poco meno di un quarto delle vendite globali di veicoli elettrici si è concentrato nei Paesi europei e più di un'automobile nuova su cinque venduta nel continente risulta elettrica. Anche all'interno dell'Europa emergono differenze abbastanza significative. La Norvegia costituisce il caso più evidente, con una quota delle automobili elettriche sulle nuove vendite superiore al 90% nel 2023 (IEA, 2024). In altri Paesi europei il processo di elettrificazione procede invece con una velocità inferiore.

Gli Stati Uniti costituiscono il terzo grande mercato internazionale; circa un'automobile nuova su dieci venduta nel Paese è elettrica. Anche il mercato statunitense registra quindi una crescita rilevante, sebbene la quota dei veicoli elettrici sulle vendite complessive rimanga inferiore rispetto a quella osservata in Cina e in Europa.

Al di fuori dei tre principali mercati mondiali, la diffusione delle automobili elettriche rimane complessivamente più limitata, ma alcuni Paesi emergenti registrano una crescita significativa. Nel 2023 i veicoli elettrici hanno raggiunto

circa il 15% delle vendite complessive in Vietnam e il 10% in Thailandia (IEA, 2024). Secondo i dati dell'International Energy Agency (IEA, 2024), anche in altri grandi mercati emergenti le quote risultano ancora inferiori: in India le automobili elettriche rappresentano circa il 2% delle vendite, mentre in Brasile raggiungono circa il 3%. Questi dati mostrano come il processo di elettrificazione stia progressivamente interessando anche mercati differenti da quelli nei quali inizialmente si concentrava la maggior parte della domanda.

La crescita del mercato ha modificato gli equilibri competitivi tra le imprese automobilistiche. Nel 2023 BYD e Tesla rappresentavano insieme circa il 35% delle vendite mondiali di automobili elettriche. Parallelamente è cresciuto il peso delle imprese cinesi, mentre alcuni produttori automobilistici tradizionali hanno visto ridursi la propria quota nel mercato elettrico rispetto agli anni precedenti. L'elettrificazione ha determinato quindi non soltanto un cambiamento della tecnologia utilizzata nei veicoli, ma anche una trasformazione della struttura competitiva dell'industria automobilistica mondiale.

Il mercato mondiale dei veicoli elettrici appare quindi caratterizzato da due fenomeni paralleli: una forte crescita complessiva e una notevole eterogeneità nella velocità di diffusione tra i diversi Paesi. La presenza di differenze così marcate suggerisce che l'espansione del mercato non possa essere spiegata esclusivamente dal progresso tecnologico. Diventa dunque necessario considerare anche altri fattori di natura economica, infrastrutturale e istituzionale.

L'analisi di questi elementi rappresenta pertanto il passaggio successivo per individuare i principali fattori che influenzano la diffusione dei veicoli elettrici.

1.3 I PRINCIPALI FATTORI CHE INFLUENZANO LA DIFFUSIONE DEI VEICOLI ELETTRICI

Le differenze osservate nella diffusione dei veicoli elettrici tra i diversi Paesi hanno portato numerosi studi a individuare i principali fattori in grado di favorirne o limitarne l'adozione. Tra questi assumono particolare rilievo le condizioni economiche, la disponibilità delle infrastrutture di ricarica, le politiche pubbliche, alcuni elementi legati alle caratteristiche tecnologiche, energetiche e alcuni fattori comportamentali e sociali dei consumatori. La loro importanza può tuttavia variare in relazione alle caratteristiche dei diversi mercati.

1.3.1 Fattori economici

Le condizioni economiche rappresentano uno degli elementi di rilievo considerati dagli studi sulla diffusione dei veicoli elettrici. In particolare, l'alto prezzo di acquisto può costituire un ostacolo alla loro adozione, soprattutto quando risulta molto superiore rispetto a quello di un'automobile tradizionale con caratteristiche simili.

Come già evidenziato nel paragrafo 1.1, Rezvani, Jansson e Bodin (2015) individuano nel maggiore costo iniziale una possibile barriera alla scelta di un

veicolo elettrico, mentre i minori costi legati al suo utilizzo possono contribuire a renderlo maggiormente conveniente nel lungo periodo.

Accanto al prezzo del veicolo assume importanza il livello di reddito dei consumatori. La possibilità che un individuo ha di sostenere un costo iniziale più elevato dipende soprattutto dalle sue disponibilità economiche. Lo studio di Xue, Zhou, Wu, Wu e Xu (2021) della Chang'an University e della Auburn University, analizza 20 Paesi nel periodo compreso tra il 2015 e il 2019 ed evidenzia una relazione positiva tra il reddito disponibile delle famiglie e la quota di mercato dei veicoli elettrici.

Assumono rilievo anche i costi legati all'utilizzo del veicolo e, in particolare, il prezzo dell'energia elettrica confrontato con quello dei carburanti; un aumento del prezzo della benzina può infatti rendere relativamente più conveniente l'utilizzo di un'automobile elettrica.

A questo proposito, la ricercatrice Minal Chandra (2022), attraverso un'analisi condotta su dieci Paesi nel periodo compreso tra il 2013 e il 2019, individua un effetto positivo del prezzo della benzina sulla domanda di veicoli elettrici a batteria.

1.3.2 Infrastrutture di ricarica

La disponibilità di un'adeguata rete di infrastrutture di ricarica costituisce un ulteriore elemento centrale per la diffusione dei veicoli elettrici. La possibilità di accedere facilmente a punti di ricarica riduce infatti alcune delle difficoltà associate

all'utilizzo di questa tipologia di veicolo, soprattutto in relazione all'autonomia e alla possibilità di effettuare spostamenti su distanze maggiori.

L'importanza di tali infrastrutture emerge in numerosi studi. L'analisi condotta da Sæther (2022) su 32 Paesi europei nel periodo compreso tra il 2009 e il 2019 evidenzia un effetto positivo della disponibilità delle infrastrutture di ricarica sulla quota di mercato dei veicoli elettrici. Nello stesso studio, un ruolo particolarmente importante viene attribuito anche alle infrastrutture di ricarica rapida, che mostrano risultati più forti e consistenti rispetto alle altre misure considerate.

Oltre al numero e alla velocità dei punti di ricarica, assume importanza anche la loro distribuzione sul territorio. Una rete particolarmente sviluppata, ma concentrata soltanto in determinate aree può infatti non garantire la stessa facilità di utilizzo del veicolo elettrico nelle diverse zone di un Paese. Lo studio condotto da Falchetta e Noussan (2021), ricercatori della Fondazione ENI Enrico Mattei, evidenzia differenze significative nell'accessibilità alle infrastrutture di ricarica sia tra i diversi Paesi sia all'interno degli stessi territori nazionali.

La relazione tra punti di ricarica e diffusione dei veicoli elettrici può essere analizzata anche da un punto di vista bidirezionale; una maggiore disponibilità di punti di ricarica può favorire l'acquisto di veicoli elettrici, mentre la crescita del numero di veicoli in circolazione può a sua volta aumentare la necessità di nuove infrastrutture.

La presenza di una rete di ricarica sufficientemente sviluppata rappresenta pertanto

una condizione importante per accompagnare la crescita del mercato delle automobili elettriche.

1.3.3 Intervento pubblico e incentivi

L'intervento pubblico costituisce un altro strumento attraverso il quale i diversi Paesi possono favorire la diffusione della mobilità elettrica. Tale intervento può assumere forme differenti e comprendere, tra gli altri, incentivi diretti all'acquisto, agevolazioni fiscali e misure volte a sostenere lo sviluppo delle infrastrutture. Gli incentivi economici possono ridurre la differenza di prezzo tra automobili elettriche e veicoli tradizionali, diminuendo quindi uno dei principali ostacoli alla decisione di acquisto. Le politiche di sostegno non si limitano agli incentivi direttamente collegati con il prezzo di acquisto; comprendono anche misure volte a ridurre i costi legati all'utilizzo del veicolo o a facilitarne la circolazione.

Bjerkan, Nørbech e Nordtømme (2016), attraverso un'indagine condotta su quasi 3.400 proprietari di veicoli elettrici a batteria in Norvegia, analizzano l'importanza attribuita a differenti tipologie di incentivi. I risultati mostrano come le esenzioni dalla tassa di acquisto e dall'IVA costituiscano incentivi determinanti per oltre l'80% degli intervistati. Per una parte dei proprietari assumono tuttavia rilievo anche altre misure, come l'esenzione dal pagamento dei pedaggi e la possibilità di utilizzare le corsie riservate agli autobus.

Le differenze nelle politiche adottate possono quindi contribuire a spiegare parte

dell'eterogeneità osservata tra i mercati nazionali. Alcuni Paesi hanno infatti sostenuto con maggiore intensità la transizione verso la mobilità elettrica, mentre in altri gli interventi pubblici sono stati più limitati o introdotti in periodi successivi.

1.3.4 Fattori tecnologici ed energetici

Accanto alle condizioni economiche, alle infrastrutture e alle politiche pubbliche, la diffusione dei veicoli elettrici dipende anche dalle caratteristiche della tecnologia. Tra gli elementi maggiormente considerati dai consumatori rientrano l'autonomia del veicolo, le caratteristiche delle batterie e i tempi necessari per la ricarica.

Liao, Molin e van Wee (2017), ricercatori della Delft University of Technology, attraverso una rassegna degli studi sulle preferenze dei consumatori nei confronti dei veicoli elettrici, evidenziano l'importanza delle caratteristiche tecniche nella decisione di acquisto. In particolare, una maggiore autonomia tende ad aumentare la preferenza dei consumatori verso i veicoli elettrici, mentre tempi di ricarica più lunghi possono rappresentare un elemento di svantaggio rispetto alle automobili tradizionali.

L'evoluzione della tecnologia delle batterie assume quindi particolare importanza, poiché incide indirettamente anche sulle scelte dei consumatori. Nykvist e Nilsson (2019), ricercatori dello Stockholm Environment Institute, e Sprei (2019), ricercatrice della Chalmers University of Technology, analizzano 48 modelli di veicoli elettrici a batteria disponibili ai consumatori a partire dal 1997,

considerando, tra gli altri elementi, autonomia, prezzo e capacità delle batterie. Lo studio evidenzia i progressi compiuti nell'autonomia dei veicoli elettrici a batteria (BEV) e mostra come la riduzione del costo delle batterie possa favorire lo sviluppo di veicoli dotati di maggiore autonomia a prezzi maggiormente competitivi rispetto alle automobili tradizionali.

Alla componente tecnologica si affiancano alcuni fattori legati alle caratteristiche del sistema energetico. In particolare, la composizione delle fonti utilizzate per la produzione dell'energia elettrica può assumere rilievo nel processo di diffusione della mobilità elettrica.

A questo proposito, Minal Chandra (2022), attraverso un'analisi condotta su dieci Paesi nel periodo compreso tra il 2013 e il 2019, considera tra i possibili fattori associati alla domanda di veicoli elettrici anche la quota di energia prodotta da fonti rinnovabili. I risultati evidenziano una relazione positiva tra una maggiore produzione di energia da fonti rinnovabili e la domanda di veicoli elettrici.

1.3.5 Fattori comportamentali e sociali

La scelta di acquistare o meno un veicolo elettrico può essere influenzata anche da fattori legati agli atteggiamenti e alle caratteristiche individuali dei consumatori; tra questi, la letteratura considera la sensibilità verso le tematiche ambientali, il livello di conoscenza dei veicoli elettrici e l'influenza esercitata dal contesto sociale.

Rotaris, Giansoldati e Scorrano (2021), ricercatori dell'Università degli Studi di

Trieste, attraverso un'indagine condotta su 1.934 consumatori in Italia e Slovenia, analizzano, tra gli altri elementi, il ruolo della conoscenza dei veicoli elettrici e della consapevolezza ambientale nella decisione di acquisto. I risultati evidenziano una relazione positiva tra la consapevolezza ambientale e la scelta di un'automobile elettrica, con un effetto più forte nel campione italiano rispetto a quello sloveno.

La decisione del consumatore può inoltre essere influenzata dal contesto sociale nel quale si trova. Le opinioni e i comportamenti delle persone con cui un individuo entra in relazione possono infatti contribuire alla formazione delle proprie preferenze nei confronti di una tecnologia ancora relativamente nuova. Yang e Chen (2021), attraverso uno studio condotto nelle città cinesi di Hangzhou e Linyi, analizzano tre gruppi di fattori socio-psicologici: la conoscenza dei veicoli elettrici e degli incentivi, l'influenza sociale e alcune caratteristiche individuali, tra cui la sensibilità ambientale e la propensione all'innovazione. I risultati mostrano come la conoscenza e la sensibilità ambientale presentino effetti più deboli sulle preferenze rispetto all'influenza sociale e alla propensione all'innovazione. Lo studio evidenzia inoltre come l'importanza di tali fattori possa variare tra i diversi contesti territoriali considerati.

Capitolo 2

ANALISI EMPIRICA

2.1 IL DATASET E LE VARIABILI

L'analisi empirica è stata condotta utilizzando un dataset con struttura panel, composto da 23 Paesi osservati annualmente nel periodo compreso tra il 2015 e il 2023. I Paesi considerati sono Belgio, Canada, Cile, Cina, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Islanda, Italia, Giappone, Corea del Sud, Messico, Paesi Bassi, Norvegia, Polonia, Portogallo, Spagna, Svezia, Svizzera, Regno Unito e Stati Uniti. La combinazione della dimensione individuale, rappresentata dai Paesi, e della dimensione temporale, rappresentata dagli anni, consente di disporre complessivamente di 207 osservazioni.

Il dataset costituisce quindi un panel bilanciato, poiché per ciascuno dei 23 Paesi sono disponibili osservazioni per tutti i nove anni considerati. Il *dataset* è stato costruito integrando informazioni provenienti da diverse fonti. I dati relativi alla diffusione dei veicoli elettrici e alle infrastrutture pubbliche di ricarica provengono dall'International Energy Agency (IEA), attraverso il database del *Global EV Outlook 2026*; quelli relativi al PIL pro-capite provengono invece dalla World Bank, mentre quelli riguardanti la quota di elettricità prodotta da fonti rinnovabili sono tratti da Our World in Data, sulla base dei dati forniti da Ember, un centro di ricerca indipendente specializzato nell'analisi del settore energetico.

Per costruire il dataset finale, le diverse serie sono state associate sulla base del Paese e dell'anno. Il campione comprende i Paesi per i quali risultano disponibili osservazioni complete e comparabili per tutte le variabili considerate nel periodo 2015-2023; la scelta di tale intervallo temporale consente di analizzare una fase particolarmente significativa per il mercato dei veicoli elettrici, caratterizzata da una forte crescita della loro diffusione.

La variabile dipendente utilizzata nell'analisi è *evshare*, che rappresenta la quota percentuale delle vendite di nuove automobili costituita da veicoli elettrici. In base alla definizione adottata dall'IEA, i veicoli elettrici comprendono sia i veicoli elettrici a batteria (BEV) sia i veicoli ibridi plug-in (PHEV). La variabile consente quindi di misurare il grado di diffusione delle automobili elettriche nelle nuove vendite in ciascun Paese e in ciascun anno.

La scelta di utilizzare una quota percentuale, anziché il numero assoluto di veicoli elettrici venduti, permette di confrontare Paesi caratterizzati da mercati automobilistici di dimensioni differenti. Un numero elevato di vendite di veicoli elettrici, infatti, non implica necessariamente una maggiore diffusione degli stessi se il mercato automobilistico complessivo del Paese è molto più ampio.

Le variabili esplicative considerate nel modello sono tre e sono state selezionate sulla base dei principali fattori individuati dalla letteratura analizzata nel capitolo precedente. La prima riguarda le infrastrutture di ricarica ed è rappresentata dal numero di punti di ricarica pubblici disponibili in ciascun Paese. La presenza di

un'infrastruttura di ricarica maggiormente sviluppata può favorire la diffusione dei veicoli elettrici, rendendone più agevole l'utilizzo e riducendo i problemi legati alla disponibilità dei punti di ricarica. Il numero di punti di ricarica presenta valori molto differenti tra i Paesi considerati e una distribuzione caratterizzata da una marcata asimmetria positiva. Per tale motivo, nel modello si utilizza il logaritmo naturale di questa variabile. La trasformazione consente di esprimere le variazioni dell'infrastruttura di ricarica in termini relativi; nel campione analizzato, inoltre, determina una forte riduzione dell'asimmetria della distribuzione, il cui indice passa da 8,50 per la variabile originaria a -0,58 per quella trasformata. La nuova variabile viene indicata con *l_charging*.

La seconda variabile esplicativa considerata è il PIL pro-capite, espresso in Dollari statunitensi correnti. Tale variabile viene utilizzata per tenere conto delle differenze nelle condizioni economiche dei Paesi analizzati. Come evidenziato dalla letteratura discussa nel capitolo precedente, livelli di reddito più elevati possono favorire la diffusione dei veicoli elettrici, anche in considerazione del maggiore costo di acquisto che ha storicamente caratterizzato questa tipologia di veicoli.

Nel modello viene utilizzato il logaritmo naturale di tale variabile, indicato nel dataset con *l_gdppc*. La trasformazione logaritmica consente di esprimere le variazioni del PIL pro-capite in termini relativi e di rendere più agevole l'interpretazione del relativo coefficiente.

La terza variabile esplicativa considerata è la quota percentuale di elettricità

prodotta da fonti rinnovabili sul totale della produzione elettrica, indicata nel dataset con *renewables*. Tale variabile permette di tenere conto delle differenze nella composizione del sistema elettrico dei Paesi analizzati. Una maggiore presenza delle fonti rinnovabili nella produzione di elettricità può essere associata a una maggiore diffusione dei veicoli elettrici, inserendosi in un più generale processo di transizione verso sistemi energetici con minore impatto ambientale.

Una prima analisi delle principali caratteristiche delle variabili considerate può essere effettuata attraverso le statistiche descrittive.

Variabile	Osservazioni	Media	Dev. standard	Minimo	Massimo
evshare	207	12,061	18,243	0,0086	90,000
l_charging	207	8,774	2,275	2,079	14,661
l_gdppc	207	10,504	0,618	9,009	11,636
renewables	207	42,645	25,583	2,775	100,00

Tabella 1 - Statistiche descrittive delle variabili

Le statistiche descrittive evidenziano una notevole eterogeneità tra le osservazioni considerate. La quota delle vendite di automobili elettriche presenta un valore medio pari al 12,06%, con valori compresi tra lo 0,0086% e il 90%. La variabile relativa al logaritmo dei punti di ricarica presenta invece un valore medio pari a 8,77 e valori compresi tra 2,08 e 14,66. Il logaritmo del PIL pro-capite presenta invece un valore medio pari a 10,50, con minimo e massimo rispettivamente pari a 9,01 e 11,64.

Un'ampia variabilità emerge inoltre per la quota di elettricità prodotta da fonti rinnovabili, compresa tra il 2,78% e il 100%.

2.2 SPECIFICAZIONE DEL MODELLO

Dopo aver descritto le principali caratteristiche del dataset e delle variabili considerate, è possibile procedere alla specificazione del modello econometrico utilizzato per analizzare la diffusione dei veicoli elettrici.

La specificazione di base del modello può essere rappresentata nel seguente modo:

$$evshare_{it} = \beta_0 + \beta_1 l_gdppc_{it} + \beta_2 renewables_{it} + \beta_3 l_charging_{it} + u_{it}$$

dove i identifica il Paese e t l'anno di osservazione. La variabile $evshare_{it}$ rappresenta la quota percentuale di automobili elettriche sulle nuove vendite nel Paese i nell'anno t , mentre l_gdppc_{it} , $renewables_{it}$ e $l_charging_{it}$ rappresentano rispettivamente il logaritmo del PIL pro-capite, la quota di elettricità prodotta da fonti rinnovabili e il logaritmo del numero di punti di ricarica pubblici. Il termine u_{it} rappresenta infine la componente di errore del modello.

In una fase preliminare è stato stimato un modello *pooled* OLS, nel quale le 207 osservazioni vengono considerate congiuntamente senza distinguere gli effetti individuali dei singoli Paesi. Sulla stima sono stati effettuati alcuni test diagnostici, che hanno evidenziato la presenza di eteroschedasticità e autocorrelazione nei residui, oltre a possibili problemi di specificazione. Alla luce di tali risultati e

considerando la struttura *panel* del dataset, si ritiene opportuno proseguire l'analisi attraverso modelli in grado di tenere conto dell'eterogeneità individuale non osservata tra i diversi Paesi.

2.3 MODELLI AD EFFETTI INDIVIDUALI

Uno dei principali limiti del modello *pooled* consiste nel fatto che esso non considera gli effetti individuali delle unità osservate. Nel caso analizzato, i 23 Paesi possono presentare caratteristiche individuali differenti, non direttamente osservate, che possono influenzare la diffusione delle automobili elettriche. Per tenere conto di tale eterogeneità vengono quindi considerate due specificazioni alternative: il modello ad effetti fissi e il modello ad effetti casuali.

Oltre all'eterogeneità individuale tra i Paesi, nel periodo 2015-2023 la quota di vendite di automobili elettriche può essere stata influenzata da cambiamenti comuni alle diverse unità osservate che non sono direttamente rappresentati dalle variabili esplicative incluse nel modello. Per tenere conto di tali variazioni vengono introdotte in entrambe le specificazioni delle variabili dummy relative agli anni. Queste consentono di considerare eventuali variazioni della quota di vendite di automobili elettriche che si verificano nel corso del tempo e che interessano in modo comune i diversi Paesi.

Inoltre, considerando la presenza di eteroschedasticità rilevata attraverso i test diagnostici effettuati sulla stima *pooled*, entrambi i modelli vengono stimati

utilizzando errori standard robusti. Tale correzione consente quindi di ottenere un'inferenza robusta rispetto alla presenza di eteroschedasticità.

2.3.1 Modello ad effetti fissi

Il primo approccio utilizzato per tenere conto dell'eterogeneità individuale tra i Paesi è il modello a effetti fissi (*Fixed Effects*, FE). In tale specificazione si considera la presenza di caratteristiche proprie di ciascun Paese che rimangono costanti nel periodo analizzato e che possono influenzare la quota di vendite di automobili elettriche.

Il modello precedentemente specificato assume quindi la seguente forma:

$$evshare_{it} = \alpha_i + \beta_1 l_gdppc_{it} + \beta_2 renewables_{it} + \beta_3 l_charging_{it} + \sum_{j=1}^T \delta_j D_{jt} + \varepsilon_{it}$$

dove α_i rappresenta l'effetto individuale specifico del Paese i , costante nel tempo, mentre D_{jt} rappresenta le dummy temporali relative ai periodi considerati e δ_j i rispettivi coefficienti. La stima dei coefficienti viene effettuata attraverso lo stimatore *within*, che tiene conto e allo stesso tempo elimina gli effetti individuali dal modello attraverso una trasformazione basata sugli scarti delle variabili rispetto ai rispettivi valori medi temporali.

Applicando il modello a effetti fissi ai dati analizzati si ottiene la seguente stima:

Modello 2: Effetti fissi, usando 207 osservazioni

Incluse 23 unità cross section

Lunghezza serie storiche = 9

Variabile dipendente: evshare

Standard errors clustered by unit

	<i>Coefficiente</i>	<i>Errore Std.</i>	<i>rapporto t</i>	<i>p-value</i>	
const	5,50301	202,626	0,02716	0,9786	
l_gdppc	0,624507	19,4673	0,03208	0,9747	
renewables	-0,152049	0,367825	-0,4134	0,6833	
l_charging	-0,509752	2,42346	-0,2103	0,8353	
dt_2	1,76813	1,97596	0,8948	0,3806	
dt_3	3,61179	3,64979	0,9896	0,3331	
dt_4	5,65702	4,39323	1,288	0,2112	
dt_5	13,4496	6,24291	2,154	0,0424	**
dt_6	20,4772	8,54940	2,395	0,0256	**
dt_7	24,3880	9,25277	2,636	0,0151	**
dt_8	29,2421	11,1696	2,618	0,0157	**
Media var. dipendente	12,06097	SQM var. dipendente	18,24269		
Somma quadr. residui	13191,67	E.S. della regressione	8,707136		
R-quadro LSDV	0,807578	R-quadro intra-gruppi	0,592500		
Log-verosimiglianza	-723,7237	Criterio di Akaike	1513,447		
Criterio di Schwarz	1623,427	Hannan-Quinn	1557,922		
rho	0,890793	Durbin-Watson	0,248400		

Test congiunto sui regressori -

Statistica test: $F(3, 22) = 0,0777642$

con $p\text{-value} = P(F(3, 22) > 0,0777642) = 0,971365$

Test di Wald congiunto sulle dummy temporali -

Ipotesi nulla: Effetti temporali assenti

Statistica test asintotica: $\text{Chi-quadro}(7) = 41,7601$

con $p\text{-value} = 5,78324e-07$

I risultati mostrano che, una volta considerate l'eterogeneità individuale tra i Paesi e le variazioni comuni nel tempo attraverso l'inserimento delle dummy temporali, le tre variabili esplicative considerate non risultano statisticamente significative. In particolare, il logaritmo del PIL pro-capite presenta un coefficiente positivo pari a

0,6245, con un p-value pari a 0,9747, mentre la quota di elettricità prodotta da fonti rinnovabili e il logaritmo dei punti di ricarica pubblici presentano coefficienti negativi rispettivamente pari a $-0,1520$ e $-0,5098$ con p-value pari a 0,6833 e 0,8353. Non emerge pertanto, in questa specificazione, una relazione statisticamente significativa tra le tre variabili considerate e la quota di vendite di automobili elettriche. Tale risultato è confermato anche dal test di significatività congiunta sui tre regressori, che restituisce una statistica $F(3, 22) = 0,0778$, con un p-value pari a 0,9714. Non è quindi possibile rifiutare l'ipotesi nulla secondo cui i coefficienti delle tre variabili esplicative siano congiuntamente pari a zero.

Per verificare la rilevanza degli effetti temporali viene inoltre considerato il test di Wald congiunto sulle dummy temporali. L'ipotesi nulla prevede l'assenza di effetti temporali, ovvero che i coefficienti associati alle dummy temporali siano congiuntamente pari a zero. Il test restituisce una statistica $\chi^2(7) = 41,7601$, con un p-value ampiamente inferiore all'1%. L'ipotesi nulla viene quindi rifiutata, evidenziando la significatività congiunta delle dummy temporali e confermando la presenza di variazioni comuni nel tempo nella quota di vendite di automobili elettriche.

Per verificare la presenza di eterogeneità individuale viene utilizzato il test sulla differenza delle intercette (*poolability test*), la cui ipotesi nulla è:

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_{23}$$

Il test restituisce una statistica $F(22, 174) = 8,61404$, con un p-value pari sostanzialmente a 0; l'ipotesi nulla viene pertanto rifiutata. Si rileva quindi la presenza di eterogeneità individuale tra i Paesi considerati e dunque il modello *pooled OLS*, che impone un'unica intercetta comune, risulta troppo restrittivo rispetto alla specificazione ad effetti fissi.

2.3.2 Modello ad effetti casuali

Una specificazione alternativa al modello ad effetti fissi è rappresentata dal modello ad effetti casuali (*Random Effects*, RE). Anche tale modello consente di tenere conto dell'eterogeneità individuale tra i Paesi, ma, a differenza del modello ad effetti fissi, gli effetti individuali vengono considerati come componenti casuali e costituiscono parte del termine di errore del modello.

Il modello può essere rappresentato nel seguente modo:

$$evshare_{it} = \beta_0 + \beta_1 l_gdppc_{it} + \beta_2 renewables_{it} + \beta_3 l_charging_{it} + \sum_{j=1}^T \delta_j D_{jt} + u_{it}$$

dove il termine di errore u_{it} è composto da:

$$u_{it} = \mu_i + \varepsilon_{it}$$

In particolare, μ_i rappresenta l'effetto casuale specifico del Paese i , che varia tra i diversi Paesi ma rimane costante nel tempo, mentre ε_{it} rappresenta la componente di errore che varia tra Paesi e nel tempo. Anche in questa specificazione vengono incluse le dummy temporali, al fine di tenere conto delle variazioni comuni nel

tempo tra i diversi Paesi.

Una condizione fondamentale del modello ad effetti casuali è che gli effetti individuali μ_i siano incorrelati con le variabili esplicative considerate. Sotto tale ipotesi, i coefficienti del modello possono essere stimati attraverso lo stimatore GLS (*Generalized Least Squares*).

Applicando il modello ad effetti casuali ai dati analizzati si ottiene la seguente stima:

Modello 3: Effetti casuali (GLS), usando 207 osservazioni					
Incluse 23 unità cross section					
Lunghezza serie storiche = 9					
Variabile dipendente: evshare					
Standard errors clustered by unit					
	<i>Coefficiente</i>	<i>Errore Std.</i>	<i>z</i>	<i>p-value</i>	
const	-73,9191	43,0196	-1,718	0,0857	*
l_gdppc	6,31792	4,69028	1,347	0,1780	
renewables	0,245145	0,0826312	2,967	0,0030	***
l_charging	0,171333	1,14978	0,1490	0,8815	
dt_2	0,938812	0,810594	1,158	0,2468	
dt_3	1,56575	1,26624	1,237	0,2163	
dt_4	2,87653	1,82658	1,575	0,1153	
dt_5	9,19416	3,25430	2,825	0,0047	***
dt_6	14,9552	3,85059	3,884	0,0001	***
dt_7	18,3391	4,11437	4,457	<0,0001	***
dt_8	21,0680	4,61735	4,563	<0,0001	***
Media var. dipendente	12,06097	SQM var. dipendente	18,24269		
Somma quadr. residui	28997,27	E.S. della regressione	12,13236		
Log-verosimiglianza	-805,2419	Criterio di Akaike	1632,484		
Criterio di Schwarz	1669,144	Hannan-Quinn	1647,309		
rho	0,890793	Durbin-Watson	0,248400		

Test congiunto sui regressori -

Statistica test asintotica: Chi-quadro(3) = 16,1585
con p-value = 0,00105223

Test di Wald congiunto sulle dummy temporali -

Ipotesi nulla: Effetti temporali assenti

Statistica test asintotica: Chi-quadro(7) = 42,7591
con p-value = 3,71256e-07

Test di Hausman -

Ipotesi nulla: le stime GLS sono consistenti

Statistica test asintotica: Chi-quadro(3) = 1,79875
con p-value = 0,615206

I risultati del modello ad effetti casuali mostrano coefficienti positivi per tutte e tre le variabili esplicative considerate. In particolare, il logaritmo del PIL pro-capite e il logaritmo dei punti di ricarica pubblici presentano coefficienti positivi, rispettivamente pari a 6,3179 e 0,1713, ma non risultano statisticamente significativi, con p-value pari rispettivamente a 0,1780 e 0,8815. La quota di elettricità prodotta da fonti rinnovabili presenta invece un coefficiente positivo pari a 0,2451 e risulta statisticamente significativa all'1%, con un p-value pari a 0,0030. Il coefficiente indica che un aumento di un punto percentuale della quota di elettricità prodotta da fonti rinnovabili è associato, a parità delle altre condizioni, a un aumento di circa 0,25 punti percentuali della quota di vendite di automobili elettriche.

Il test di significatività congiunta sui tre regressori restituisce una statistica $\chi^2(3) = 16,1585$, con un p-value pari a 0,0011. L'ipotesi nulla secondo cui i coefficienti

delle tre variabili esplicative siano congiuntamente pari a zero viene pertanto rifiutata, evidenziando la significatività congiunta dei regressori nel modello ad effetti casuali. Anche nel modello ad effetti casuali viene considerato il test di Wald congiunto sulle dummy temporali. Il test restituisce una statistica $\chi^2(7) = 42,7591$, con un p-value ampiamente inferiore all'1%. L'ipotesi nulla di assenza di effetti temporali viene anche in questo caso rifiutata, confermando la significatività congiunta delle dummy temporali e la presenza di variazioni comuni nel tempo nella quota di vendite di automobili elettriche.

2.3.3 Scelta del modello

Dopo aver stimato sia il modello ad effetti fissi sia il modello ad effetti casuali, è necessario stabilire quale delle due specificazioni risulti più appropriata per i dati analizzati. A tale scopo viene utilizzato il test di Hausman, che permette di confrontare i due stimatori.

L'ipotesi nulla del test prevede che lo stimatore GLS utilizzato nel modello ad effetti casuali sia consistente ed efficiente, mentre lo stimatore *within* utilizzato nel modello ad effetti fissi è consistente ma non efficiente. Sotto l'ipotesi alternativa, invece, lo stimatore GLS risulta inconsistente, mentre lo stimatore *within* rimane consistente.

Come riportato nell'output del modello 3, il test di Hausman restituisce una statistica $\chi^2(3) = 1,79875$, con un p-value pari a 0,6152.

Poiché il *p-value* è ampiamente superiore al livello di significatività del 5%, l'ipotesi nulla non viene rifiutata. Il risultato del test porta quindi a preferire il modello ad effetti casuali rispetto al modello ad effetti fissi.

Nell'interpretazione dei risultati ottenuti è tuttavia necessario tenere conto di alcuni limiti dell'analisi. In primo luogo, il modello considera un numero limitato di variabili esplicative e non include quindi alcuni fattori che potrebbero contribuire a spiegare la diffusione delle automobili elettriche. Tra questi rientrano, ad esempio, il prezzo della benzina e del diesel, che può incidere sulla convenienza relativa dei veicoli elettrici rispetto a quelli tradizionali. L'omissione di tali fattori rappresenta quindi un limite della specificazione adottata e deve essere tenuta in considerazione nell'interpretazione dei risultati.

Un ulteriore limite riguarda la dimensione del campione, costituito da 207 osservazioni relative a 23 Paesi nel periodo 2015-2023. La numerosità relativamente contenuta del campione richiede quindi cautela nell'interpretazione dei risultati e rappresenta un aspetto che potrebbe essere approfondito attraverso un ampliamento del numero di Paesi considerati o del periodo di osservazione.

CONCLUSIONI

I risultati ottenuti mostrano che le differenze nella diffusione delle automobili elettriche tra i Paesi considerati non trovano una spiegazione immediata nelle sole condizioni economiche e infrastrutturali. In particolare, il reddito pro-capite e la disponibilità di punti di ricarica non presentano una relazione statisticamente significativa nella specificazione ad effetti casuali adottata come riferimento. Un risultato diverso emerge invece per la componente energetica: una maggiore quota di elettricità prodotta da fonti rinnovabili risulta associata a una maggiore quota di vendite di automobili elettriche. Quest'ultimo risultato assume particolare interesse considerando che la transizione verso la mobilità elettrica e quella verso un sistema energetico maggiormente basato sulle fonti rinnovabili rappresentano due dimensioni dello stesso processo di decarbonizzazione. I risultati mostrano come, nel campione considerato, esse tendano a procedere nella stessa direzione.

Allo stesso tempo, la significatività degli effetti temporali suggerisce che una parte dell'espansione del mercato delle automobili elettriche tra il 2015 e il 2023 sia riconducibile a cambiamenti comuni ai diversi Paesi che le variabili incluse nel modello non riescono a rappresentare direttamente. La forte crescita osservata in questi anni si è infatti verificata parallelamente a numerosi cambiamenti richiamati nel corso del lavoro, tra cui il progresso delle tecnologie delle batterie, l'ampliamento dell'offerta di modelli elettrici e l'introduzione di politiche di sostegno alla transizione. Il modello non permette di attribuire a ciascuno di questi

elementi un effetto specifico, ma proprio la rilevanza della componente temporale indica che limitare l'interpretazione della diffusione degli EV alle sole caratteristiche economiche o infrastrutturali dei singoli Paesi sarebbe riduttivo.

I risultati ottenuti evidenziano quindi come le determinanti della diffusione delle automobili elettriche non sembrano agire in maniera isolata. La relazione significativa emersa per la componente energetica si accompagna infatti alla rilevanza delle *dummy* temporali; le differenze nella diffusione delle automobili elettriche tra i diversi Paesi sembrano pertanto inserirsi in un processo più ampio, nel quale le caratteristiche dei singoli mercati si affiancano a trasformazioni che interessano contemporaneamente il settore automobilistico e il sistema energetico. Da questo punto di vista, i limiti dell'analisi indicano anche una possibile direzione per approfondire il fenomeno. L'introduzione di variabili in grado di rappresentare direttamente le politiche di incentivazione, l'evoluzione dei prezzi e delle caratteristiche dei veicoli, il progresso tecnologico e il prezzo dei carburanti tradizionali, come benzina e diesel, potrebbe consentire di comprendere meglio quella componente della crescita del mercato che nel modello viene assorbita dagli effetti temporali. Inoltre, un ampliamento del numero di Paesi e del periodo di osservazione permetterebbe di verificare se le relazioni emerse tra il 2015 e il 2023 si mantengano anche su un campione più ampio ed in una fase più matura del mercato delle automobili elettriche, contribuendo così a comprendere meglio i fattori che accompagnano l'evoluzione della mobilità elettrica nel lungo periodo.

BIBLIOGRAFIA

Bjerkan, K. Y., Nørbech, T. E., & Nordtømme, M. E. (2016). *Incentives for promoting Battery Electric Vehicle (BEV) adoption in Norway*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 43, 169–180
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.12.002>

Chandra, M. (2022). *Investigating the impact of policies, socio-demography and national commitments on electric-vehicle demand: Cross-country study*. Journal of Transport Geography, 103, 103410.
<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103410>

Coffman, M., Bernstein, P., & Wee, S. (2017). *Electric vehicles revisited: a review of factors that affect adoption*, Transport Reviews, 37(1), 79–93,
<https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1217282>

Falchetta, G., & Noussan, M. (2021). *Electric vehicle charging network in Europe: An accessibility and deployment trends analysis*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 94, 102813.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102813>

International Energy Agency (IEA) (2024). *Global EV Outlook 2024: Moving towards increased affordability*, Paris. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>

- International Energy Agency (IEA) (2026).** *Global EV Outlook 2026*, Paris.
<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/global-ev-outlook-2026>
- Liao, F., Molin, E., & van Wee, B. (2017).** *Consumer preferences for electric vehicles: a literature review*, *Transport Reviews*, 37 (3), 252–275.
<https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1230794>
- Nykvist, B., Sprei, F., & Nilsson, M. (2019).** *Assessing the progress toward lower priced long range battery electric vehicles*. *Energy Policy*, 124, 144–155.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.09.035>
- Our World in Data.** Renewable Energy. <https://ourworldindata.org/renewable-energy>
- Rezvani, Z., Jansson, J., & Bodin, J. (2015).** *Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda*, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 34, 122–136.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.010>
- Rotaris, L., Giansoldati, M., & Scorrano, M. (2021).** *The slow uptake of electric cars in Italy and Slovenia. Evidence from a stated-preference survey and the role of knowledge and environmental awareness*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 144, 1–18.
<https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.11.011>
- Sæther, S. R. (2022).** *Mobility at the crossroads – Electric mobility policy and charging infrastructure lessons from across Europe*. *Transportation Research Part*

A: Policy and Practice, 157, 144–159. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.01.010>

U.S. Department of Energy (2014). *The History of the Electric Car.*

<https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>

World Bank. GDP per capita (current US\$).

<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD>

Xue, C., Zhou, H., Wu, Q., Wu, X., & Xu, X. (2021). *Impact of Incentive Policies and Other Socio-Economic Factors on Electric Vehicle Market Share: A Panel Data Analysis from 20 Countries.* Sustainability, 13(5), 2928.

<https://doi.org/10.3390/su13052928>

Yang, J., & Chen, F. (2021). *How are social-psychological factors related to consumer preferences for plug-in electric vehicles? Case studies from two cities in China.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 149, 111325.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111325>

RINGRAZIAMENTI

Alla mia famiglia, per esserci sempre stata. Per avermi sostenuto non soltanto nei momenti belli, ma soprattutto nei miei sfoghi, nelle mie paure e nei momenti in cui io stesso facevo fatica a vedere le cose con chiarezza. Grazie per aver ascoltato ogni mio dubbio, per aver sopportato le mie insicurezze e per avermi lasciato libero di trovare la mia strada, senza mai farmi mancare il vostro sostegno.

Alla mia seconda famiglia: Top, Ske, Velo, Luna, Viso, Samu, Dani, Asca. Siete probabilmente il regalo più bello che mi hanno lasciato questi tre anni. Sono arrivato qui in un momento della mia vita in cui avevo bisogno, forse senza nemmeno saperlo, di ritrovare fiducia nelle persone. Fin da subito mi avete accolto, coinvolto e fatto sentire parte di qualcosa.

Grazie per tutte le risate, le serate, i momenti passati insieme e per tutti quei ricordi che rimarranno per sempre con me. Ma soprattutto grazie per esserci stati anche al di fuori dei momenti belli: per aver ascoltato le mie infinite paranoie, per avermi sopportato nei miei momenti peggiori e per non avermi mai fatto sentire fuori posto. Ognuno di voi, a modo suo, mi ha lasciato qualcosa e ha contribuito a rendere questi tre anni molto più di un semplice percorso universitario. Grazie per avermi fatto sentire a casa.

A tutti gli altri amici e compagni incontrati in questi anni, in particolare: Giorgia, Elisa, Federica, Rikardo

Grazie per aver condiviso con me questo percorso. Grazie per le chiacchiere tra una lezione e l'altra, per le pause diventate più lunghe delle lezioni, per le partite a briscola, per le risate e per tutti quei piccoli momenti che hanno reso più leggere anche le giornate più pesanti. Avete contribuito a rendere questi tre anni qualcosa di molto più bello di un semplice percorso universitario.

Inoltre, un grazie speciale al Professor Giulio Palomba, per la disponibilità, i consigli e la fiducia dimostrati durante la realizzazione di questo lavoro. Un grazie particolare per le belle parole che ha speso nei miei confronti e sul lavoro svolto: riceverle al termine di questo percorso ha rappresentato per me una grande soddisfazione e ha dato ancora più valore a questo traguardo.

Infine, grazie a me stesso, per essere esattamente così come sono.