

ISSN 2282-6599

RIVISTA DI ECONOMIA E POLITICA DEI TRASPORTI

Anno 2017
Numero 2, Articolo 5

R.E.PO.T



SIET

Rivista Scientifica della Società
Italiana di Economia dei Trasporti e della
Logistica

LA STIMA DELLA DOMANDA DI AUTO ELETTRICHE BASATA SULLA METANALISI

Marco Giansoldati^{1*}, Lucia Rotaris¹, Romeo Danielis¹, Mariangela Scorrano¹

¹ *Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali, Matematiche e Statistiche "Bruno de Finetti"
Università degli Studi di Trieste*

Il presente contributo utilizza 36 studi primari per ricavare, tramite la tecnica della metanalisi, i valori dei coefficienti della funzione di domanda di auto elettriche in Italia. Gli studi primari, realizzati a livello internazionale a partire dal 1980, si basano su dati di preferenza dichiarata. La metanalisi permette di calcolare il *summary effect* per il prezzo di acquisto, efficienza energetica, i costi operativi e le emissioni (attributi generici), l'accelerazione, il tempo di ricarica e l'autonomia di percorrenza (attributi specifici). Si ipotizza che i coefficienti calcolati si distribuiscano in modo stocastico e vengono impiegati per confrontare coppie di veicoli della stessa marca, uno con alimentazione elettrica e l'altro con alimentazione non elettrica. I risultati mostrano che 1) a livello di *status quo* l'opzione elettrica è scelta con limitata frequenza, con un valore minimo di 1.33% per la Renault Zoe Life Q90 Life ed uno massimo di 2.54% per la BMW i3 125 kW 94 Ah, talvolta sottostimando o sovrastimando le effettive quote di mercato del veicolo elettrico rispetto al corrispettivo non elettrico della marca analizzata; 2) il raddoppio dell'autonomia determina un incremento della probabilità di acquisto maggiore rispetto all'introduzione di un sussidio che è a sua volta, notevolmente superiore all'effetto delle emissioni; 3) l'inclusione dei costi operativi determina una fortissima preferenza per le auto elettriche con probabilità superiori al 9%. Alla luce dei risultati ottenuti con il modello da noi elaborato, la concessione del sussidio non pare essere decisiva per la penetrazione dei veicoli elettrici per cui se ne raccomanda un uso mirato a quei settori in cui l'efficacia è più elevata (taxi e trasporto urbano delle merci). L'incentivazione a favore della ricerca pubblica e privata finalizzata allo sviluppo di batterie che consentano una maggiore autonomia di percorrenza è una misura importante. Le politiche di internalizzazione dei costi ambientali e di regolamentazione all'accesso basata su criteri di efficienza ambientale sono necessarie per stimolare la penetrazione dei veicoli elettrici. Gli strumenti comunemente adottati per rendere vantaggiose le automobili elettriche in termini di costo totale del possesso - quali l'azzeramento della tassa annuale di circolazione e dei costi di accesso e parcheggio ai centri storici, ormai sperimentati in diverse città italiane - sono decisamente da confermare e rafforzare.

Parole Chiave: metanalisi, auto elettriche, auto endotermiche, scenari

* Autore a cui inviare la corrispondenza: Marco Giansoldati (mgiansoldati@units.it)

1 Introduzione

Il tema della mobilità elettrica ha riscosso e sta suscitando notevole interesse nel dibattito sulla sostenibilità ambientale nel settore dei trasporti delle persone e delle merci, con rapidi e interessanti prese di posizione da parte di governi e case automobilistiche.¹ Alcune nazioni industrializzate hanno realizzato e si apprestano a realizzare piani per l'incentivazione della diffusione di veicoli elettrici.² Anche paesi emergenti come la Cina hanno deciso di passare ad una mobilità completamente elettrica in alcune grandi città. Alcune case automobilistiche hanno da sempre puntato sulla realizzazione di auto elettriche, come nel caso della Tesla, mentre le tradizionali imprese costruttrici di auto endotermiche offrono da alcuni anni modelli a trazione elettrica, come nel caso di Volkswagen, Nissan, e Renault per citarne alcune. Altri costruttori, invece, hanno annunciato la completa eliminazione della produzione di auto endotermiche nel breve periodo, come Daimler e Volvo.

Il grado di penetrazione dei veicoli elettrici tra diversi paesi in eterogenee aree del mondo è molto differenziato. Ciò in virtù di diverse politiche di incentivazione, ma anche di diversità nella percezione degli attributi da parte dei potenziali acquirenti. Si rileva, ad esempio, che la diffusione dei veicoli elettrici è crescente in paesi emergenti come la Cina, ma anche in alcune nazioni dell'Europa Occidentale come Regno Unito, Germania e Francia per giungere a ben il 60% nel caso della Norvegia, grazie alla presenza di generosi sussidi di acquisto che arrivano fino a 20.000 Euro. Altri Paesi, ad esempio l'Italia, ricoprono una posizione di arretratezza, con percentuali che si attestano sullo 0,2% del totale per il periodo tra gennaio e settembre 2018 e dello 0,4% per il solo mese di settembre 2018, anche se in apprezzabile crescita rispetto allo 0,1% dello stesso mese del 2017 (UNRAE, 2018).

È quindi particolarmente interessante comprendere quali caratteristiche ed in quale misura, specifici attributi dei veicoli elettrici ne influenzano le dinamiche di acquisto. Sin dagli anni '80 diversi studi sono stati condotti per cercare di comprendere le motivazioni che determinano la scelta tra un veicolo endotermico ed uno elettrico, con una sempre maggiore varietà di attributi, spesso giustificati dall'evoluzione tecnologica.

Il nostro contributo si differenzia in maniera netta dalla precedente letteratura che ha impiegato questionari ed esperimenti su individui per definire la probabilità di scelta di un veicolo elettrico rispetto ad un corrispondente endotermico. Proponiamo, infatti, di utilizzare le informazioni raccolte da una pluralità di studi attraverso un esercizio di metanalisi per calcolare dei coefficienti di correlazione da impiegare in un esercizio simulativo, attraverso il quale comparare cinque coppie di veicoli, l'elettrico ed il corrispondente non-elettrico, ma dello stesso *brand*.

In prima battuta, il nostro lavoro impone di realizzare una selezione dei contributi che hanno analizzato gli attributi rilevanti a spiegare l'opzione di scelta, evidenziando differenze e similarità tra studi diversi. Questo tipo di operazione rappresenta un passo necessario per la reale comprensione della metanalisi, nata in un contesto medico e poi diffusasi alle scienze sociali.³

La preliminare osservazione dei contributi ci permette di registrare una notevole eterogeneità tra di essi ed una significativa difficoltà nel realizzare una comparazione tra diversi attributi scevra da dubbi, imprecisioni ed inaccuratezze. Ciò deriva sicuramente da almeno da cinque ragioni che

¹ La discussione sull'impatto ambientale della mobilità elettrica è estremamente attiva in ambito accademico, nel mondo ed in Italia. Per il caso italiano si rimanda ai seguenti lavori. Danielis e Giansoldati (2017a), propone il confronto tra le emissioni di CO₂ generate dall'alimentazione delle auto elettriche e di quelle endotermiche più vendute nel nostro Paese. Danielis e Giansoldati (2017b), include la valutazione dell'impatto ambientale nel calcolo del costo totale di possesso per il consumatore e per la società, sia per veicoli tradizionali sia per quelli elettrici.

² All'interno di questo contributo le espressioni veicoli ed auto verranno utilizzate in modo intercambiabile, come se fossero sinonimi.

³ A differenza, però delle analisi cliniche, in cui viene misurato, ad esempio, l'effetto di farmaci differenziati su campioni di individui altrettanto distinti, nel campo di studi in cui ci troviamo è presente un elemento che rende più arduo il nostro compito. Ciò consiste nel fatto che la risposta dell'intervistato dipende fortemente da come l'indagine è strutturata e da come viene somministrata. Di conseguenza l'esito dell'esercizio di scelta è influenzato in modo determinante da una componente soggettiva, ovvero il metodo di indagine preferito da parte dello studioso.

richiameremo nell'articolo. La prima consiste nell'utilizzo di variabili esplicative diverse da un contributo ad un altro, con un numero e natura di regressori che sono normalmente differenti da un contributo all'altro. La seconda risiede nella diversità delle metriche impiegate per la misurazione anche della stessa covariata. La terza riguarda l'impiego di difformi metodi di stima e, quindi, l'utilizzo di diversi metodi econometrici. La quarta concerne il paese e il periodo oggetto di indagine e la quinta riguarda il metodo di raccolta dei dati.

La restante parte del contributo è organizzata come segue. La Sezione 2 introduce la metanalisi e ne descrive l'opportunità di utilizzo. La Sezione 3 fornisce indicazione sulle modalità di scelta degli attributi. La Sezione 4 fornisce la descrizione del calcolo dei *summary effect*, mentre la Sezione 5 propone la stima della domanda di auto elettrica. La Sezione 6 conclude e fornisce suggerimenti per il decisore pubblico.

2 Definizione di metanalisi e *summary effect*

Prima degli anni '90 il processo di sintesi di numerosi contributi avveniva per mezzo di rassegne di tipo narrativo in cui uno studioso della materia leggeva un insieme di lavori che si occupavano di una specifica domanda di ricerca, li riassumeva e poi giungeva ad una conclusione, ad esempio relativa all'effetto di un trattamento medico, più in generale definito come *effect size* (dimensione dell'effetto). Questo tipo di approccio però soffriva di due limiti. Il primo era la soggettività nell'inclusione degli studi e la limitata trasparenza nella loro selezione. Il secondo era il numero sempre crescente di contributi e la conseguente difficoltà nel realizzare una sintesi soddisfacente.

Per questi motivi ci si è successivamente orientati verso le rassegne sistematiche e la metanalisi. Nelle rassegne sistematiche viene specificato un chiaro elenco di regole da seguire per la ricerca degli studi, così come per determinare quelli che devono essere inclusi o esclusi dall'analisi. Sebbene vi siano ancora degli elementi di soggettività nella scelta degli criteri, le rassegne sistematiche presentano certamente una maggior trasparenza rispetto al metodo narrativo. Infatti, una caratteristica importante di molte rassegne sistematiche è la sintesi statistica dei dati, o metanalisi, in cui i pesi assegnati ad ogni studio sono definiti sulla base di criteri matematici precedentemente specificati (Glass, 1976; Borenstein et al., 2009). Ciò consente di ottenere un'analisi trasparente, scevra di soggettività, e replicabile da altri studiosi.

Gran parte delle metanalisi si basano su due modelli statistici, quello ad effetti fissi e quello ad effetti casuali. Nel primo si assume che esista un unico vero *effect size* che contraddistingue tutti gli studi nell'analisi, e che tutte le differenze tra gli effetti osservati siano dovute ad un errore di campionamento. Diversamente, nel secondo si permette che il vero effetto possa variare da uno studio all'altro, ad esempio in base alle caratteristiche dei soggetti ivi analizzati (per effetto di diversi livelli di istruzione, salute, etc.), ma anche in base alle modalità di realizzazione di un dato intervento (ad esempio un trattamento clinico). Se fosse possibile realizzare un numero infinito di studi, allora il vero *effect size* ad essi relativo dovrebbe essere distribuito attorno ad una media.

L'*effect size* nella metanalisi è un indicatore della forza e della direzione che caratterizza le relazioni tra variabili. Le metodologie di calcolo più frequentemente utilizzate per il calcolo degli *effect size* includono proporzioni, medie e coefficienti di correlazione. La scelta del metodo preferito per il calcolo degli *effect size* dipende dall'obiettivo dello studio di metanalisi e dalla tipologia dei dati trattati. Studi che si occupano di analizzare gli effetti di un trattamento o di fare dell'inferenza si affidano a proporzioni e medie, mentre quelli che si occupano di analizzare delle relazioni si basano su correlazioni (Cohen et al., 2007).

In quest'ultimo caso, per studi che riportano la correlazione tra due variabili, il coefficiente di correlazione funge da *effect size*. La stima del parametro di correlazione ρ è il coefficiente di correlazione del campione, indicato con la lettera r , la cui varianza è approssimativamente pari a:

$$V_r = \frac{(1-r^2)^2}{n-1}, \quad (1)$$

quando n è la dimensione del campione.

Molte metanalisi non realizzano una sintesi di fatto sul coefficiente di correlazione perché la varianza dipende fortemente dalla correlazione. Diversamente, la correlazione è convertita nella

scala z di Fisher e tutte le analisi sono condotte utilizzando i valori trasformati. Il risultato, definito come *summary effect* (effetto sintetico) e il suo intervallo di confidenza, vengono poi convertiti nuovamente in correlazioni.

Formalmente, la trasformazione della correlazione r del campione nella z di Fisher avviene secondo la seguente relazione:

$$z = 0.5 * \ln\left(\frac{1+r}{1-r}\right). \quad (2)$$

La varianza di z può essere approssimata come segue:

$$V_z = \frac{1}{n-3}, \quad (3)$$

e il suo errore standard come segue:

$$SE_z = \sqrt{V_z}. \quad (4)$$

Quando si lavora con la z di Fisher non si fa uso della varianza per la correlazione. Diversamente, il valore della z di Fisher e la sua varianza sono impiegati nell'analisi che permette di ottenere il *summary effect*, gli intervalli di confidenza (ed altri parametri) nella metrica della z di Fisher. È quindi poi necessario riconvertire ognuno di questi valori dalla metrica della z di Fisher alla correlazione utilizzando la seguente relazione:

$$r = \frac{e^{2z}-1}{e^{2z}+1}. \quad (5)$$

Nel nostro caso l'obiettivo non è realizzare una comparazione tra correlazioni, bensì effettuare una sintesi tra i coefficienti di regressione impiegati nei diversi studi. Si tratta, tuttavia, di un aspetto che la ricerca sulla metanalisi ha affrontato solo più recentemente con il lavoro di Becker (2007). L'autrice afferma che la minore attenzione degli studiosi sull'argomento dipende dalla complessità che la sintesi dei beta di regressione presenta. Questa è sostanzialmente ascrivibile a tre principali motivi. Il primo riguarda l'uso di metriche non equivalenti per la misurazione delle covariate e delle variabili dipendenti tra diversi studi (ad esempio espresse con diverse funzionali – lineare, logaritmica, etc). Il secondo concerne l'inequivocabile diversità dei modelli scelti dallo studioso per analizzare una specifica relazione, che determinano ovviamente una diversa scelta di quali regressori impiegare. Il terzo riguarda più genericamente l'assenza di informazioni nelle elaborazioni riportate negli studi.

Per ovviare a questi problemi Becker (2007) indica che in letteratura sono stati proposti almeno otto diversi metodi per realizzare una sintesi dei beta, di cui due devono esser esclusi perché richiedono l'accesso ai dati impiegati negli studi primari. Nel nostro caso siamo in presenza di numerosi coefficienti di regressione in cui le variabili dipendenti possono essere espresse con metodi e metriche eterogenei. Di conseguenza il semplice raggruppamento (*pooling*) dei coefficienti non è lo strumento migliore, ma è invece più appropriato l'uso di coefficienti di regressioni standardizzati come suggerito da Becker (2007) nel secondo modello proposto per trattare questo genere di dati. Il coefficiente standardizzato è descritto dalla seguente relazione:

$$b_j^* = b_j \frac{S_{X_j}}{S_Y}, \quad (6)$$

con b_j pari al coefficiente non standardizzato per il j^{esimo} attributo e S_Y , S_{X_j} pari alla deviazione standard della variabile dipendente e del j^{esimo} attributo. Il coefficiente standardizzato può essere impiegato come stima dell'*effect size* quando l'attributo è misurato con unità di misura diverse negli studi considerati. I coefficienti standardizzati sono stati quindi normalizzati e pesati per il numero di osservazioni utilizzate per la loro stima e possono essere utilizzati per il calcolo del *summary*

effect. Il processo di standardizzazione può quindi essere effettuato solo in presenza dei livelli degli attributi di interesse, ed, in loro assenza sarà necessario eliminare i contributi dal calcolo dei *summary effect*.⁴

Gli studi di metanalisi sono accompagnati da un esame dell'eterogeneità che mostra come la dimensione di un effetto muti da uno studio ad un altro. I test sull'eterogeneità consentono di verificare se l'effetto identificato nei diversi studi derivi da un errore di campionamento oppure se a quest'ultimo deve essere aggiunta una componente ascrivibile ad una differenza sistematica tra gli studi. I diversi *effect size* degli studi introdotti nella meta analisi rendono infatti necessario definire la dimensione della varianza tra distribuzioni. È possibile testare l'eterogeneità attraverso numerosi strumenti. Una tecnica molto diffusa è quella che suggerisce di calcolare la statistica *Q* che mira a trovare il livello di significatività delle differenze osservate negli studi. Vi è inoltre il test I^2 , il rapporto tra le distribuzioni osservate, che può assumere valori tra lo 0% e il 100%, ad indicare crescenti gradi di eterogeneità tra i contributi.

La metanalisi ha riscosso crescente popolarità negli studi relativi all'economia dei trasporti negli ultimi due decenni, durante i quali è stata impiegata per studiare l'offerta e la domanda di trasporti pubblici (e.g. Brons et al., 2005; Holmgren, 2007), le esternalità derivanti dall'attività di trasporto (Nelson, 2004; Quinet, 2004), e, più recentemente, la valutazione delle variazioni nell'autonomia di percorrenza (Dimitropoulos et al., 2013). È, inoltre, a nostro parere, un utile strumento per identificare dei risultati di sintesi utili per realizzare un esercizio simulativo sulla domanda di auto elettriche.

3 Gli attributi

Il processo di selezione dei contributi ci ha permesso di isolare 36 contributi che coprono un orizzonte temporale che va dal 1980 fino ad oggi. Il nostro sforzo si è concentrato nel recupero, per ciascun contributo, del valore assunto dagli attributi più frequentemente studiati all'interno della letteratura sugli esercizi di scelta tra veicoli con diversa alimentazione. In questo processo abbiamo notato che alcuni attributi hanno più spesso di altri raccolto l'attenzione degli studiosi, ovvero il prezzo di vendita, i consumi e l'autonomia, mentre altri lo sono stati con una frequenza inferiore, come, l'accelerazione, le emissioni inquinanti ed i tempi di ricarica.⁵

Al fine di esporre in modo sintetico quali sono gli attributi studiati nei succitati contributi riportiamo in appendice nella Tabella 14 l'elenco dei contributi ed una breve descrizione delle covariate impiegate che verranno poi in dettaglio delineate nel testo che segue.

L'analisi dei contributi ci ha permesso di suddividerli in sei gruppi differenti, riportati in Tabella 1.

⁴ La puntuale descrizione della metodologia impiegata è riportata nell'Appendice metodologica.

⁵ Si noti che lo scopo primario del presente lavoro non è quello di realizzare una metanalisi che fornisca in dettaglio i criteri di ricerca dei contributi. Infatti, i contributi qui utilizzati derivano da una metanalisi già condotta e descritta puntualmente in Danielis et al. (2018), a cui si rimanda, e dalla quale sono stati selezionati buona parte dei lavori qui riportati, mentre per i pochi non ivi riportati si è realizzata una ricerca bibliografica integrativa.

Tabella 1. Attributi considerati e relative metriche

Attributi considerati	Metriche (No. Studi)
<i>Prezzo</i>	Valore monetario (34)
<i>Efficienza energetica</i>	efficienze energetica per unità di distanza, litri per km, prezzo al litro (15)
<i>Costi operativi</i>	costi operativi annuali in valore assoluto, costi operativi annuali per unità di distanza, costi operativi mensili in valore assoluto, costi operativi mensili per unità di distanza, costi operativi annuali + costi di manutenzione, contributi mensili di spesa dei dipendenti per auto in leasing (18)
<i>Autonomia</i>	Distanza massima percorribile (34)
<i>Accelerazione</i>	Secondi per raggiungere 100 km/h (oppure 60 miglia orarie), secondi per raggiungere 30 miglia orarie, informazioni qualitative (confronto tra accelerazione auto elettriche e non-elettriche) (11)
<i>Emissioni</i>	Grammi di CO ₂ , di NO _x , o PM ₁₀ (19)
<i>Tempo di ricarica/rifornimento</i>	Minuti per ricaricare almeno l'80% della batteria o per effettuare il pieno. (9)

3.1 Il prezzo di vendita

L'attributo prezzo è presente nella quasi totalità dei contributi. Vi sono numerosi fattori che rendono ardua la comparazione tra studi. La prima è l'impiego di valute diverse in base al paese in cui è stata realizzata l'indagine. La seconda riguarda il diverso potere d'acquisto in differenti nazioni. La terza consiste nella presenza di un diverso tasso di inflazione nei diversi paesi studiati.

Il prezzo di un veicolo, sebbene presentato in termini assoluti in diversi contributi, può inoltre essere espresso in scale diverse, ad esempio in centinaia o migliaia dell'unità monetaria di riferimento. Può essere definito anche in proporzione al valore di un altro veicolo, ad esempio indicando dei livelli per le auto elettriche che sono percentualmente più elevati o più bassi rispetto a quelli di comparabili auto endotermiche a benzina, diesel, gas o ibride. Inoltre la forma funzionale con cui viene espresso può essere lineare, *piecewise*, logaritmica, quadratica o cubica, e può essere arricchita con termini di interazione con altri attributi. Anche i modelli utilizzati per stimare il coefficiente del prezzo sono differenti sebbene vi sia una prevalenza dei modelli multinomial logit, mixed logit e nested logit.

3.2 L'efficienza energetica

L'eterogeneità che caratterizza la descrizione dei consumi deriva dalle numerose e diverse modalità con cui esso è stato definito negli articoli analizzati.

Una modalità coincide con l'efficienza energetica per unità di distanza che si riferisce al costo sostenuto per acquistare il carburante necessario per coprire uno specifico kilometraggio. Si tratta quindi di un concetto non solo tecnico, perché alla quantità di carburante richiesta per soddisfare la necessità di spostamento su una certa distanza si associa la spesa necessaria per l'acquisto del combustibile o dell'energia elettrica.

I lavori che analizzano come questo attributo influenza le preferenze degli utenti nella scelta tra veicoli elettrici ed endotermici (non limitandosi alla mera efficienza tecnica, né al solo costo del carburante al litro – o dell'energia al kilowatt) sono Bunch et al. (1993); Ramjerdi e Rand (1999); Brownstone et al. (2000); Knockaert (2010); Ziegler (2012); Daziano (2013); Hackbarth e Madlener

(2013, 2016); Jensen et al. (2013); Bahamonde-Birke e Hanappi (2016); Cherchi (2017). Rientra in questa categoria anche l'articolo pionieristico di Golob et al. (1997), che vent'anni fa considerava per i veicoli elettrici il costo per la ricarica durante il giorno oppure durante la notte, mentre per quelli endotermici indicava il costo del rifornimento in centesimi per miglio. Vi rientra chiaramente anche un altro lavoro pionieristico da parte di Beggs et al. (1981), in cui si esaminano i costi sostenuti per il solo carburante durante l'anno supponendo una percorrenza di 10,000 miglia.

Diversa è invece la strategia seguita da Hidrue et al. (2011) e Parsons et al. (2011) che propongono all'intervistato solo l'informazione relativa al prezzo di un litro di carburante o di un Kwh. Diversa è anche la proposta di Dagsvik et al. (2002) che descrivono qual è il consumo in litri di carburante o in Kwh, ma non la spesa sostenuta per coprire una certa distanza.

3.3 I costi operativi

I costi operativi per unità di distanza rappresentano una seconda modalità con cui si possono considerare i consumi di veicoli con diversa alimentazione.

Tali costi si riferiscono alle spese sostenute per l'acquisto di carburante, manutenzioni e riparazioni, tassa di circolazione, e premio assicurativo, imputabili ad una determinata percorrenza. Si tratta, ovviamente di un concetto che comprende un numero di componenti di costo superiore all'efficienza energetica. È importante tenerne conto perché i veicoli elettrici ed endotermici presentano livelli molto diversi 1) del costo dell'energia destinata alla trazione, 2) della manutenzione, visto il minor numero di parti mobili delle auto elettriche, e 3) delle tasse di circolazione e assicurazione, considerata l'esenzione dal pagamento del bollo di cui i possessori dei veicoli elettrici possono godere, unita, recentemente, ai premi più contenuti rispetto a quelli pagati dai possessori di auto endotermiche.

All'interno di questa categoria ricadono contributi dotati di una certa omogeneità e che riportano i costi operativi annuali o mensili espressi in valori assoluti. Tra questi possiamo distinguere quelli che riportano l'ammontare delle spese per una certa percorrenza, da quelli in cui invece non è assunta. Tra i primi lavori ricadono Beggs e Cardell (1980) che assumono una percorrenza annuale di 10.000 miglia, Christensen et al. (2012) che ipotizzano una percorrenza annuale di 18.000 km, Valeri e Danielis (2015) e Giansoldati et al. (2018) nei cui lavori si assume una percorrenza annuale di 10.000 km. Tra i secondi includiamo i contributi di Ewing e Sarigöllü (1998), Train e Weeks (2005), Hess et al. (2006), Mabit e Fosgerau (2011) Hoen e Koetse (2014).

Altri lavori sono difficilmente ascrivibili alle classificazioni sopra proposte sebbene per ragioni difformi, ma presentano, tra loro, elementi di omogeneità.

È questo il caso di Calfee (1985) che considera non solo il costo del carburante, ma anche le spese per la sostituzione periodica della batteria, però esclude l'ammortamento e le spese per interessi, e quello di Link et al. (2012), che includono i *running costs*, ovvero il consumo di carburante, le spese assicurative, i costi di riparazione e le tasse per 100 km, senza un orizzonte temporale di riferimento

Non rientrano nelle classificazioni poco sopra proposte, ma doverosi da richiamare per esigenze di completezza quegli articoli in cui i costi operativi annuali e le spese di manutenzione vengono considerati in modo separato, includendo nei primi le spese per il carburante, l'assicurazione ed il bollo, e nei secondi i puri costi di manutenzione (Ewing e Sarigöllü, 2000; Potoglu e Kanaroglou, 2007; Hess et al., 2012). Vi è inoltre il lavoro di Tompkins et al. (1998) che considera esplicitamente come i costi operativi, registrati annualmente, siano composti da quattro elementi, il cui effetto sul processo di scelta è separatamente identificato. Essi includono il costo del carburante alla stazione per le auto endotermiche, il costo della ricarica realizzato a livello domestico per le auto elettriche, un costo di manutenzione (comune tra i tipi di alimentazione), nonché il prezzo per la sostituzione delle batterie.

Sono infine atipici rispetto al resto dei lavori analizzati due articoli, cioè Chorus et al. (2013) e Dimitropoulos et al. (2016) in cui i costi sono descritti in termini di ammontare dei contributi di spesa che i dipendenti a cui è stata assegnata un'auto in leasing devono provvedere, ad esempio con cadenza mensile.

3.4 L'autonomia di percorrenza

La varietà dell'attributo autonomia nella letteratura determina il raggruppamento degli articoli in tre grandi gruppi. Il primo e più numeroso è quello che utilizza l'attributo autonomia di percorrenza senza distinguere fra i veicoli elettrici ed i veicoli a combustione interna, questi articoli sono classificati perciò come "generici" in Tabella 14. In questo gruppo vanno annoverati i lavori di Beggs et al. (1981), Bunch et al. (1993), Golob et al. (1997), Tompkins et al. (1998), Ewing e Sarigöllü (1998), Brownstone et al. (2000), Dagsvik et al. (2002), Train e Weeks (2005), Hess et al. (2006), Knockaert (2010), Mabit e Fosgerau (2011), Christensen et al. (2012), Hess et al. (2012), Chorus et al. (2013), Tanaka et al. (2014), Hackbarth e Madlener (2016).

Il secondo gruppo, invece, utilizza valori differenti dell'attributo relativo alle auto elettriche e a quelle a combustione interna, fra questi si citano Ramjerdi e Rand (1999), Ewing e Sarigöllü (2000), Ziegler et al. (2012), Hackbarth e Madlener (2013), Jensen et al. (2013), Hoen e Koetse (2014), Valeri e Danielis (2015), Dimitropoulos et al. (2016), Cherchi (2017) e Giansoldati et al. (2018).

Infine, il terzo gruppo è composto da contributi che analizzano l'autonomia di percorrenza per le sole auto elettriche ed è etichettato come "EV-specifico" in Tabella 14. La lista dei lavori di interesse include in questo caso Calfee (1985), Hidrue et al. (2011), Parsons et al. (2011), Link et al. (2012), Daziano (2013), Daziano e Chew (2012), Rasouli e Timmermans (2016), Bahamonde-Birke e Hanappi (2016).

3.5 L'accelerazione

La comparazione tra diversi contributi è agevole per l'accelerazione quando l'attributo viene misurato come numero di secondi necessari per raggiungere una certa velocità. Questa, nel caso di studi europei, corrisponde di solito ai 100 km/h, mentre per le analisi realizzate, ad esempio, negli Stati Uniti o in Canada, corrisponde al tempo necessario a raggiungere le 60 miglia orarie. È però piuttosto utile nel nostro caso anche considerare l'accelerazione come numero di secondi necessari a raggiungere le 30 miglia orarie. Questo perché i veicoli elettrici si contraddistinguono per una ripresa piuttosto vivace e, normalmente maggiore rispetto ad un corrispondente veicolo endotermico, ma soffrono però di una minore accelerazione a velocità più elevate, per effetto di una minore coppia. Gli studi che esprimono i valori dell'attributo sotto questa forma sono 7 su un totale di 11 e comprendono i lavori di Tompkins et al. (1998), Brownstone et al. (2000), Potoglu e Kanaroglou (2007), Mabit e Fosgerau (2011), Christensen et al. (2012), Hess et al. (2012) e Valeri e Danielis (2015). I rimanenti quattro lavori a firma di Ewing e Sarigöllü (1998; 2000), Hidrue et al. (2011), Parsons et al. (2011) forniscono un'informazione qualitativa, che si traduce nella stima di un parametro dell'accelerazione di un veicolo di riferimento (normalmente quello elettrico) rispetto ad uno alternativo (spesso di tipo endotermico).

3.6 Le emissioni

Le emissioni possono essere classificate come inquinanti locali, quando hanno un impatto sulla qualità dell'aria a livello urbano, come il PM_{10} e l' NO_x , oppure come inquinanti globali che determinano un impatto ambientale a livello planetario, tra i quali spicca la CO_2 . La rilevanza delle emissioni di agenti inquinanti nella somministrazione degli esercizi di scelta è cresciuta nel tempo in virtù di una maggiore sensibilità ambientale di consumatori e case produttrici, ed anche grazie all'avvento dei veicoli elettrici. La comparazione dei contributi è complessa perché dei 18 contributi che riportano l'uso dell'attributo emissioni, ben 11 non specificano la natura, globale o locale, dell'inquinante. Molto spesso, questi contributi propongono delle stime di tipo comparativo, ad esempio suggerendo un confronto tra le emissioni prodotte dal veicolo di interesse ed uno con caratteristiche simili, ma alimentato con un diverso carburante. Dei 7 rimanenti contributi che riportano la specificazione del tipo di inquinante considerato, tutti si riferiscono al rilascio di anidride carbonica. In tal caso sono solo tre i lavori che riportano un coefficiente che cattura il livello di emissioni di CO_2 (esprese in multipli di grammi per unità di distanza). Questi includono Link et al. (2012), Jensen et al. (2013) e Ziegler (2012), ma solo quest'ultimo descrive i valori

utilizzati delle emissioni e per questa ragione sarà l'unico che utilizzeremo nel nostro esercizio. Nei rimanenti quattro casi vengono invece impiegate delle misure relative che quindi mal si prestano ad essere usate all'interno di una metanalisi per un'oggettiva impossibilità comparativa.

3.7 Il tempo di ricarica/rifornimento

Il tempo necessario affinché un'automobile con batteria completamente scarica possa essere del tutto ricaricato viene percepito come problema per il soggetto intervistato se viene comparato con il tempo richiesto dai veicoli endotermici, ma solo se l'esigenza di ricarica si manifesta durante un viaggio. È, infatti, in questa circostanza che un eccessivo tempo di attesa per l'utente può rappresentare un disagio, mentre non lo è, o è significativamente meno rilevante, se il mezzo non deve essere impiegato, ad esempio perché fermo nel parcheggio del luogo di lavoro o posteggiato nel garage di proprietà. In queste due ultime opzioni tempi di ricarica di numerose ore, chiaramente imputabili solo al veicolo elettrico, sono accettabili per l'utente che, in base alle proprie abitudini di guida e professionali, potrebbe avere solo raramente necessità di recarsi in un punto di ricarica veloce. Di conseguenza appare importante valutare quali contributi permettono di registrare sia la presenza di una ricarica lenta sia di una veloce, distinzione che viene offerta in diversi casi, anche se spesso i livelli degli attributi rendono i lavori confrontabili con una certa difficoltà.

Golob et al. (1997) è probabilmente il primo contributo che analizza in modo puntuale i tempi di ricarica, confrontando i veicoli elettrici con quelli alimentati a gas naturale, proponendo una prima forma di distinzione tra ricarica *fast* e *slow*. Per i veicoli elettrici propongono infatti un tempo di ricarica *on site* misurato in ore, ed un tempo di ricarica *at service station* misurato in minuti, lasciando presagire che la prima sia una ricarica lenta e la seconda una veloce. Diversamente, per i veicoli a gas naturale, suggeriscono la presenza di una ricarica *on site* che può essere sia lenta sia veloce (rilevata in ore e minuti), mentre una ricarica *at the station* che è solo veloce (registrata in minuti).

Ewing e Sarigöllü (1998, 2000) propongono un esercizio di scelta in cui per il veicolo di proprietà viene indicato un tempo di rifornimento di 5 minuti, mentre per le due categorie alternative di veicoli, uno elettrico, ed uno non elettrico, ma comunque ad impatto ambientale ridotto rispetto a quello in possesso, vengono proposti tre tempi di ricarica. Per il veicolo elettrico la ricarica veloce è di 15 minuti, mentre quella lenta è quantificata in 5 ore e può essere realizzata al lavoro o in ambito domestico. In modo simile, Dimitropoulos et al. (2016) considerano come attributo non solo il tempo necessario per procedere al rifornimento di un veicolo endotermico o plug-in, ma anche i minuti richiesti per la ricerca di una colonnina per la ricarica veloce (*detour time*). Gli stessi autori prevedono anche l'uso di un'ulteriore variabile che considera i tempi necessari per effettuare la ricarica domestica o sul punto di lavoro indicando che possono essere necessarie dalle 4 alle 10 ore per i veicoli elettrici, e dalle 1,5 alle 5 ore per i veicoli plug-in. A differenza di altri studiosi, però, Dimitropoulos et al. (2016) propongono stime espresse in termini di disponibilità a pagare (in inglese *willingness-to-pay*) e non sono pertanto confrontabili con i risultati ottenuti nelle altre ricerche.

I lavori di Hackbarth e Madlener (2013, 2016) propongono tempi di ricarica per le auto *plug-in* e quelle elettriche di 10 minuti, 1 ora e 6 ore che sono diversi rispetto a quelli delle auto con propulsione più inquinante. Ben quattro livelli (tempi) di ricarica sono ipotizzati da Chorus et al. (2013) e Hoen e Koetse (2014), diversi per veicoli a celle di combustibile, *plug-in* ed elettriche, per le quali si ipotizzano valori di 30 minuti, un'ora, 2,5 ore ed 8 ore. Esistono poi altri contributi che considerano i minuti necessari per la ricarica, che può essere quindi lenta o veloce, ma limitatamente ai soli veicoli elettrici. È il caso del lavoro di Hidrue et al. (2012) che propongono una scelta tra due ipotetici veicoli elettrici che variano tra loro anche per il tempo di ricarica. Uno dei due presenta un tempo di ricarica di un'ora e l'altro di 10 ore, ma, a nostro parere, questa semplicistica differenziazione non ci consente di poter considerare la presenza di una ricarica *fast* e di una *slow*.

4 La stima del *summary effect*

In questa Sezione (e nelle relative Sottosezioni) proponiamo per ciascun attributo selezionato le modalità di scelta dei contributi utili per il calcolo del *summary effect*.

4.1 Il *summary effect* per la costante dei veicoli elettrici

Il primo *summary effect* che viene calcolato è quello relativo alla costante che, nel confronto tra veicolo elettrico e tecnologia alternativa, cattura l'effetto dell'utilità derivante dalla scelta dell'auto elettrica non colto dagli attributi presenti nel modello. Il gruppo di studi considerato è molto eterogeneo sotto diversi profili. Variano le tipologie di indagine (*face-to-face*, telefonica, via web), i paesi in cui viene realizzato lo studio, ma cambiano anche i metodi di stima e i tipi di alimentazione che vengono confrontati. Nella larghissima parte dei casi la costante assume un segno negativo, con l'eccezione di Calfee (1985), Christensen et al. (2010), Dagsvik et al. (2002), Ewing e Sarigöllü (1998, 2000) e Mabit e Fosgerau (2011). I valori assunti dalla costante tra i diversi studi vanno da -0,46 a 0,70 come riportato nella colonna COR della Figura 1. Questa figura evidenzia anche il *summary effect* calcolato con effetti casuali pari a -0,12, con un intervallo di confidenza del 95% abbastanza ampio, tra il -0,21 e il -0,03. Notiamo, inoltre, una forte presenza di eterogeneità registrata dal test I^2 che assume il valore massimo, pari al 100%.

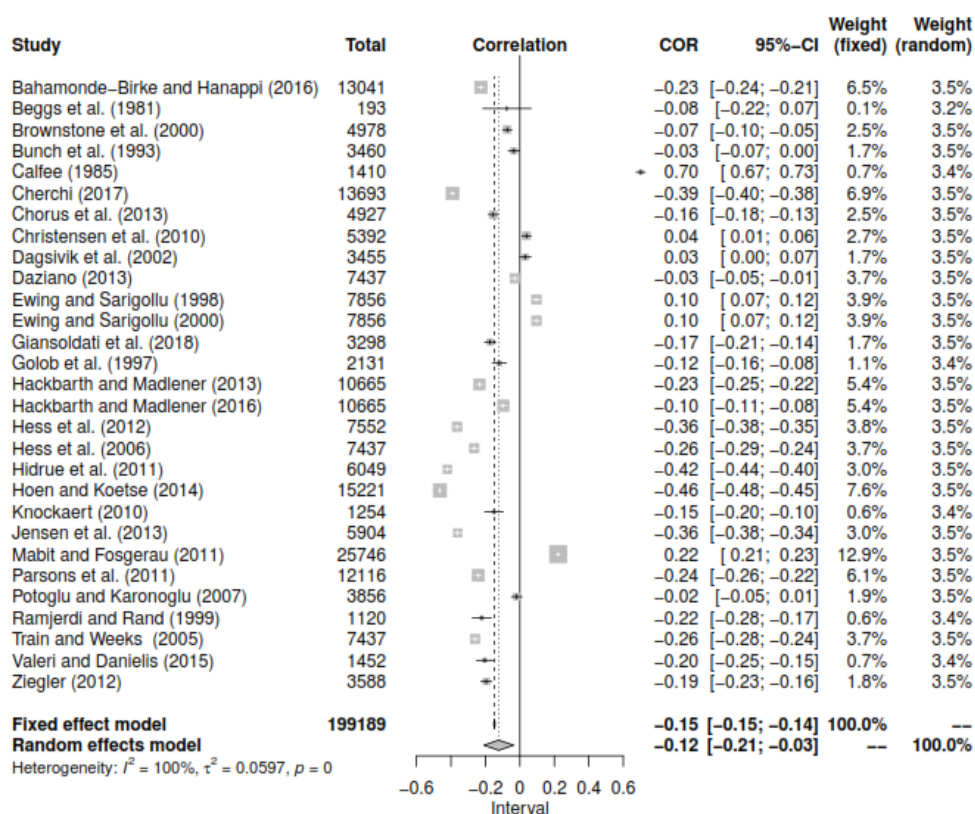


Figura 1. *Summary effect* per la costante dei veicoli elettrici

4.2 Il *summary effect* per il prezzo di acquisto

La diversità tra lavori deriva qui da numerosi aspetti. Infatti vi sono contributi in cui si realizza un confronto tra auto elettriche ed auto alimentate a benzina, ma sono anche presenti casi in cui più tipi di alimentazione vengono posti a confronto. È questo, ad esempio, il caso di Golob et al. (1997) che considera la scelta tra automobili elettriche e quelle alimentate a benzina, a metanolo e gas

naturale. Diversi sono anche i metodi di stima, nella maggior parte dei casi però rientranti nella famiglia dei modelli logit, come il multinomial logit, il mixed logit, il nested logit ed il conditional nested logit. I metodi di indagine sono variati nel tempo partendo da interviste telefoniche e questionari inviati in forma cartacea per giungere ai più recenti mezzi di raccolta dei dati via web. Le indagini sono state realizzate prevalentemente negli Stati Uniti, con l'eccezione di Valeri e Danielis (2015) e Giansoldati et al. (2018) che hanno analizzato il caso italiano. Anche il numero di osservazioni è estremamente differenziato tra gli studi, con valori minimi pari a 193 per Beggs et al. (1981) e massimi di 7.437 per Daziano (2013). Numerosi studi sono stati esclusi dall'analisi perché i livelli dell'attributo erano espressi in riferimento ad un valore di base non esplicitato, spesso pari a quello dichiarato dall'intervistato in riferimento al veicolo in suo possesso. In altri casi l'esclusione deriva dall'impiego di una forma funzionale non lineare che non consente di realizzare una comparazione tra i diversi studi. In altri casi ancora alcuni studi sono stati esclusi perché basati su variazioni di livelli estratti in maniera randomizzata o in relazione ad un dato di preferenze rilevate individuali.⁶ Il valori della correlazione riportati nella colonna COR variano da un minimo di -0,68 per Potoglu e Kanaroglu (2007) ad un massimo di -0,03 di Bunch et al. (1993). Sulla base di questi studi il *summary effect* con effetti casuali che viene registrato è pari a -0,20 con un intervallo di confidenza del 95% con estremo inferiore con valore di -0,38 ed uno superiore con valore di 0,01 (Figura 2).

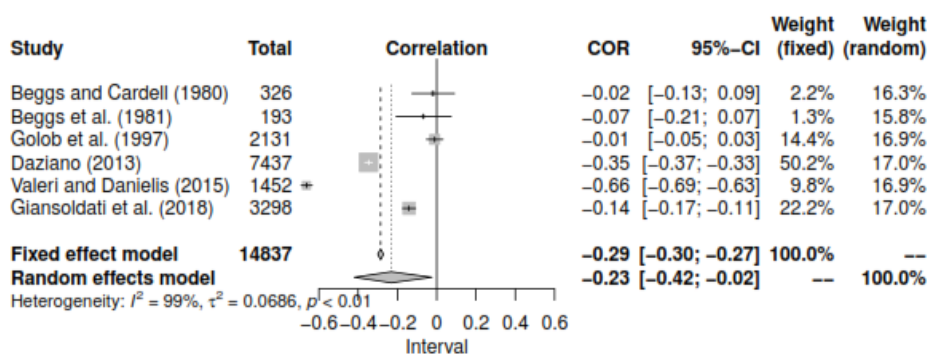


Figura 2. *Summary effect* per l'attributo prezzo di acquisto

4.3 Il *summary effect* per l'efficienza energetica

Data la diversità di misure impiegate per il calcolo dei consumi si è optato per considerarne due fra quelle presentate nella Sezione 3.4, ovvero l'efficienza energetica per unità di distanza, oggetto di questa sezione, ed i costi operativi che verranno presentati nella successiva Sezione 4.4. La Figura 3 riporta i dati estratti da sette studi per il calcolo del *summary effect* dell'attributo efficienza energetica.

Qui si sono esclusi quei contributi che pur esplicitando la caratteristica in almeno una specificazione econometrica non erano suscettibili di analisi per una diversità di motivazioni. Alcuni non presentavano i livelli dell'attributo (o ne presentavano uno solo) ed era quindi impossibile realizzare il calcolo della deviazione standard, come, ad esempi nel caso di Tompkins et al (1998) e Jensen et al. (2013). I lavori preservati presentano comunque un'apprezzabile diversità ($I^2=100\%$) che è in parte attribuibile al fatto che l'attributo è valutato in modo generico, senza possibilità di differenziare i valori imputabili ai veicoli elettrici ed endotermici oggetto di confronto. L'eterogeneità tra gli studi deriva anche dalla diversità degli approcci econometrici non basati solamente su multinomial e mixed logit model, ma anche su modelli congiunti per le preferenze

⁶ La lista delle motivazioni che hanno determinato un'esclusione dei lavori dal calcolo del *summary effect* è spesso simile a quella che ha determinato l'eliminazione dei contributi dal calcolo del *summary effect* per altri contributi. Per esigenze di brevità si è deciso di non riportare la specifica ragione dell'esclusione per ogni singolo lavoro, che è comunque disponibile dagli autori su richiesta.

dichiarate e rivelate come nel caso di Brownstone et al. (2000). I dati sono raccolti con modalità che includono la posta cartacea per i contributi più datati, per giungere, invece, a quelle telefoniche e *web-based* negli anni più recenti. Per questo attributo le indagini si riferiscono prevalentemente all'esperienza europea. Infatti Beggs et al. (1981), Bunch et al. (1999) e Brownstone et al. (2000) esaminano il caso degli Stati Uniti, mentre Ramjerdi e Rand (1999) studiano il comportamento degli intervistati in Norvegia, Knockaert (2010) osserva il caso del Belgio, e Ziegler (2012), Hackbart e Madlener (2013; 2016) studiano l'esperienza tedesca, mentre Bahamonde-Birke e Hanappi (2016) considerano il caso austriaco. Il numero di osservazioni impiegate negli articoli è estremamente vario con cifre che vanno da 193 per Beggs et al. (1981) fino a 13041 per Bahamonde-Birke e Hanappi (2016). Le correlazioni espresse dai singoli studi riportate nella colonna COR vanno da un valore minimo pari a -0,87 fino ad un massimo di -0,13, con un *summary effect* stimato con effetti casuali, pari a -0,34 ed un intervallo di confidenza del 95% con estremo inferiore e superiore rispettivamente pari a -0,56 e -0,09.

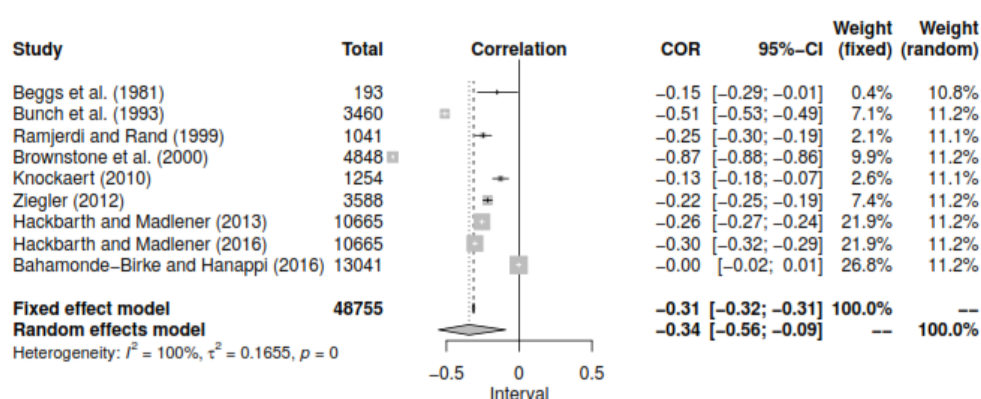


Figura 3. *Summary effect* per l'attributo efficienza energetica

4.4 Il *summary effect* per i costi operativi

La Figura 4 riporta il *summary effect* per l'attributo costi operativi per due contributi, ovvero Valeri e Danielis (2015) e Giansoldati et al. (2018). Entrambi i lavori comprendono tra i costi operativi almeno quattro componenti, ovvero quella per il carburante, quella per la manutenzione, quella per le tasse di registrazione del veicolo e quella per l'assicurazione, assumendo che il veicolo percorra 10,000 km all'anno e venga posseduto per 10 anni. Si tratta evidentemente di quattro elementi che assumono una grandezza molto differente tra auto elettriche e non, e che quindi è opportuno considerare per il nostro esercizio simulativo. Si tratta degli unici due lavori utilizzabili per una serie di motivi. Infatti, anche altri contributi hanno considerato i costi operativi, ma non sono poi stati utilizzati nella nostra analisi perché del tutto privi di informazioni sul livello degli attributi (Calfee, 1985; Golob, 1997), oppure perché i livelli erano espressi in percentuale rispetto al valore dichiarato da ciascun intervistato ed a noi ignoto (Ewing e Sarigöllü, 1998; 2000). Sono stati anche esclusi quei lavori in cui non era completamente chiaro quali componenti di costo fossero incluse, o perché l'attributo definito come "costo operativo" comprendeva elementi eterogenei e relativi a percorrenze diverse, quindi difficilmente confrontabili (Beggs e Cardell, 1980; Daziano, 2013). Vi sono poi casi in cui le spese riportate includevano solo i costi di manutenzione (ma non quelle per il carburante, le tasse e l'assicurazione), come i lavori di Tompkins et al. (1998) e Bahamonde-Birke e Hanappi (2016), ove il primo fa riferimento al numero di dollari spesi nel corso dell'anno, mentre il secondo si riferisce agli Euro spesi al chilometro. Per questi motivi si è quindi optato per i due lavori sopracitati che si concentrano sul caso italiano, fanno uso di una metodologia simile, ma pervengono comunque a risultati diversi, come si può notare dalla colonna COR. L'effetto negativo è molto più ampio in Valeri e Danielis (2015) (-0,64) rispetto a Giansoldati et al. (2018) (-0,10) e si registra una notevole eterogeneità, rilevata da un $I^2 = 100\%$. Il numero delle osservazioni varia da 1.452 a 3.298 ed il *summary effect* calcolato con effetti casuali è pari a -0,40 con un valore inferiore di -0,79 ed uno superiore di 0,22.

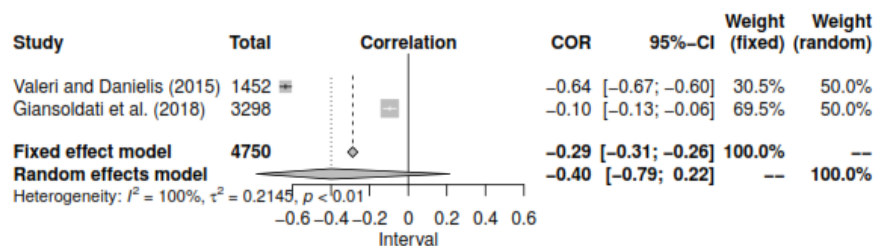


Figura 4. Summary effect per l'attributo costi operativi

4.5 Il summary effect per l'autonomia

Per il calcolo dei *summary effect* sull'autonomia abbiamo ritenuto opportuno distinguere i contributi che si sono occupati dello studio dell'autonomia per i veicoli elettrici da un lato, e di quelli non-elettrici dall'altro. Ciò appare fondamentale vista la notevole diversità che ancora contraddistingue l'autonomia delle auto endotermiche rispetto a quelle elettriche, nonostante la rapida e costante evoluzione tecnica e tecnologica di queste ultime.

Il summary effect per l'autonomia dei veicoli elettrici

La causa principale dell'esclusione di alcuni contributi è stata in questo caso l'espressione dell'attributo in forma non lineare, ad es. *piecewise*, logaritmica o quadratica. I lavori selezionati confermano ancora la presenza di forte eterogeneità. Le modalità di indagine partono infatti dalle più datate forme di raccolta cartacea dei dati per giungere poi alle interviste telefoniche e, ai giorni nostri, all'uso dei questionari somministrati via web. Più recentemente si sono sperimentate anche combinazioni di strumenti come l'indagine *face-to-face* e l'invito a partecipare a questionari via Google Docs, come nel caso di Giansoldati et al. (2018). Le modalità econometriche di analisi dei dati includono il nested logit, il multinomial logit, il mixed logit ed il probit. Le indagini su questo attributo si riferiscono anche in questo caso prevalentemente all'esperienza europea, con Dagsvik et al. (2002) che analizzano la Norvegia, Christensen et al. (2010) la Danimarca, Chorus et al. (2013) e Hoen e Koetse i Paesi Bassi, Hackbart e Madlener (2013) la Germania, Valeri e Danielis (2015) e Giansoldati et al. (2018) l'Italia. L'unico lavoro che analizza il caso statunitense è quello di Golob et al. (1997) che propone uno studio sulla California. Il numero di osservazioni è estremamente diverso tra i contributi, infatti si passa da 1.452 unità di Valeri e Danielis (2015) fino alle 10.665 di Hackbart e Madlener (2013). La Figura 5 mostra un'apprezzabile diversità tra gli studi nel valore della correlazione andando da un minimo di 0,13 ad un massimo di 0,74 ed un livello di eterogeneità, I^2 , pari al 100%. Il *summary effect* che abbiamo calcolato con il modello a effetti casuali assume un valore positivo pari a 0,38, all'interno di un intervallo di confidenza al 95% che vede come valore minimo 0,26 e come valore massimo 0,50 (Figura 5).

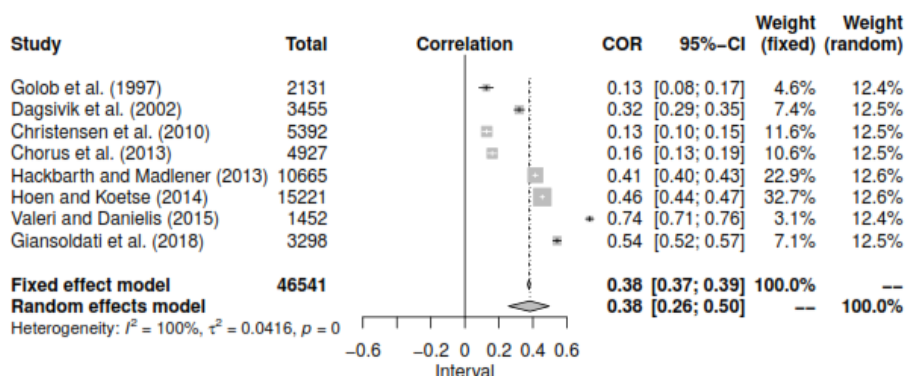


Figura 5. Summary effect per l'attributo autonomia dei veicoli elettrici

Il *summary effect* per l'autonomia dei veicoli non-elettrici

I contributi riportati in Figura 6 sono gli stessi di quelli di Figura 5 (con l'esclusione del lavoro di Hoen e Koetse, 2014), perché gli autori hanno fornito stime specifiche per veicoli con diversa alimentazione. I valori dei coefficienti di correlazione variano da un minimo di 0,13 ad un massimo di 0,52, con un livello di eterogeneità molto elevato, ma leggermente inferiore rispetto al caso dei veicoli elettrici e pari a $I^2 = 98\%$. Significativamente diversa rispetto ai veicoli elettrici, ma in linea con le aspettative, è la grandezza del *summary effect*, che è positivo, ha un valore atteso di 0,25, con un intervallo di confidenza del 95%, sostanzialmente contenuto e con un valore minimo di 0,17 ed uno massimo di 0,32. Troviamo, quindi, una prima evidenza di quanto ampiamente noto in letteratura, ovvero una maggiore utilità derivante dall'incremento dell'autonomia per i veicoli elettrici rispetto ad un aumento di egual misura per quelli non-elettrici.

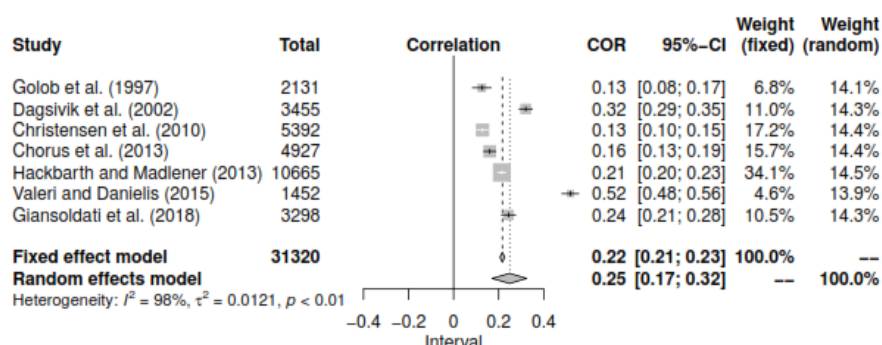


Figura 6. *Summary effect* per l'attributo autonomia dei veicoli non-elettrici

4.6 Il *summary effect* per l'accelerazione

La distinzione che abbiamo potuto realizzare tra auto elettriche e non-elettriche nell'analisi dell'attributo autonomia può essere effettuata anche per l'attributo accelerazione per effetto della stima che alcuni studiosi hanno realizzato separatamente per alimentazioni differenti.

Il *summary effect* per l'accelerazione dei veicoli elettrici

Per il calcolo del *summary effect* sono stati esclusi i contributi di Mabit e Fosgerau (2011) e Christensen et al. (2012), che pur stimando un coefficiente per l'attributo, non ne forniscono però i livelli e quindi non permettono di calcolarne la deviazione standard. È stato anche escluso il lavoro di Hess et al. (2012) perché le informazioni ivi riportate si basano su dati di preferenza rivelata individuali a noi non noti. Le modalità di indagine impiegate partono dall'uso del CATI (*Computer-Assisted Telephone Interviewing*) e dall'impiego di questionari cartacei alla fine degli anni '90 ed inizio nuovo millennio, per poi accogliere altri strumenti, come la somministrazione via mail dell'esercizio di scelta, ma preservando l'intervista telefonica o *face-to-face* anche nelle indagini più recenti. Gli strumenti econometrici utilizzati sono sostanzialmente comuni a quelli degli altri attributi con una prevalenza della famiglia dei logit, ed, in particolare, dei nested logit. Le aree geografiche oggetto di indagine corrispondono agli Stati Uniti per Tompkins et al. (1998), Brownstone et al. (2000), al Canada per Potoglu e Kanaroglu (2007), ed all'Italia per Valeri e Danielis (2015). L'osservazione della Figura 7 consente di notare come i coefficienti di correlazione riportati nella colonna COR vanno da un minimo di -0,36 ad un massimo di -0,12 con un grado di eterogeneità I^2 pari al 96%. Il *summary effect* riportato assume segno negativo ad indicare una riduzione del livello di soddisfazione dell'intervistato al crescere del tempo richiesto per raggiungere una velocità prestabilita (ad esempio i 100 km/h oppure le 60 miglia orarie). Il valore

ottenuto nel modello a effetti variabili è uguale a -0,27 e l'intervallo di confidenza al 95% mostra un valore inferiore di -0,35 ed uno superiore di -0,18.

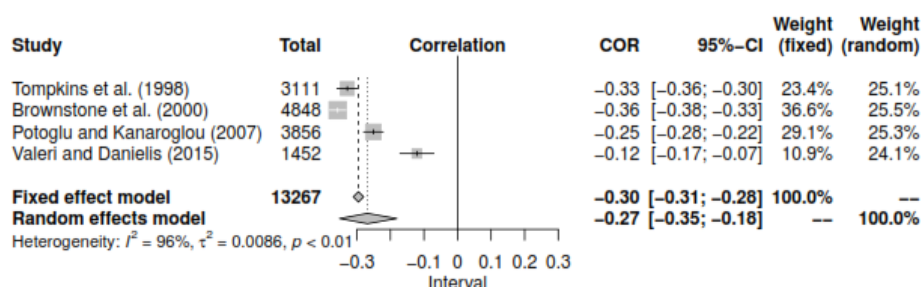


Figura 7. Summary effect per l'attributo accelerazione dei veicoli elettrici

Il summary effect per l'accelerazione dei veicoli non-elettrici

Le riflessioni riportate nel sotto paragrafo precedente in merito all'esclusione degli studi e l'eterogeneità di quelli selezionati si applicano chiaramente anche in questa parte. I contributi riportati in Figura 8 sono gli stessi di quelli di Figura 7, perché gli autori, analogamente al caso dell'autonomia, hanno fornito stime specifiche per veicoli con diversa alimentazione. Il valore minimo e massimo della correlazione sono anche in questo caso rispettivamente pari a -0,36 e -0,19 con un grado di eterogeneità pari al 94%. Osserviamo però che la riduzione di soddisfazione derivante da una più lenta accelerazione è marginale nella scelta dell'auto elettrica rispetto a quella con diversa alimentazione, ed è pari a -0,28. Anche l'intervallo di confidenza al 95% è abbastanza simile al caso del paragrafo 0, con valore minimo e massimo rispettivamente pari a -0,36 e -0,11 (Figura 8).

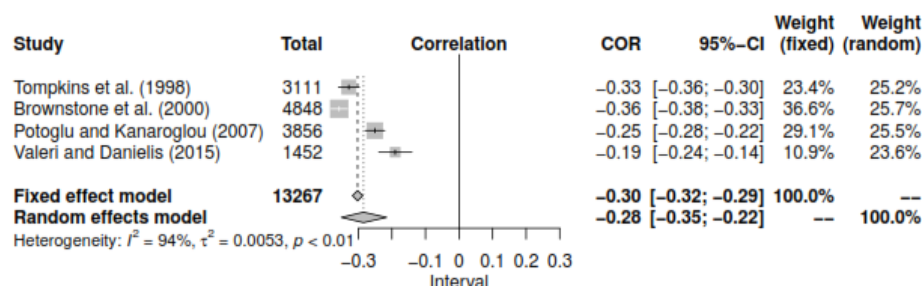


Figura 8. Summary effect per l'attributo accelerazione dei veicoli non-elettrici

4.7 Il summary effect per il tempo di ricarica

Probabilmente la più rilevante differenza tra auto elettriche e non-elettriche risiede proprio in questo attributo. Infatti per le auto con alimentazione endotermica il tempo di rifornimento alla pompa non è percepito come un problema perché è un'operazione che viene normalmente conclusa in un tempo molto contenuto, tipicamente dai 5 ai 7 minuti. È invece molto diverso per i veicoli elettrici il cui tempo di ricarica muta al variare di un numero di fattori. Questi includono la presenza e la distanza da un'infrastruttura di ricarica, quale velocità (potenza) di ricarica offre l'infrastruttura, la disponibilità e le caratteristiche di una struttura di ricarica domestica, nonché la carica residua presente nel veicolo, solo per citarne alcuni.⁷

⁷ Vale altresì la pena ricordare che la presenza di tempi di ricarica che includono un processo lento anche di 8 ore per le operazioni effettuate a livello domestico, debbono essere confrontati con le ricariche accelerate o veloci che possono

Il *summary effect* per il tempo di ricarica dei veicoli elettrici

Dall'elenco dei contributi utilizzabili per il calcolo del *summary effect* sono stati esclusi alcuni lavori. Non è stato considerato il lavoro di Dimitropoulos et al. (2016), perché esprime il valore della variabile nello spazio della *willingness-to-pay* e quindi non uniforme alla metrica proposta dagli altri contributi. È stato escluso il lavoro di Hackbarth e Madlener (2016) perché utilizza una scala logaritmica e quindi non appropriata per un confronto. È stato escluso anche il lavoro di Golob et al. (1997) perché propone due stime, una relativa al tempo di ricarica lento, (*on-site*), presumibilmente domestico, con livelli pari a 3, 4 e 6 ore, ed una stima relativa al tempo di ricarica veloce (alla stazione) con livelli pari a 20, 30 e 60 minuti. Nonostante il dettaglio fornito da Golob et al. (1997) si è optato per l'esclusione perché i contributi inclusi e riportati in Figura 9 forniscono una stima dell'attributo senza distinguere tra ricarica veloce e lenta, ma indicano solamente che essa riguarda le auto elettriche. Si potrebbe obiettare, anche a ragione, sull'opportunità di questa scelta, ma si è optato per fini comparativi di considerare studi che forniscono una misura omogenea del tempo di ricarica.

Gli studi preservati presentano comunque la consueta eterogeneità. Questa è imputabile al metodo di raccolta dei dati che va dall'invio postale delle domande in forma cartacea fino alla realizzazione di questionari on line. Le tecniche econometriche includono il multinomial logit model ed il random probability model, mentre i paesi interessati sono il Canada nel caso di Ewing e Sarigöllü (1998), la Germania per Hackbarth e Madlener (2013), ed i Paesi Bassi per Hoen e Koetse (2014). Il numero delle osservazioni varia dalle 7.856 di Ewing e Sarigöllü (1998) fino alle 15.221 di Hackbarth e Madlener (2013). La Figura 9 mostra che i coefficienti di correlazione variano da un minimo di -0,39 ad un massimo di -0,16 ed un grado di eterogeneità, I^2 , pari al 100%. Il *summary effect*, calcolato, come sempre attraverso un modello ad effetti casuali è pari a -0,24, con un intervallo di confidenza al 95% che vede come valore minimo -0,40 e come valore massimo -0,07.

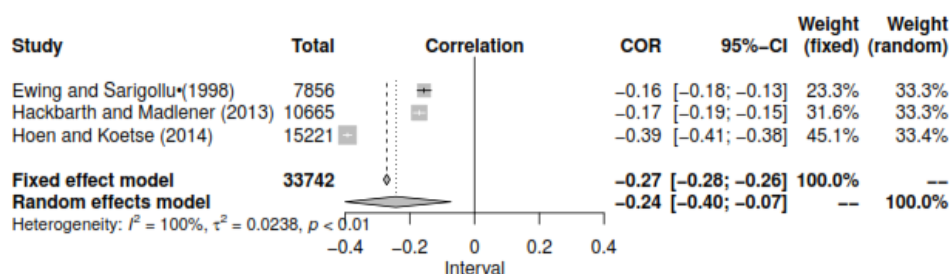


Figura 9. *Summary effect* per l'attributo tempo di ricarica dei veicoli elettrici

Il *summary effect* per il tempo di ricarica dei veicoli non-elettrici: l'uso di un unico contributo

La definizione del valore da applicare per le simulazioni per i veicoli non-elettrici pone un significativo problema. Infatti, l'unico che propone la misurazione dell'attributo in modo generico è quello di Ewing e Sarigöllü (1998). Gli autori mostrano a pagina 436 in Tabella 2 un valore per la stima del coefficiente del tempo di ricarica pari a -0,0014 per un modello multinomial logit ed a pagina 440 in Tabella 4 un coefficiente di -0,00146 sempre per un modello multinomial logit, ma con termini di interazione. Si è ritenuto ragionevole, in mancanza di altri contributi, di calcolare un coefficiente da applicare nell'esercizio simulativo pari alla media dei due coefficienti sopra riportati

portare ad una ricarica completa anche in circa 30 minuti. Questa grande differenza di tempistiche influenza la dimensione della deviazione standard calcolata, e influenzerà anche il valore scelto all'interno dell'esercizio simulativo come verrà esposto nella relativa sezione.

e pari a -0,00143, arrotondato a -0,0014. A questo valore sono stati poi affiancati un estremo inferiore ed uno superiore, rispettivamente pari a -0,0016 e -0,0012, scelti da chi scrive per garantire una variabilità ragionevole, ma contenuta. Il valore di -0,0014, seppur derivante da un unico contributo e quindi affetto certamente da incertezza e un certo grado di arbitrarietà, appare comunque appropriato, in termini di segno e soprattutto di grandezza, se comparato al *summary effect* per il tempo di ricarica dei veicoli elettrici che è, in valore assoluto, largamente più ampio rispetto a quello dei veicoli non-elettrici. Ciò conferma, come largamente documentato in letteratura, che la disutilità derivante dall'attesa per la ricarica del proprio veicolo è maggiore per quelli elettrici rispetto a quelli endotermici.

4.8 Le emissioni: l'uso di un unico contributo

In modo abbastanza simile rispetto a quanto rilevato nel paragrafo precedente, esiste una criticità relativa alla misurazione delle emissioni. Infatti, da un'analisi dei 36 contributi inizialmente considerati siamo costretti per una varietà di ragioni, prevalentemente legate alla presenza di forme funzionali non lineari ed alla mancanza dei valori delle emissioni considerate, a considerare un solo contributo, quello di Ziegler et al. (2012). Per tale ragione non è necessario calcolare il *summary effect*, ma l'attributo verrà infatti impiegato per l'esercizio simulativo sulla base dei livelli proposti dagli autori e con la metodologia proposta nell'Appendice metodologica.

La Tabella 2 mostra in modo sintetico per ogni attributo il valore dei *summary effect* ad effetti casuali riportati in ciascuna delle Sottosezioni dalla 4.1 alla 4.7.⁸

Tabella 2. Coefficienti degli attributi per la stima della domanda di auto elettriche

Attributi considerati	Summary effect [95% int. conf.]
Costante per il veicolo elettrico	-0,12 [-0,21; -0,03]
Prezzo	-0,23 [-0,42; 0,02]
Efficienza energetica	-0,34 [-0,56; -0,09]
Costi operativi	-0,40 [-0,79; 0,22]
Autonomia dei veicoli elettrici	0,38 [0,26; 0,50]
Autonomia dei veicoli non-elettrici	0,25 [0,17; 0,32]
Accelerazione dei veicoli elettrici	-0,27 [-0,35; -0,18]
Accelerazione dei veicoli non-elettrici	-0,28 [-0,35; -0,22]
Tempo per la ricarica dei veicoli elettrici	-0,24 [-0,40; -0,07]

5 La stima della domanda di auto elettriche

I *summary effect* calcolati nella Sezione 4, e presentati in forma standardizzata vengono trasformati nell'unità di misura di riferimento attraverso le modalità descritte in modo dettagliato nell'Appendice metodologica. La Tabella 2 sintetizza i coefficienti ottenuti attraverso questo articolato processo. Riportiamo, inoltre, sotto la medesima tabella il modello econometrico che

⁸ La tabella ovviamente non riporta i valori calcolati per il tempo di ricarica dei veicoli non-elettrici e quelli delle emissioni, in quanto non emergono dal calcolo di un *summary effect*.

esplicita la funzione di utilità per la scelta del veicolo elettrico e quella per la scelta del veicolo endotermico. Entrambe sono presentate nella loro versione più estesa, ovvero con il più ampio numero di covariate.⁹

Tabella 3. Coefficienti degli attributi per la stima della domanda di auto elettriche

Attributi	Unità di misura	Coefficiente	Limite inferiore	Limite superiore
Costante		-0,9211	-1,5687	-0,2592
Prezzo di acquisto	Euro	-0,0001	-0,0002	-0,00001
Efficienza energetica	Euro per 100 km	-0,7393	-1,1988	-0,1399
Costi operativi	Euro per 10,000 km	-0,0012	-0,0024	0,0007
Autonomia VE	km	0,0049	0,0033	0,0064
Autonomia non-VE	km	0,0012	0,0008	0,0015
Accelerazione VE	Sec. per ragg. 100 km/h	-0,1016	-0,1333	-0,0683
Accelerazione non-VE	Sec. per ragg. 100 km/h	-0,1067	-0,1316	-0,0807
Tempo di ricarica VE	minuti	-0,0253	-0,0416	-0,0076
Tempo di ricarica non-VE	minuti	-0,0014	-0,0016	-0,0012
Emissioni	kg per km	-0,1367	-0,2367	-0,0367

Note: gli acronimi "VE" e "non-VE" indicano rispettivamente i "veicoli elettrici" e i "veicoli non elettrici"

Modello econometrico

Utilità veicolo elettrico = β_{C_VE} Costante per il veicolo elettrico + β_{PA} Prezzo di acquisto + β_{EFF_EN} Efficienza energetica + β_{COST_OP} Costi operativi + β_{A_VE} Autonomia veicolo elettrico + β_{A_non-VE} Autonomia veicolo non elettrico + β_{ACC_VE} Accelerazione veicolo elettrico + β_{ACC_non-VE} Accelerazione veicolo non elettrico + $\beta_{TEMPO_RIC_VE}$ Tempo di ricarica veicolo elettrico + $\beta_{TEMPO_RIC_non-VE}$ Tempo di ricarica veicolo non elettrico + β_{EMISS} Emissioni + ε

Utilità veicolo non elettrico = β_{PA} Prezzo di acquisto + β_{EFF_EN} Efficienza energetica + β_{COST_OP} Costi operativi + β_{A_non-VE} Autonomia veicolo non elettrico + β_{ACC_non-VE} Accelerazione veicolo non elettrico + $\beta_{TEMPO_RIC_non-VE}$ Tempo di ricarica veicolo non elettrico + β_{EMISS} Emissioni + ε ¹⁰

⁹ Come si potrà verificare nelle Sezioni 5.1 e **Error! Reference source not found.** e gli scenari proposti attraverso il simulatore non includeranno contemporaneamente tutte le variabili riportate nel modello econometrico.

¹⁰ Si è scelto di non inserire una tabella con la descrizione delle variabili e delle loro metriche perché già desumibili dalla Tabella 2.

5.1 Il simulatore: le quote di mercato dei veicoli elettrici e non-elettrici in Italia

L'obiettivo palesato di questo contributo è quello di fare uso dei coefficienti relativi ad una serie di attributi rilevanti ottenuti attraverso il lavoro di metanalisi per sviluppare un simulatore utile a stimare la probabilità di scelta di un'auto elettrica rispetto al corrispondente modello endotermico della stessa marca entrambe venduti in Italia.

Per far ciò osserviamo in primo luogo i veicoli elettrici ed ipotizziamo che i coefficienti ed i relativi estremo inferiore e superiore degli attributi costante, prezzo di acquisto, efficienza energetica, costi operativi, emissioni, nonché accelerazione, autonomia e tempo di ricarica, specifici delle auto elettriche riportati in Tabella 2, rappresentino, rispettivamente, il valore centrale, inferiore e superiore, di una distribuzione triangolare. Realizziamo quindi 10.000 estrazioni Monte Carlo, e moltiplichiamo i risultati per il valore reale dell'attributo corrispondente di uno specifico modello elettrico, ad esempio la Nissan Leaf 40 kWh Visia Plus, come descritti in Tabella 4.11 Realizziamo a questo punto la somma tra i valori ottenuti e ne calcoliamo l'esponenziale.

Operiamo in modo del tutto speculare per i veicoli non-elettrici. Infatti, ipotizziamo che i coefficienti ed i relativi estremo inferiore e superiore degli attributi prezzo d'acquisto, efficienza energetica, costi operativi, emissioni, nonché accelerazione, tempo richiesto per il rifornimento e autonomia specifici delle auto non-elettriche riportati in Tabella 2, rappresentino, rispettivamente, il valore centrale, inferiore e superiore, di una distribuzione triangolare. Anche in tal caso realizziamo 10,000 simulazioni Monte Carlo e moltiplichiamo i risultati per il valore dell'attributo corrispondente e relativo all'omologo veicolo endotermico della stessa marca, ovvero la Qashqai 1.2 DIG-T Visia, come descritti in Tabella 4 .

¹¹ Si assume che tutti i veicoli elettrici presentino un tempo di ricarica pari a 170 minuti che supponiamo rappresenti un ragionevole compromesso tra un tempo di ricarica di 30-40 minuti, tipici di una ricarica veloce, e dalle 6 alle 8 ore per una ricarica lenta.

Tabella 4. Analisi di scenario: caso base

	Nissan		Renault		BMW		Daimler		Volkswagen	
	Leaf	Qasqhai	Zoe	Clio	i3	Serie 1	Smart Forfour EQ	Smart Forfour	e-Golf	Golf 1.0 TSI
Prezzo (Euro)	34.370	20.950	34.250	15.150	39.150	25.200	24.559	17.355	39.250	20.150
Efficienza energetica (Euro per 100 km)	3,99	8,57	3,60	8,57	3,86	7,65	4,12	6,43	3,72	7,34
Costi operativi (Euro per 10,000 km)	1.881	2.903	1.824	2.825	2.041	3.200	1.917	2.995	1.742	3.408
Autonomia (kilometri)	270	985	250	806	200	1.040	150	833	300	1.000
Accelerazione (secondi per raggiungere i 100 km/h)	11,5	10,6	13,2	14,5	7,3	10,9	12,7	16,9	9,6	11,9
Tempi di ricarica/rifornimento (minuti)	170	7	170	7	170	7	170	7	170	7
Emissioni (kg/km)	0	0,13	0	0,13	0	0,13	0	0,10	0	0,11
Numero di estrazioni (distribuzione triangolare)	10,000									

Nota: La tabella riporta i nomi dei veicoli in modo sintetico per esigenze di sintesi. In dettaglio i modelli elettrici sono i seguenti: Nissan Leaf 40 kWh Visia Plus, Renault Zoe Life Q90, BMW i3 125 kW 94 Ah, Daimler Smart Forfour Electric Drive Youngster, Volkswagen e-Golf 2018. I veicoli non-elettrici sono invece i seguenti Nissan Qashqai 1.2 DIG-T Visia, Renault Clio 1.2 Zen, BMW Serie 1 116i 5 porte, Daimler Smart Forfour 70 Twinamic Perfect, Volkswagen 1.0 Golf TSI 85 cv Trendline BlueMotion.

Le informazioni sulla base delle quali sono state calcolati i dati riportati qui in Tabella 4 sono disponibili dagli autori su richiesta.

Realizziamo anche qui la somma tra i valori ottenuti e ne calcoliamo l'esponenziale.

A questo punto calcoliamo la distribuzione della probabilità di scelta del veicolo elettrico, $P(\text{veicolo elettrico})$ rispetto a quello non-elettrico, basandoci sulla nota relazione espressa qui nella formula, ove l'apice di ciascuno dei due esponenziali si riferisce ai valori ottenuti poco sopra.

$$P(\text{veicolo elettrico}) = \frac{e^{\text{veicolo elettrico}}}{e^{\text{veicolo elettrico}} + e^{\text{veicolo non-elettrico}}} \quad (7)$$

Di questa distribuzione di probabilità viene poi estratto il valore medio, quello sul quale si ragiona per una valutazione comparativa.

I risultati di questo esercizio condotto sulla Nissan vengono poi replicati per le altre quattro marche, ovvero Renault, BMW, Daimler e Volkswagen e presentati nell'ultima riga della Tabella 5. Questa tabella propone anche, nella sua parte superiore, il confronto tra il numero di auto di un dato modello elettrico vendute durante il periodo gennaio-settembre 2018 rispetto alla somma delle unità vendute dello stesso modello elettrico e del corrispondente modello endotermico della stessa marca.¹²

La comparazione tra i valori registrati dal simulatore e quelli reali ci consentono di formulare alcune preliminari osservazioni sulla bontà dello strumento predittivo che abbiamo sviluppato. Secondo il nostro metodo i veicoli elettrici vengono preferiti a quelli non-elettrici in percentuali piuttosto basse, che vanno dall'1,33% della Renault Zoe Q90 Life al 2,54% della BMW i3 125 kW 94 Ah. È possibile osservare che il nostro simulatore sovrastima leggermente la quota di mercato del veicolo elettrico nel caso della BMW i3 125 kW 94 Ah e della Volkswagen e-Golf 2018, ma sottostima quella degli altri veicoli elettrici, in particolare della Nissan Leaf 40 kWh Visia Plus e della Daimler Smart Forfour Electric Drive Youngster. Diversamente, il valore predetto e quello reale della Renault Zoe Q90 Life sono abbastanza vicini.

Tabella 5. Quote di mercato del modello elettrico rispetto al corrispondente non-elettrico della stessa marca

Marca	Nissan		Renault		BMW		Daimler		VW	
	Modello	N.	Modello	N.	Modello	N.	Modello	N.	Modello	N.
Auto non-elettriche	Qashqai	23.580	Clio	40.957	Serie 1	8.115	Fortwo	12.569	Golf	28.397
Auto elettriche	Leaf	1.050	Zoe	655	i-3	126	Fortwo	795	e-Golf	50
% auto elettrica su coppia veicoli		4,26%		1,57%		1,53%		5,95%		0,18%
% predette dal simulatore		2,09%		1,33%		2,54%		2,10%		1,75%

Fonte: Dati UNRAE sui 50 modelli più venduti tra gennaio e settembre 2018 e numero di veicoli elettrici venduti tra gennaio e settembre 2018.

Nota: Riportiamo qui il confronto tra la Daimler Smart Fortwo elettrica e la corrispondente non elettrica perché assente il dato di vendita sulla Daimler Smart Forfour endotermica. Si ritiene che comunque questa comparazione possa essere valida per valutare i dati delle simulazioni che vengono proposte nelle Sezioni che seguono.

Nonostante alcune non trascurabili differenze tra le nostre stime e quelle registrate sul mercato, il nostro modello può ritenersi sostanzialmente soddisfacente, anche in virtù del fatto che le diversità registrate tra le nostre predizioni ed il dato reale possono dipendere dal fatto che le coppie di veicoli della stessa marca posti a confronto appartengono a segmenti diversi. È, ad esempio ragionevole supporre che le motivazioni che spingono un utente a scegliere una BMW i3 125 kW 94 Ah rispetto anziché una BMW Serie 1 116i 5 porte includono anche ragioni ulteriori rispetto agli attributi specificati nel simulatore. È anche opportuno ricordare che i dati tratti dall'UNRAE sui 50 veicoli più venduti in Italia non permettono di differenziare il modello di in base

¹² Tra le diverse coppie di veicoli della stessa marca si osserva che è nel caso della Daimler Smart quello in cui la versione elettrica presenta una più alta penetrazione sul totale delle due alimentazioni. È possibile che considerazioni legate ad un prevalente uso urbano del veicolo, i limiti alle emissioni di molte città e le contenute esigenze in termini di autonomia ne abbiano determinato il relativo successo rispetto al modello a benzina, se comparato con le altre coppie di auto.

a diversi allestimenti. Ad esempio per la casa produttrice BMW viene fornita informazione del numero di “BMW Serie 1” vendute nel periodo oggetto di interesse, ma senza alcun ulteriore dettaglio (es cilindrata) che influenzano in maniera determinante le scelte di acquisto.

5.2 Il simulatore: scenari

Al di là del mero confronto tra lo *status quo* e le quote di mercato si è poi analizzato come la probabilità di scelta varierebbe in relazione ad alcune ipotesi, ovvero 1) l'erogazione di un sussidio di Euro 5.000 per l'acquisto del veicolo elettrico, 2) il raddoppio dell'autonomia dello stesso, 3) la considerazione delle emissioni in fase d'uso, 4) l'inclusione dei costi operativi, 5) la considerazione congiunta dell'efficienza energetica e dei costi operativi. I risultati sono proposti ancora in Tabella 6 ove la prima colonna riporta la definizione dello specifico scenario.¹³

Tabella 6. Probabilità di scelta del veicolo elettrico: *status quo* e scenari

Scenari	Leaf	Zoe	i3	Smart Forfour EQ	e-Golf
<i>Status quo</i>	2,09%	1,33%	2,54%	2,10%	1,75%
<i>Con sussidio</i>	2,93%	1,87%	3,46%	3,19%	2,38%
<i>Aumento dell'autonomia</i>	3,39%	2,15%	3,52%	2,80%	2,98%
<i>Inclusione delle emissioni</i>	2,13%	1,36%	2,58%	2,14%	1,77%
<i>Inclusione dei soli costi operativi</i>	5,86%	4,05%	7,81%	9,19%	8,23%
<i>Inclusione di efficienza energetica e costi operativi</i>	8,60%	6,41%	10,32%	10,52%	10,72%

Status quo con sussidio all'acquisto

Le probabilità di optare per il veicolo elettrico non aumenta in modo significativo se si ipotizza di inserire un sussidio di € 5.000 diretto a ridurre il prezzo d'acquisto, come leggibile in Tabella 6. Infatti, questa misura determina sì un incremento delle probabilità di acquisto, ma con aumenti che vanno dallo 0,54% all'1,09%, rispettivamente per la Renault Zoe Q90 Life e per la Daimler Smart Forfour Electric Drive Youngster. I valori minimi e massimi della distribuzione (non riportati per esigenze di brevità) mostrano un intervallo molto ampio, lasciando intendere che è notevole l'incertezza che caratterizza il valore medio proposto, proprio in virtù delle numerosità di parametri variabili. Ciò appare verosimile vista l'evoluzione non prevedibile di alcuni attributi, soprattutto per i veicoli elettrici, fenomeno che, ovviamente, è comune anche agli altri scenari. Il sussidio, quindi, a fronte di un costo sostanzioso per l'Erario, difficilmente giustificabile nell'attuale condizione della finanza pubblica in Italia, avrebbe un effetto piuttosto contenuto. Sostanzialmente allineerebbe il mercato italiano delle auto elettriche a quello degli altri paesi europei che concedono il sussidio. Probabilmente il sussidio per essere più efficace non dovrebbe essere concesso in modo indiscriminato, ma essere mirato a quei segmenti di domanda come il trasporto su taxi o la distribuzione urbana delle merci maggiormente propense alla transizione verso i veicoli elettrici.

Status quo ed incremento dell'autonomia

Il raddoppio dell'autonomia di percorrenza, come avvenuto negli ultimi quattro anni, superando il fenomeno della *range anxiety*, genera un incremento della probabilità di acquisto maggiore rispetto a quella determinata dal sussidio, con la sola eccezione della Daimler Smart Forfour Electric Drive

¹³ Si è deciso di riportare nuovamente il risultato dello *status quo* anche all'interno di questa tabella, nella seconda riga. I valori indicati sono quelli già presentati nell'ultima riga della Tabella 5 e la loro inclusione qui è stata decisa per favorire la comparazione tra i risultati degli scenari proposti ed il medesimo *status quo*.

Youngster, per la quale l'utilità generata dallo sconto è leggermente superiore a quella dell'aumento dell'autonomia.¹⁴ Diversamente, per gli altri veicoli si registra un aumento della probabilità di scelta rispetto allo *status quo* che va dallo 0,78% della Daimler Smart Forfour Electric Drive Youngster all'1,3% della Nissan Leaf 40 kWh Visia Plus. La penetrazione dei veicoli sembra più legata al progresso tecnologico che a misure di tipo finanziario. In questo campo c'è ovviamente anche un ruolo per le politiche pubbliche, nella misura in cui queste riescono a stimolare ricerca scientifica e la produzione di batterie su scala più ampia ed a costi più contenuti. Su questo aspetto c'è un discreto margine di ottimismo in quanto i costi delle batterie si sono ridotti drasticamente negli ultimi anni, ad un tasso dell'11% all'anno, consentendo sia un aumento della densità energetica (in termini di energia per unità di peso e per unità di volume) sia una progressiva riduzione del costo per kWh.

Status quo ed inserimento delle emissioni

Il risultato che si ottiene arricchendo lo *status quo* con le emissioni del veicolo in fase d'uso è, per certi versi, inaspettato. Infatti si registra sì un incremento della probabilità di scelta di un veicolo elettrico (che mostra zero livelli di emissione), ma la variazione è quasi impercettibile, tanto che si va dallo 0,02% della Volkswagen e-Golf 2018 allo 0,04% della Nissan Leaf 40 kWh Visia Plus, BMW i3 125 kW 94 Ah e Daimler Smart Forfour Electric Drive Youngster. Ciò è chiara evidenza che il processo di acquisto è influenzato in modo marginale da considerazioni di natura ambientale. Se quindi le motivazioni ambientali sono alla base della scelta del veicolo elettrico da parte di alcuni *early adopters*, non pare esistere un considerevole effetto sulla decisione di scelta media dei consumatori basata su considerazioni sociali. Pertanto, politiche di internalizzazione dei costi ambientali e di regolamentazione all'accesso basata su criteri di efficienza ambientale sembrano necessarie per stimolare la penetrazione dei veicoli elettrici.¹⁵

Status quo e variazione dei costi operativi

Il cambiamento dello *status quo* con l'introduzione dei costi operativi determina un risultato molto interessante. Infatti, si registra per tutti i veicoli un incremento della probabilità rispetto allo *status quo* superiore al 2%, con incrementi che vanno dal 2,33% della Renault Zoe Q90 Life al 7,09% della Daimler Smart Forfour Electric Drive Youngster. Ciò a testimonianza della significativa sensibilità dei consumatori ai risparmi di costi operativi che i veicoli possono generare in virtù delle minori tasse di circolazione, della maggior efficienza energetica e dei minori costi di manutenzione e riparazione. Si tratta in sostanza di comparare il costo totale del possesso del veicolo, la cui conoscenza, nel caso di quello elettrico, potrebbe essere ancora limitata.¹⁶

Per esigenze di completezza abbiamo riportato nell'ultima riga della Tabella 6 anche l'opzione che arricchisce lo *status quo* non solo con i costi operativi, ma anche con l'efficienza energetica. I risultati mostrano in questo caso un incremento delle preferenze verso i veicoli elettrici ancora più elevato rispetto alla sola inclusione dei costi operativi. Si tratta di un risultato distorto dal fatto che sia l'attributo costi operativi sia l'attributo efficienza energetica includono una componente che cattura il consumo di carburante per unità di distanza, che viene quindi probabilmente conteggiata due volte favorendo la scelta dei veicoli elettrici.

¹⁴ L'importanza dell'autonomia di percorrenza nella preferenza per il veicolo elettrico è emersa, tra gli altri, in un recente lavoro di Collavizza et al. (2017), in cui sono esaminate le prospettive di mercato di questa tipologia di alimentazione attraverso un questionario somministrato in Friuli Venezia Giulia a circa 250 soggetti tra luglio e settembre 2017.

¹⁵ La presenza di una crescente sensibilità ambientale e di un processo di decarbonizzazione è registrato nel recente lavoro di Scorrano e Danielis (2018) che analizzano l'evoluzione del fabbisogno energetico e del mix elettrico dal 1990 al 2016 a livello europeo ed italiano.

¹⁶ Per uno studio sulla convenienza all'acquisto del veicolo elettrico in Italia basata sul costo totale di possesso si vedano i lavori di Scorrano et al. (2017) e Danielis et al. (2018).

6 Conclusioni e indicazioni di politica dei trasporti

Per la prima volta in letteratura, il presente contributo ha permesso di fare uso dello strumento della metanalisi per stimare la domanda delle auto elettriche rispetto a quelle a combustione interna. La realizzazione della metanalisi ci ha consentito di notare l'estrema eterogeneità che caratterizza i contributi selezionati. Ciò riguarda, ad esempio, il periodo di indagine, il paese, il metodo econometrico impiegato, le modalità di raccolta dei dati e della presentazione degli stessi. In numerose circostanze abbiamo riscontrato la mancanza di informazioni, ad esempio sulla numerosità delle osservazioni degli esercizi di scelta descritti negli articoli. Anche la mancanza di informazioni sui valori degli attributi, che sono invece necessari per calcolo delle deviazioni standard dei coefficienti utilizzati nella metanalisi, è stata spesso la causa di esclusione di alcuni articoli dall'analisi effettuata. Una volta effettuata la selezione dei contributi da utilizzare perché comprensivi delle informazioni minime necessarie per procedere alla metanalisi, sono stati calcolati i *summary effect* degli attributi che in letteratura vengono descritti con maggior frequenza come rilevanti nella scelta di acquisto dei veicoli elettrici: il prezzo d'acquisto, i costi operativi, l'efficienza energetica, le emissioni, l'autonomia, il tempo di ricarica e l'accelerazione.

L'obiettivo è stato quello di confrontare l'attuale quota di mercato del modello elettrico rispetto al corrispondente endotermico di 5 case automobilistiche con la quota di mercato prevista dal simulatore costruito con i valori ottenuti con la metanalisi. Il confronto ha dimostrato come in media il simulatore abbia una buona capacità di prevedere le quote di mercato correnti. Una volta accertata la robustezza dello strumento simulativo ottenuto lo si è utilizzato per prevedere l'impatto sulla probabilità di acquisto del veicolo elettrico nei confronti a coppie di un sussidio sul prezzo di acquisto delle auto elettriche pari a Euro 5.000; del raddoppio dell'autonomia di percorrenza dei veicoli elettrici; dell'inclusione delle emissioni in fase d'uso dei veicoli a combustione interna; dell'introduzione dei costi operativi; nonché dell'inclusione sia dei costi operativi, sia dell'efficienza energetica. Sulla scorta dei risultati ottenuti possiamo concludere che il raddoppio dell'autonomia determina un incremento della probabilità di acquisto maggiore rispetto all'introduzione di un sussidio che è a sua volta, notevolmente superiore all'effetto dell'esplicitazione delle emissioni prodotte dal veicolo a combustione interna che risulta di fatto trascurabile. L'inclusione dei costi operativi determina un notevole aumento della probabilità di scelta delle auto elettriche con valori stimati superiori al 9%.

I risultati invitano a fornire delle indicazioni di tipo metodologico per i ricercatori e di tipo politico per i decisori locali. Le raccomandazioni di tipo metodologico possono essere delineate sulla base degli elementi di eterogeneità e sulle mancanze sopra ricordate. Si invitano pertanto gli studiosi

- a fornire in modo dettagliato le informazioni relative agli esercizi di scelta, con riguardo al numero di intervistati ed agli esercizi di scelta;
- ad esplicitare i livelli che ciascun attributo può assumere, anche sotto forma di appendice o materiale supplementare. Questo, al di là delle presenti esigenze di indagine, potrebbe essere verosimilmente d'aiuto ad un lettore che desideri conoscere le caratteristiche del veicolo di base rispetto al quale si realizzano comparazioni;
- a proporre un confronto tra forme funzionali alternative come strumento per garantire robustezza ai risultati, introducendo quando possibile delle forme lineari che consentano ad altri studiosi una comparazione tra contributi come quella condotta qui;
- a sviluppare analisi che, nel confronto tra veicolo elettrico ed endotermico, considerino nel maggior dettaglio possibile le peculiarità che caratterizzano il primo. Ci si riferisce alla presenza di diversi tempi di ricarica e se questa operazione viene realizzata con infrastrutture lente o veloci. Ci si riferisce anche all'opportunità di incorporare l'impatto di costi di manutenzione, assicurazione e carburante.

Alla luce dei risultati ottenuti con il modello da noi elaborato, le implicazioni in termini di politiche dei trasporti sono le seguenti.

- La concessione del sussidio non pare essere decisiva per la penetrazione dei veicoli elettrici per cui se ne raccomanda un uso mirato a quei settori in cui l'efficacia è più elevata (taxi e trasporto urbano delle merci).

- L'incentivazione a favore della ricerca pubblica e privata finalizzata allo sviluppo di batterie che consentano una maggiore autonomia di percorrenza è una misura importante. Alcuni Stati, quali la Germania e il Regno Unito, stanno predisponendo anche strumenti di sostegno alla creazione di stabilimenti per la produzione di batterie in Europa per contrastare l'attuale dipendenza dai paesi asiatici.
- Dato che dal modello è risultato che il minore impatto ambientale dei veicoli elettrici non influenza in modo significativo il processo di scelta privato, politiche di internalizzazione dei costi ambientali e di regolamentazione all'accesso basata su criteri di efficienza ambientale sono necessarie per stimolare la penetrazione dei veicoli elettrici.
- Vista la sensibilità dei consumatori ai costi operativi del veicolo, qualsiasi intervento a vantaggio delle auto elettriche ha effetti rilevanti sulla loro quota di mercato. Gli strumenti comunemente adottati - quali l'azzeramento della tassa annuale di circolazione e dei costi di accesso e parcheggio ai centri storici, ormai sperimentati in diverse città italiane - sono, alla luce dei nostri risultati, decisamente da confermare e rafforzare.

Relativamente, invece, all'efficacia delle politiche di sostegno alla diffusione di infrastrutture di ricarica, una misura alquanto sostenuta e praticata in numerosi Stati, inclusa l'Italia, il nostro modello, in assenza di un sufficiente numero di studi primari che ne valutassero l'efficacia, non permette di formulare delle raccomandazioni specifiche.

Riferimenti bibliografici

- Bahamonde-Birke, F. J., Hanappi, T. (2016). The potential of electromobility in Austria: Evidence from hybrid choice models under the presence of unreported information. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 83, 30-41.
- Becker, Betsy Jane; Wu, Meng-Jia (2007). The Synthesis of Regression Slopes in Meta-Analysis. *Statist. Sci.* 22, no. 3, 414--429
- Beggs, S. D., Cardell, N. S. (1980). Choice of smallest car by multi-vehicle households and the demand for electric vehicles. *Transportation Research Part A: General*, 14(5-6), 389-404.
- Beggs, S., Cardell, S., Hausman, J. (1981). Assessing the potential demand for electric cars. *Journal of econometrics*, 17(1), 1-19.
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to meta-analysis*. Chichester: Wiley.
- Brons, M., Nijkamp, P., Pels, E., Rietveld, P., 2008. A meta-analysis of the price elasticity of gasoline demand: a SUR approach. *Energy Economics* 30 (5), 2105–2122.
- Brownstone, D., Bunch, D. S., Train, K. (2000). Joint mixed logit models of stated and revealed preferences for alternative-fuel vehicles. *Transportation Research Part B: Methodological*, 34(5), 315-338.
- Bunch, D. S., Bradley, M., Golob, T. F., Kitamura, R., Occhiuzzo, G. P. (1993). Demand for clean-fuel vehicles in California: a discrete-choice stated preference pilot project. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 27(3), 237-253.
- Calfee, J. E. (1985). Estimating the demand for electric automobiles using fully disaggregated probabilistic choice analysis. *Transportation Research Part B: Methodological*, 19(4), 287-301.
- Cherchi, E. (2017). A stated choice experiment to measure the effect of informational and normative conformity in the preference for electric vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 100, 88-104.
- Chorus, C. G., Koetse, M. J., & Hoen, A. (2013). Consumer preferences for alternative fuel vehicles: Comparing a utility maximization and a regret minimization model. *Energy Policy*, 61, 901-908.
- Christensen L, Kveiborg O, Mabit SL. (2012), The market for electric vehicles. What do potential users want. In: Paper presented at 12th World Conference on Transportation Research, Lisbon, Portugal; 2012. p. 11e5.
- Cohen, J., Cohen, P., West, S. G., & Aiken, L. S. (2003). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences*. New York: Wiley.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research methods in education*. London: Routledge.
- Collavizza C., Giansoldati M., Rotaris L. (2017), Prospettive di mercato e accettabilità dell'automobile elettrica: un'indagine empirica, *Rivista di Economia e Politica dei Trasporti*, N. 2.
- Dagsvik, J. K., Wennemo, T., Wetterwald, D. G., Aaberge, R. (2002). Potential demand for alternative fuel vehicles. *Transportation Research Part B: Methodological*, 36(4), 361-384.
- Danielis R., Giansoldati M. (2017a), Comparing the Life-Cycle CO₂ Emissions of the Best-Selling Electric and Internal Combustion Engine Cars in Italy
- Danielis R., Giansoldati M. (2017b) "Consumer- and Society-Oriented Cost of Ownership of Electric and Conventional Cars in Italy", mimeo
- Danielis, R., Giansoldati, M., & Rotaris, L. (2018). A probabilistic total cost of ownership model to evaluate the current and future prospects of electric cars uptake in Italy. *Energy Policy*, 119, 268-281.
- Danielis R., Giansoldati M., Rotaris L., Scorrano M. (2018), "A Meta-Analysis of the Importance of the Driving Range in Consumers' Preferences Studies for Battery Electric Vehicles", mimeo
- Daziano, R. A. (2013). Conditional-logit Bayes estimators for consumer valuation of electric vehicle driving range. *Resource and Energy Economics*, 35(3), 429-450.
- Daziano, R. A., Chiew, E. (2012). Electric vehicles rising from the dead: data needs for forecasting consumer response toward sustainable energy sources in personal transportation. *Energy Policy*, 51, 876-894.

- Dimitropoulos, A., Rietveld, P., & Van Ommeren, J. N. (2013). Consumer valuation of changes in driving range: A meta-analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 55, 27-45.
- Dimitropoulos, A., van Ommeren, J. N., Koster, P., Rietveld, P. (2016). Not fully charged: Welfare effects of tax incentives for employer-provided electric cars. *Journal of Environmental Economics and Management*, 78, 1-19.
- Ewing, G.O., Sarigöllü, E., (1998). Car fuel-type choice under travel demand management and economic incentives. *Transportation Research Part D* 3 (6), 429-444.
- Ewing, G., Sarigöllü, E. (2000). Assessing consumer preferences for clean-fuel vehicles: A discrete choice experiment. *Journal of public policy & marketing*, 19(1), 106-118.
- Giansoldati, M., Danielis, R., Rotaris, L., & Scorrano, M. (2018). The role of driving range in consumers' purchasing decision for electric cars in Italy, Vol. 165, *Energy*, Part A, December, pp. 267-274
- Glass, G.V., 1976. Primary, secondary, and meta-analysis of research. *Educational Researcher* 5 (10), 3–8.
- Golob, T.F., Torous, J., Bradley, M., Brownstone, D., Crane, S.S., Bunch, D.S., (1997). Commercial fleet demand for alternative-fuel vehicles in California. *Transportation Research Part A* 31 (3), 219–233.
- Hackbarth, A., Madlener, R. (2013). Consumer preferences for alternative fuel vehicles: A discrete choice analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 25, 5-17.
- Hackbarth, A., Madlener, R. (2016). Willingness-to-pay for alternative fuel vehicle characteristics: A stated choice study for Germany. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 85, 89-111.
- Hess, S., Train, K. E., & Polak, J. W. (2006). On the use of a modified latin hypercube sampling (MLHS) method in the estimation of a mixed logit model for vehicle choice. *Transportation Research Part B: Methodological*, 40(2), 147-163.
- Hidrue, M. K., Parsons, G. R., Kempton, W., & Gardner, M. P. (2011). Willingness to pay for electric vehicles and their attributes. *Resource and Energy Economics*, 33(3), 686-705.
- Hoen, A., Koetse, M. J. (2014). A choice experiment on alternative fuel vehicle preferences of private car owners in the Netherlands. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 61, 199-215.
- Holmgren, J., 2007. Meta-analysis of public transport demand. *Transportation Research Part A* 41 (10), 1021–1035.
- Jensen, A. F., Cherchi, E., Mabit, S. L. (2013). On the stability of preferences and attitudes before and after experiencing an electric vehicle. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 25, 24-32.
- Kim, R. S. (2011). Standardized regression coefficients as indices of effect sizes in meta-analysis.
- Knockaert, J. (2010). Economic and technical analysis of road transport emissions (Doctoral dissertation, Ph. D. dissertation, Katholieke Universiteit Leuven).
- Link, C., Raich, U., Sammer, G., Stark, J. (2012). Modeling demand for electric cars-a methodical approach. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 48, 1958-1970.
- Mabit, S. L., Fosgerau, M. (2011). Demand for alternative-fuel vehicles when registration taxes are high. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(3), 225-231.
- Nelson, J.P., 2004. Meta-analysis of airport noise and hedonic property values. *Journal of Transport Economics and Policy* 38 (1), 1–27.
- Parsons, G.R., Hidrue, M.K., Kempton, W., Gardner, M.P., (2011). Can vehicle-to-grid revenues help electric vehicles on the market? Working Paper 2011-21. Department of Economics, University of Delaware, Newark, DE.
- Potoglou, D., & Kanaroglou, P. S. (2007). Household demand and willingness to pay for clean vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(4), 264-274.
- Quinet, E., 2004. A meta-analysis of Western European external costs estimates. *Transportation Research Part D* 9 (6), 465–476.
- Ramjerdi, F., Rand, L., 1999. Demand for clean fuel car in Norway. Presented at the Second KFB-Research Conference, Lund, Sweden, 7–8 June.

Rasouli, S., Timmermans, H. (2016). Influence of social networks on latent choice of electric cars: a mixed logit specification using experimental design data. *Networks and Spatial Economics*, 16(1), 99-130.

Stanley, T. D. and Jarrell, S. B. (1989). Meta-regression analysis: A quantitative method of literature surveys. *J. Economic Surveys* 3 161–170.

Scorrano M, Danielis (2018) Scenari futuri del mix elettrico in Europa e in Italia: un'applicazione del modello ARIMA per l'analisi delle serie storiche, in: Giorgio Osti, Luigi Pellizzoni (a cura di), *Energia e innovazione tra flussi globali e circuiti locali*, Trieste, EUT Edizioni Università di Trieste, 2018, pp. 103-120

Scorrano M., Danielis R., Giansoldati M. (2017), *Conviene acquistare un'automobile elettrica? Un'applicazione all'Italia del modello del costo totale di possesso*, *Rivista di Economia e Politica dei Trasporti*, N. 2

Tanaka, M., Ida, T., Murakami, K., Friedman, L. (2014). Consumers' willingness to pay for alternative fuel vehicles: A comparative discrete choice analysis between the US and Japan. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 70, 194-209.

Tompkins, M., Bunch, D., Santini, D., Bradley, M., Vyas, A., Poyer, D. (1998). Determinants of alternative fuel vehicle choice in the continental United States. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1641), 130-138.

Train, K., Weeks, M. (2005). Discrete choice models in preference space and willingness-to-pay space. In *Applications of simulation methods in environmental and resource economics* (pp. 1-16). Springer, Dordrecht.

UNRAE (Unione Nazionale Rappresentanti Veicolo Esteri) (2018), *Immatricolazioni in Italia di autovetture e fuoristrada. Top ten per alimentazione*. Settembre 2018.

Valeri, E., Danielis, R. (2015). Simulating the market penetration of cars with alternative fuel powertrain technologies in Italy. *Transport Policy*, 37, 44-56.

Ziegler, A. (2012). Individual characteristics and stated preferences for alternative energy sources and propulsion technologies in vehicles: A discrete choice analysis for Germany. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(8), 1372-1385.

Appendice

Appendice metodologica

Metodologia per la standardizzazione e la normalizzazione dei coefficienti

Una volta ottenuto il *summary effect* è necessario procedere alla sua denormalizzazione, ovvero il processo inverso descritto nella Sezione 4, e quindi alla destandardizzazione, in modo da riportare il valore ottenuto nella metrica dell'attributo di interesse. A tale scopo è necessario definire l'intervallo di valori che verrà utilizzato per ogni attributo nell'esercizio di simulazione e dividere il valore del *summary effect* per la deviazione standard relativa all'intervallo di valori scelto.

Nelle tabelle a seguire si riportano i valori degli attributi utilizzati per l'esercizio di simulazione.

Tabella 7. Livelli del prezzo utilizzati per la simulazione

Marca	Livelli prezzo EV (€1.000)	Livelli prezzo ICEV (€1.000)
Nissan	24; 28; 33	14; 18; 22
Renault	24; 28; 33	10; 14; 18
BMW	33; 37; 40	18; 22; 26
Daimler	16; 20; 24	10; 14; 18
VW	33; 37; 40	14; 18; 22

Note: Utilizziamo l'acronimo EV per riferirci in modo sintetico ai veicoli elettrici.

Tabella 8. Livelli dell'autonomia utilizzati per la simulazione

Marca	Autonomia EV (100km con batteria carica)	Autonomia ICEV (100km con serbatoio pieno)
Nissan	3; 3,5; 4	8; 10; 12
Renault	3; 3,5; 4	8; 10; 12
BMW	1,5; 2; 2,5	8; 10; 12
Daimler	1,5; 2; 2,5	4; 6; 8
Volkswagen	3; 3,5; 4	8; 10; 12

Note: Utilizziamo l'acronimo EV per riferirci in modo sintetico ai veicoli elettrici.

Tabella 9. Livelli della efficienza energetica utilizzati per la simulazione

Marca	Efficienza energetica EV SQ (Euro per 100 km)	Efficienza energetica non-EV SQ (Euro per 100 km)
<i>Nissan</i>	4; 4,6; 5,2	9; 10,35; 11,7
<i>Renault</i>	3; 3,45; 3,9	9; 10,35; 11,7
<i>BMW</i>	3; 3,45; 3,9	9; 10,35; 11,7
<i>Daimler</i>	4; 4,6; 5,2	10; 11,5; 13
<i>Volkswagen</i>	3; 3,45; 3,9	13; 14,95; 16,9

Note: Utilizziamo l'acronimo EV per riferirci in modo sintetico ai veicoli elettrici, mentre SQ è l'acronimo di *status quo*.

Tabella 10. Livelli dei costi operativi utilizzati per la simulazione

Marca	Costi operativi EV SQ (Euro per 10,000 km)	Costi operativi non-EV SQ (Euro per 10,000 km)
<i>Nissan</i>	1.881	2.903
<i>Renault</i>	1.824	2.825
<i>BMW</i>	2.041	3.200
<i>Daimler</i>	1.917	2.995
<i>Volkswagen</i>	1.742	3.408

Note: Utilizziamo l'acronimo EV per riferirci in modo sintetico ai veicoli elettrici, mentre SQ è l'acronimo di *status quo*.

Tabella 11. Livelli dell'accelerazione per l'esercizio di preferenze dichiarate

Marca	Accelerazione EV SQ (secondi per raggiungere 100 km/h)	Accelerazione non-EV SQ (secondi per raggiungere 100 km/h)
<i>Nissan</i>	11,5; 12,65; 13,8	10,6; 11,13; 11,66
<i>Renault</i>	13,2; 14,52; 15,84	14,5; 15,225; 15,95
<i>BMW</i>	7,3; 8,03; 8,76	10,9; 11,445; 11,99
<i>Daimler</i>	12,7; 13,97; 15,24	16,9; 17,745; 18,59
<i>Volkswagen</i>	9,6; 10,56; 11,52	11,9; 12,495; 13,09

Note: Utilizziamo l'acronimo EV per riferirci in modo sintetico ai veicoli elettrici, mentre SQ è l'acronimo di *status quo*.

Tabella 12. Livelli del tempo di ricarica/rifornimento per l'esercizio di preferenze dichiarate

Marca	Tempo di ricarica EV (minuti per caricare la batteria)	SQ	Tempo di ricarica non-EV (minuti per realizzare rifornimento)
<i>Nissan</i>	60; 66, 72		7; 7,7; 8,4
<i>Renault</i>	55; 60,5; 66		7; 7,7; 8,4
<i>BMW</i>	39; 42,9; 46,8		7; 7,7; 8,4
<i>Daimler</i>	45; 49,5; 54		7; 7,7; 8,4
<i>Volkswagen</i>	45; 49,5; 54		7; 7,7; 8,4

Note: Utilizziamo l'acronimo EV per riferirci in modo sintetico ai veicoli elettrici, mentre SQ è l'acronimo di *status quo*.

Tabella 13. Livelli delle emissioni per l'esercizio di preferenze dichiarate

Marca	Emissioni EV (kg/km)	Emissioni non-EV (kg/km)
<i>Nissan</i>	0	0,129
<i>Renault</i>	0	0,127
<i>BMW</i>	0	0,134
<i>Daimler</i>	0	0,96
<i>Volkswagen</i>	0	0,108

Note: Utilizziamo l'acronimo EV per riferirci in modo sintetico ai veicoli elettrici.

Appendice bibliografica

Tabella 14. I 36 studi selezionati

Autori	Prezzo	Consumi	Autonomia	Accel. (secondi)	Emissioni inquinanti	Tempo di ricarica
<i>Beggs e Cardell (1980)</i>	X	costi operativi annuali in valore assoluto				
<i>Beggs et al. (1981)</i>	X	costi del carburante per 10.000 miglia annuali	generico			
<i>Calfee (1985)</i>	X	costi operativi per unità di distanza	VE-specifico			
<i>Bunch et al. (1993)</i>	X	efficienza monetaria per unità di distanza	non-VE specifico		generico	
<i>Golob et al. (1997)</i>	X	costi operativi per unità di distanza	generico		generico	ricarica veloce, ricarica lenta
<i>Tompkins et al. (1998)</i>	X	costo operativo all'anno	generico	0-30 mph	generico	
<i>Ewing e Sarigöllü (1998)</i>	X	costi operativi annuali in valore assoluto	generico	informazione qualitativa	generico	ricarica veloce, ricarica lenta (indistinto nelle stime)
<i>Ramjerdi e Rand (1999)</i>	X	efficienza energetica per unità di distanza	non-VE specifico		generico	
<i>Ewing e Sarigöllü (2000)</i>	X	costi operativi annuali + costi di manutenzione	non-VE specifico	informazione qualitativa	generico	ricarica veloce, ricarica lenta (indistinto nelle stime)
<i>Brownstone et al. (2000)</i>	X	efficienza energetica per unità di distanza	generico	0-30 mph	generico	
<i>Dagsvik et al. (2002)</i>	X	litri per km	generico			
<i>Train e Weeks (2005)</i>	X	costi operativi annuali in valore assoluto	generico			
<i>Hess et al. (2006)</i>	X	costi operativi annuali in valore assoluto	generico			
<i>Potoglu e Kanaroglou (2007)</i>	X	costi operativi annuali + costi di manutenzione		0-60 mph	generico	
<i>Knockaert (2010)</i>	X	efficienza energetica per unità di distanza	generico		generico	
<i>Hidrue et al. (2011)</i>	X	prezzo al litro	VE-specifico	informazione qualitativa	generico	ricarica veloce, ricarica lenta
<i>Mabit e Fosgerau (2011)</i>	X	costi operativi annuali in valore assoluto	generico	0-60 mph		
<i>Parsons et al. (2011)</i>	X	prezzo al litro	VE-specifico	informazione qualitativa	generico	ricarica veloce, ricarica lenta
<i>Christensen et al. (2012)</i>	X	costi operativi annuali in valore assoluto	generico	0-60 mph		
<i>Hess et al. (2012)</i>	X	costi operativi annuali + costi di manutenzione	generico	0-60 mph		
<i>Link et al. (2012)</i>	X	costi operativi per unità di distanza	VE-specifico		inquinante globale (emissioni di CO ₂)	
<i>Ziegler (2012)</i>	X	efficienza energetica per unità di distanza	non-VE specifico		inquinante globale (emissioni di CO ₂)	
<i>Daziano (2013)</i>	X	efficienze energetica in valore assoluto	VE-specifico			
<i>Chorus et al. (2013)</i>	X	contributo dei dipendenti	generico			ricarica veloce, ricarica lenta (indistinta nelle stime)

<i>Daziano e Chew (2013)</i>		costi operativi (dettaglio assente)	VE-specifico		
<i>Hackbarth e Madlener (2013)</i>	X	efficienza energetica per unità di distanza	non-VE specifico		inquinante globale (emissioni di CO ₂) ricarica veloce, ricarica lenta
<i>Jensen et al. (2013)</i>	X	efficienza energetica per unità di distanza	non-VE specifico		inquinante globale (emissioni di CO ₂)
<i>Hoer e Koetse (2014)</i>	X	costi operativi annuali in valore assoluto	non-VE specifico		ricarica veloce, ricarica lenta (EV e fuel cell)
<i>Tanaka et al. (2014)</i>	X	riduzione nel costo del carburante (percentuale) rispetto al veicolo a benzina	generico		generico
<i>Valeri e Danielis (2015)</i>	X	costi operativi annuali in valore assoluto	non-VE specifico	0-60 mph	inquinante globale (emissioni di CO ₂)
<i>Bahamonde-Birke e Hanappi (2016)</i>	X	efficienza energetica per unità di distanza	VE-specifico		
<i>Hackbarth e Madlener (2016)</i>	X	efficienza energetica per unità di distanza	generico		inquinante globale (emissioni di CO ₂)
<i>Dimitropoulos et al. (2016)</i>	X	costi operativi annuali (contributo netto dei dipendenti)	non-VE specifico		inquinante globale (emissioni di CO ₂) ricarica veloce, ricarica lenta
<i>Rasouli e Timmermans (2016)</i>		costi operativi netti superiori o inferiori rispetto al veicolo a benzina (costi di manutenzione non inclusi)	VE-specifico		
<i>Cherchi (2017)</i>	X	efficienza energetica per unità di distanza	non-VE specifico		
<i>Giansoldati et al. (2018)</i>	X	costi operativi annuali in valore assoluto	non-VE specifico		

Coefficienti originari e deviazione standard usati per il calcolo dei *summary effect*

Tabella 15. Coefficienti originari e deviazione standard per il prezzo

Autore	coefficiente originario	deviazione standard
<i>Beggs e Cardell (1980)</i>	-0,3462	2,53
<i>Beggs e Cardell (1980)</i>	-0,3857	2,53
<i>Beggs e Cardell (1980)</i>	-0,3885	2,53
<i>Beggs e Cardell (1980)</i>	-0,2943	2,53
<i>Beggs e Cardell (1980)</i>	-0,0679	2,53
<i>Beggs e Cardell (1980)</i>	-0,0773	2,53
<i>Beggs et al. (1981)</i>	-0,2093	1,75
<i>Beggs et al. (1981)</i>	-0,1762	1,75
<i>Daziano (2013)</i>	-0,0533	14,18
<i>Daziano (2013)</i>	-0,1879	14,18
<i>Daziano (2013)</i>	-0,1228	14,18
<i>Golob et al. (1997)</i>	-0,0000265	29.027,97
<i>Golob et al. (1997)</i>	-0,0000235	8.379,05
<i>Golob et al. (1997)</i>	-0,0000143	29.027,97
<i>Golob et al. (1997)</i>	-0,0000239	29.027,97
<i>Valeri e Danielis (2015)</i>	-0,208	7.819,62
<i>Valeri e Danielis (2015)</i>	-0,633	7.819,62
<i>Giansoldati et al. (2018)</i>	-0,0641	10.893,65

Tabella 16. Coefficienti originari e deviazione standard per l'efficienza energetica

Autore	coefficiente originario	deviazione standard
<i>Beggs et al. (1981)</i>	-0,7891	0,44
<i>Beggs et al. (1981)</i>	-0,5972	0,44
<i>Bunch et al. (1993)</i>	-0,19	5,66
<i>Bunch et al. (1993)</i>	-0,177	5,66
<i>Bunch et al. (1993)</i>	-0,174	5,66
<i>Ramjerdi e Rand (1999)</i>	-0,0088	2,78
<i>Ramjerdi e Rand (1999)</i>	-0,1329	2,78
<i>Ramjerdi e Rand (1999)</i>	-0,1023	2,78
<i>Ramjerdi e Rand (1999)</i>	-0,1341	2,78
<i>Brownstone et al. (2000)</i>	-0,076	5,63
<i>Brownstone et al. (2000)</i>	-0,236	5,63
<i>Brownstone et al. (2000)</i>	-0,193	5,63
<i>Brownstone et al. (2000)</i>	-0,17	5,63
<i>Brownstone et al. (2000)</i>	-0,131	5,63

<i>Knockaert (2010)</i>	-10,6868	0,02
<i>Knockaert (2010)</i>	-10,7673	0,02
<i>Knockaert (2010)</i>	-10,7551	0,02
<i>Knockaert (2010)</i>	-10,7843	0,02
<i>Knockaert (2010)</i>	-8,3326	0,02
<i>Knockaert (2010)</i>	-12,5772	0,02
<i>Knockaert (2010)</i>	-12,5759	0,02
<i>Knockaert (2010)</i>	-15,872	0,02
<i>Knockaert (2010)</i>	-15,9077	0,02
<i>Ziegler (2012)</i>	-4,56	0,08
<i>Ziegler (2012)</i>	-4,66	0,08
<i>Ziegler (2012)</i>	-4,69	0,08
<i>Ziegler (2012)</i>	-3,65	0,08
<i>Ziegler (2012)</i>	-4,38	0,08
<i>Ziegler (2012)</i>	-4,47	0,08
<i>Ziegler (2012)</i>	-5,61	0,08
<i>Ziegler (2012)</i>	-6,04	0,08
<i>Ziegler (2012)</i>	-6,23	0,08
<i>Ziegler (2012)</i>	-6,2	0,08
<i>Ziegler (2012)</i>	-7,57	0,08
<i>Ziegler (2012)</i>	-8,21	0,08
<i>Hackbarthe Madlener (2013)</i>	-0,049	10
<i>Hackbarthe Madlener (2013)</i>	-0,0532	10
<i>Hackbarth e Madlener (2016)</i>	-0,048	10
<i>Hackbarth e Madlener (2016)</i>	-0,0446	10
<i>Hackbarth e Madlener (2016)</i>	-0,1988	10
<i>Hackbarth e Madlener (2016)</i>	-0,0224	10
<i>Hackbarth e Madlener (2016)</i>	-0,0291	10
<i>Hackbarth e Madlener (2016)</i>	-0,0681	10
<i>Hackbarth e Madlener (2016)</i>	-0,0142	10
<i>Bahamonde-Birke e Hanappi (2016)</i>	-31,5	0,02
<i>Bahamonde-Birke e Hanappi (2016)</i>	-31,1	0,02
<i>Bahamonde-Birke e Hanappi (2016)</i>	-31,7	0,02

Tabella 17. Coefficienti originari e deviazione standard per i costi operativi

Autore	coefficiente originario	deviazione standard
<i>Valeri e Danielis (2015)</i>	-1,287	0,43
<i>Valeri e Danielis (2015)</i>	-4,616	0,43
<i>Giansoldati et al. (2018)</i>	-0,237	0,81

Tabella 18. Coefficienti originari e deviazione standard per l'autonomia dei veicoli elettrici

Autore	coefficiente originario	deviazione standard
<i>Golob et al. (1997)</i>	0,00152	92,45
<i>Dagsivik et al. (2002)</i>	0,001861	282,84
<i>Dagsivik et al. (2002)</i>	0,00213	282,84
<i>Dagsivik et al. (2002)</i>	0,0010818	282,84
<i>Dagsivik et al. (2002)</i>	0,001465	282,84
<i>Dagsivik et al. (2002)</i>	0,00014	282,84
<i>Dagsivik et al. (2002)</i>	0,001	282,84
<i>Christensen et al. (2010)</i>	0,0017	84,85
<i>Chorus et al. (2013)</i>	0,00137	154,94
<i>Chorus et al. (2013)</i>	0,000954	154,94
<i>Hackbarth e Madlener (2013)</i>	0,0015	300
<i>Hackbarth e Madlener (2013)</i>	0,0016	300
<i>Hoen e Koetse (2014)</i>	0,0063	119,68
<i>Hoen e Koetse (2014)</i>	0,0047	119,68
<i>Hoen e Koetse (2014)</i>	0,0018	119,68
<i>Valeri e Danielis (2015)</i>	0,010485	51,19
<i>Valeri e Danielis (2015)</i>	0,021695	51,19
<i>Giansoldati et al. (2018)</i>	0,006499	93,58

Tabella 19. Coefficienti originari e deviazione standard per l'autonomia dei veicoli non-elettrici

Autore	coefficiente originario	deviazione standard
<i>Golob et al. (1997)</i>	0,00152	92,45
<i>Dagsivik et al. (2002)</i>	0,001861	282,84
<i>Dagsivik et al. (2002)</i>	0,00213	282,84
<i>Dagsivik et al. (2002)</i>	0,0010818	282,84
<i>Dagsivik et al. (2002)</i>	0,001465	282,84
<i>Dagsivik et al. (2002)</i>	0,00014	282,84
<i>Dagsivik et al. (2002)</i>	0,001	282,84
<i>Christensen et al. (2010)</i>	0,0017	84,85
<i>Chorus et al. (2013)</i>	0,00137	154,94
<i>Chorus et al. (2013)</i>	0,000954	154,94
<i>Hackbarth e Madlener (2013)</i>	0,0015	300

<i>Hackbarth e Madlener (2013)</i>	0,0016	300
<i>Hoen e Koetse (2014)</i>	0,0063	119,68
<i>Hoen e Koetse (2014)</i>	0,0047	119,68
<i>Hoen e Koetse (2014)</i>	0,0018	119,68
<i>Valeri e Danielis (2015)</i>	0,010485	233,93
<i>Valeri e Danielis (2015)</i>	0,021695	233,93
<i>Giansoldati et al. (2018)</i>	0,006499	287,14

Tabella 20. Coefficienti originari e deviazione standard per l'accelerazione dei veicoli elettrici

Autore	coefficiente originario	deviazione standard
<i>Tompkins et al. (1998)</i>	-0,061988	5,66
<i>Tompkins et al. (1998)</i>	-0,08232	5,66
<i>Tompkins et al. (1998)</i>	-0,003796	5,66
<i>Tompkins et al. (1998)</i>	-0,07559	5,66
<i>Brownstone et al. (2000)</i>	-0,064	2,97
<i>Brownstone et al. (2000)</i>	-0,151	2,97
<i>Brownstone et al. (2000)</i>	-0,329	2,97
<i>Brownstone et al. (2000)</i>	-0,149	2,97
<i>Brownstone et al. (2000)</i>	-0,09	2,97
<i>Potoglu e Kanaroglou (2007)</i>	-0,07	3,59
<i>Valeri e Danielis (2015)</i>	-0,113	1,07

Tabella 21. Coefficienti originari e deviazione standard per l'accelerazione dei veicoli non-elettrici

Autore	coefficiente originario	deviazione standard
<i>Tompkins et al. (1998)</i>	-0,061988	5,66
<i>Tompkins et al. (1998)</i>	-0,08232	5,66
<i>Tompkins et al. (1998)</i>	-0,003796	5,66
<i>Tompkins et al. (1998)</i>	-0,07559	5,66
<i>Brownstone et al. (2000)</i>	-0,064	2,97
<i>Brownstone et al. (2000)</i>	-0,151	2,97
<i>Brownstone et al. (2000)</i>	-0,329	2,97
<i>Brownstone et al. (2000)</i>	-0,149	2,97
<i>Brownstone et al. (2000)</i>	-0,09	2,97
<i>Potoglu e Kanaroglou (2007)</i>	-0,07	3,59
<i>Valeri e Danielis (2015)</i>	-0,126	1,51

Tabella 22. Coefficienti originari e deviazione standard per il tempo di ricarica dei veicoli elettrici

Autore	coefficiente originario	deviazione standard
<i>Ewing e Sarigöllü (1998)</i>	-0,0014	108,68
<i>Ewing e Sarigöllü (1998)</i>	-0,00146	108,68
<i>Hackbarth e Madlener (2013)</i>	-0,0009	189,30
<i>Hackbarth e Madlener (2013)</i>	-0,0009	189,30
<i>Hoen e Koetse (2014)</i>	-0,003	206,40
<i>Hoen e Koetse (2014)</i>	-0,0015	206,40
<i>Hoen e Koetse (2014)</i>	-0,0012	206,40