

Un modello di stima del Costo Totale di Possesso per valutare la convenienza all'acquisto di un'auto elettrica

MARIANGELA SCORRANO, ROMEO DANIELIS, MARCO GIAN SOLDATI

1. INTRODUZIONE

Molti sono i fattori che influenzano le decisioni di acquisto di un'automobile da parte dei consumatori, sia di natura monetaria (ad es. prezzo di acquisto, tasse, costi operativi, parcheggi ecc.) sia non monetaria (ad es. autonomia di guida, marca, tempo di ricarica, presenza di infrastrutture di ricarica, dimensioni, ecc.) (Coffman et al., 2017; Berkeley et al., 2017; Liao et al., 2017; Biresselioglu et al., 2018). Una vasta letteratura analizza l'importanza di questi fattori utilizzando studi di preferenza rivelata o dichiarata. I risultati sono eterogenei e talvolta controversi, ma il ruolo cruciale giocato dalle variabili monetarie è ampiamente riconosciuto. Queste comprendono i costi iniziali, i costi operativi annuali e i spesso trascurati costi finanziari. Nel confronto tra auto elettriche ed endotermiche, le prime sono caratterizzate da costi iniziali più elevati ma da costi operativi inferiori. Nella loro scelta di acquisto, tuttavia, i consumatori potrebbero non essere in grado di valutare correttamente la collocazione temporale di questi tipi di spese (Hagman et al., 2016). Infatti, mentre i costi iniziali sono immediatamente percepibili, i costi operativi sono più difficili da calcolare e tendono a essere stimati erroneamente (sopravalutati/sottovalutati). I modelli di Costo

Totale di Possesso (TCO) mirano ad accrescere la consapevolezza dei consumatori identificando e calcolando correttamente le numerose componenti di costo legate al possesso e alla gestione di un'automobile, facendo uso di dati stimati attuali e futuri. Anche i produttori di autoveicoli potrebbero beneficiare di tali modelli, utilizzandoli per prevedere le tendenze future del mercato o per scopi di marketing. Questo lavoro sviluppa un modello di TCO per valutare le prospettive di diffusione delle automobili elettriche in Italia. A questo scopo, considereremo solo una delle due componenti del TCO (Letmathe e Soares, 2017), cioè quella legata ai costi privati derivanti dall'utilizzo dell'automobile ("*consumer-oriented*" TCO) e non valuteremo invece i costi sociali ("*society-oriented*" TCO).

La costruzione e l'implementazione di un modello di TCO richiede l'identificazione delle molteplici componenti di costo legate all'acquisto e alla gestione di un'auto. Alcune di esse hanno valori incerti (ad esempio il consumo reale in condizioni di guida reali, manutenzione e riparazioni, valore residuo), alcune hanno una natura soggettiva (ad esempio i premi assicurativi, variabili in base a età, stili di guida, luogo di residenza, ecc.) o variano nel tempo (ad esempio i costi di carburante o elettricità). Alcuni costi derivano poi da decisioni politiche (ad esempio incentivi monetari o non monetari, spese per il parcheggio o per l'accesso ad aree urbane riservate).

In questo lavoro proponiamo un confronto tra il TCO delle tre auto elettriche più vendute in Italia nel periodo gennaio/aprile 2018 (Nissan Leaf, Smart ForFour Electric Youngster, Renault Zoe) rispetto alle loro equivalenti versioni a benzina. In particolare, a differenza dei principali modelli proposti in letteratura, il nostro lavoro:

- considera i potenziali risparmi derivanti dalle politiche di incentivazione attuate a livello di città, come il parcheggio gratuito o a costo ridotto e le tariffe agevolate per l'accesso nelle aree centrali di una città,
- prende in considerazione in modo esplicito le diverse abitudini di ricarica in base alla disponibilità del garage,
- distingue tra viaggi urbani e extraurbani
- considera la variabilità nell'efficienza energetica delle auto elettriche nei mesi più freddi o più caldi dell'anno.

Al fine di catturare tutti questi diversi aspetti, sviluppiamo un modello TCO *ad personam* in linea con De Clerk et al. (2018). Adottiamo, inoltre, un approccio specifico per paese, concentrandoci sul caso italiano, che presenta tratti peculiari rispetto a quelli di altri paesi europei. Nel Vecchio

Continente, lo sviluppo del mercato delle automobili elettriche è molto eterogeneo. Da un lato, molti paesi hanno già deciso di eliminare la vendita e la circolazione dei veicoli a combustione interna nel medio o lungo termine, come la Norvegia (dal 2025) e i Paesi Bassi (dal 2035). Al contempo numerose case automobilistiche hanno deciso di adeguarsi allo stesso trend cessando la produzione dei veicoli diesel, che risultano i più inquinanti della categoria. Di conseguenza, anche le normative governative e locali si stanno gradualmente adeguando per accogliere e incentivare i cambiamenti in essere. Al contrario, il mercato italiano delle auto elettriche è ancora molto arretrato: nel 2017 sono state vendute 1.967 vetture elettriche (lo 0,1% del mercato, quota salita allo 0,2% nel primo trimestre del 2018) e 66.000 auto ibride (comunque in forte crescita rispetto al 2016, +71%). Ciò è dovuto a diversi motivi, tra cui in particolare la mancanza di sussidi specifici, una tassazione fiscale che favorisce i veicoli diesel e la mancanza di una diffusa rete di infrastrutture di ricarica.

Il lavoro è strutturato come segue: la Sezione 2 propone una rassegna della letteratura, la Sezione 3 illustra il modello di TCO adottato, la Sezione 4 presenta i principali risultati ottenuti dall'implementazione del modello, la Sezione 5 mostra i risultati delle analisi di sensitività, mentre la Sezione 6 conclude fornendo raccomandazioni politiche.

2. RASSEGNA DELLA LETTERATURA

La letteratura sul TCO delle automobili presenta un'evoluzione costante, come confermato dalle recenti rassegne di Wu et al. (2015) e Bubeck et al. (2016). A partire dal pionieristico contributo di Delucchi e Lipman (2001), altri lavori sono rapidamente seguiti, cercando di tener conto delle specificità nazionali o regionali e di fornire stime sempre più dettagliate. Alcuni si sono occupati sia di costi privati sia di costi sociali, considerando quelli derivanti dalle emissioni di CO₂ (Kromer e Heywood, 2007; Liu e Santos, 2015; Bubeck et al., 2016; Falcão et al., 2017), o quelli generati da inquinanti locali e dal rumore (Prud'homme e Koning, 2012; Mitropolous et al., 2017; Danielis e Giansoldati, 2017). È ovvio che includere i costi sociali all'interno dei modelli di TCO rende il compito di ricerca ancora più impegnativo ed aggiunge incertezza ai risultati, visto che richiede di monetizzare servizi e beni che non sono però commerciabili.

Valutazioni sul TCO sono state realizzate per confrontare diversi sistemi di alimentazione e classi di veicoli in vari paesi. Emerge un'estrema eterogeneità nei contributi finora sviluppati, che nella maggior parte dei casi presentano

specificità territoriali e temporali. Diversi paesi sono stati analizzati (Lévay et al., 2017; Palmer et al., 2018) con risultati estremamente differenti in quanto ogni nazione ha una specifica struttura di costo che deriva da diversi prezzi del carburante/elettricità, premi assicurativi e sussidi. Ulteriori fonti di eterogeneità derivano dalle tipologie di percorsi (urbani ed extraurbani), dalla densità abitativa (Wu et al., 2015) e se l'automobile è impiegata come primo o secondo veicolo all'interno del nucleo familiare (Propfe e Redelbach, 2012; Plötz et al., 2013).

Gli studi realizzati finora si sono concentrati su veicoli di classi diverse, ognuno dotato delle proprie peculiarità. Si può trattare di modelli concettuali, le cui caratteristiche sono definite dalle principali componenti del veicolo, oppure di modelli rappresentativi, selezionati da quelli offerti nel mondo reale in un particolare momento. In molti casi il numero di veicoli rappresentativi è piuttosto limitato, specialmente per le auto elettriche, data la loro limitata diffusione almeno fino agli ultimi due/tre anni, con l'eccezione del lavoro di Lévay et al. (2017) in cui gli autori sono stati in grado di confrontare 10 tipi di veicoli con diverse forme di alimentazione in otto Paesi europei.

Per queste ragioni le prospettive di diffusione delle auto elettriche dipendono da fattori specifici connessi al paese, alla classe del veicolo e dalle abitudini modali dell'utilizzatore. Non è quindi particolarmente sorprendente che i risultati finora conseguiti non siano univoci.

Il lavoro pionieristico di Kromer e Heywood (2007) dimostra che non vi è un chiaro vincitore nella futura competizione tra sistemi di alimentazione, a meno che non vi sia un forte intervento pubblico sotto forma di incentivi. Prud'homme e Koning (2012) affermano che senza miglioramenti massicci nei costi e nell'efficienza, le auto elettriche necessiterebbero di sussidi di notevole entità per potersi diffondere nel mercato. Nonostante questa premessa, gli autori registrano che nel 2010 e nel 2012 sono stati introdotti con successo due modelli di auto elettrica, la Nissan Leaf e la Tesla Model S. In un contributo molto dettagliato, Plötz et al. (2013) sostengono che la quota di mercato delle auto elettriche nel 2020 dipenderà fortemente dalla presenza di fattori esterni, e saranno veicoli particolarmente appetibili per gli utilizzatori che coprono annualmente distanze superiori a 15.000 km. Simili risultati sono conseguiti da Tseng et al. (2013) i quali ritengono che le auto elettriche potrebbero diventare competitive rispetto alle ibride ed a quelle a combustione interna nell'ipotesi in cui la distanza percorsa annualmente sia almeno di 20.000 miglia e che il possesso sia di almeno 12 anni. Con riferimento al caso tedesco, Bubeck et al. (2016) affermano che le auto elettriche potrebbero, al momento attuale, diventare di potenziale interesse (rispetto a ibride e convenzionali) solo se venisse previsto un sussidio tra

8.600 e 32.400 euro. Prevedono comunque che le auto elettriche diventino un'opzione economicamente conveniente entro il 2030¹.

Precedenti modelli di TCO con dati italiani sono stati sviluppati da Rusich e Danielis (2015), Danielis e Giansoldati (2017) che valutano il TCO privato e sociale, e Lévy et al. (2017) che pubblica un confronto tra paesi europei che include l'Italia. Gran parte dei modelli utilizzati utilizzano parametri di costo deterministici, ad eccezione di Element Energy (2011) e Wu et al. (2015), che sviluppano un modello di TCO probabilistico che tenga conto dell'incertezza di molti di tali parametri. Un modello TCO probabilistico con dati italiani è stato sviluppato in Danielis et al. (2018), ma tale lavoro non considera nell'analisi dei costi l'influenza di variabili quali le caratteristiche territoriali della zona di residenza dell'utilizzatore del veicolo, le abitudini di mobilità e variabili stagionali e climatiche, che invece impattano sulle prestazioni dei veicoli elettrici.

Questo lavoro si propone di colmare questa lacuna, sviluppando un modello di TCO che arricchisca la letteratura precedente tenendo conto di rilevanti fonti di eterogeneità. Queste includono sia le caratteristiche geomorfologiche sia quelle climatiche della zona di residenza e/o del territorio frequentato abitualmente dal potenziale acquirente. Esso inoltre considera esplicitamente la complessità delle abitudini di mobilità del soggetto che può manifestare variegate esigenze di spostamento legate alla dimensione professionale, familiare e ricreativa. La nostra analisi è resa flessibile alle evoluzioni che si possono manifestare attraverso potenziali sviluppi del mercato e della politica, fattori che possono alterare il costo totale di possesso. Infine, data l'incertezza che caratterizza diverse componenti di costo, legate all'evoluzione tecnologica dei veicoli elettrici ed al loro impatto socio-economico ed ambientale, proponiamo un'analisi di sensitività che contempli oscillazioni dei valori di interesse.

Il nostro lavoro può certamente anche rappresentare una base per la stima della domanda di auto elettriche, peculiarità che nessuno degli studi ad oggi presenti in letteratura, al meglio delle nostre conoscenze, sembra proporre, almeno con un livello di comprensione dell'eterogeneità pari al nostro.

3. DESCRIZIONE DEL MODELLO

Il Costo Totale di Possesso (TCO) di un veicolo, seguendo il modello proposto da Windisch (2013), è definito come:

$$TCO = IC + AOC + IG$$

¹ Molti altri autori analizzano anche il ruolo del decisore pubblico (Hao et al, 2014; Zhao et al., 2015; Lévy et al, 2017).

dove IC rappresenta i costi iniziali necessari per l'acquisto del veicolo, AOC indica i costi operativi annuali legati all'utilizzo del veicolo durante il periodo di possesso e IG indica i guadagni (o perdite) in conto interessi dovuti alle differenze di costi iniziali e operativi tra auto elettriche e corrispondenti convenzionali.

Analizziamo più specificatamente queste tre componenti.

I **costi iniziali** (IC) sono definiti a loro volta come:

$$IC = MSRP - RD + RC - SUB + INFRA_H$$

dove MSRP è il prezzo di listino suggerito dal produttore, RD è l'eventuale sconto applicato dal venditore, RC rappresenta il costo di immatricolazione obbligatorio per l'acquisto di un'automobile, SUB indica gli eventuali sussidi statali erogati per incentivare l'acquisto di un certo tipo di veicoli (ad es. per favorire la diffusione di auto elettriche), INFRA_H rappresenta i costi di installazione di infrastrutture di ricarica per veicoli elettrici presso la propria abitazione. Questi ultimi vanno considerati esclusivamente nel calcolo del TCO di auto elettriche.

I **costi operativi medi annuali** (AOC) sono calcolati come media di tutti i costi sostenuti durante il periodo di possesso del veicolo, supposto di T anni:

$$AOC = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{AOC_t}{(1+i)^t} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{INS_t + PARK_t + USAGE_t}{(1+i)^t} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{INS_t + PARK_t + (MAINT_t + F/E_t)}{(1+i)^t}$$

dove INS_t rappresenta il premio assicurativo versato nell'anno $t \in [1, T]$, $PARK_t$ il costo sostenuto per il parcheggio e l'accesso alle zone a traffico limitato e $USAGE_t$ il costo di utilizzo del veicolo, che a sua volta comprende il costo di manutenzione ($MAINT_t$) ed il costo del carburante o dell'elettricità (F/E_t). Il numero di anni di possesso del veicolo prima che questo venga venduto o rottamato è, infine, indicato con T.

I **guadagni (perdite) in conto interessi** (IG) vengono calcolati tenendo conto degli interessi maturati sui risparmi (o mancati risparmi) di costi iniziali (dIC) e di costi operativi annuali (dAOC), tra il veicolo scelto e quello assunto come riferimento, in questo lavoro un'automobile elettrica. Si consideri, inoltre, che anche i guadagni/perdite degli anni precedenti contribuiscono al guadagno/perdita nell'anno t . In formule:

$$IG_t = i \cdot (dIC + \sum_{n=1}^t dAOC_n) + \sum_{n=0}^{t-1} IG_n.$$

I guadagni (o perdite) in conto interessi annuali andranno, come tutte le componenti di costo, attualizzate all'anno di acquisto del veicolo.

Un'ulteriore componente da aggiungere al TCO è il valore residuo (RV) del veicolo. Sommando IC e IG e sottraendo il valore attuale (PVF) di RV, si ottengono costi (o risparmi) espressi al tempo iniziale dell'acquisto. Moltiplicando tale somma per il fattore di recupero del capitale (CRF) pari a otteniamo quindi i costi fissi annui medi di possesso di un'auto. Se poi aggiungiamo l'AOC medio scontato e dividiamo il numeratore per la distanza annuale percorsa (AKT) in km, otteniamo la metrica TCO/km, che rappresenta il costo medio di possesso di un veicolo per chilometro:

$$\frac{TCO}{km} = \frac{(IC + IG - RV * PVF) * CRF + \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{AOC_t}{(1+i)^t}}{AKT}$$

Lo scopo del lavoro è quello di confrontare i TCO/km di automobili con diversi sistemi di alimentazione, per comprendere se le auto elettriche siano effettivamente meno competitive rispetto alle corrispondenti auto a benzina, e sotto quali condizioni la tendenza potrebbe essere invertita.

3.1. LA SCELTA DEI PARAMETRI

Il modello di TCO finora descritto è stato quindi implementato considerando modelli di auto elettriche e convenzionali realmente disponibili sul mercato italiano. In questo lavoro abbiamo scelto di confrontare solo tre modelli di veicoli, rappresentativi del segmento automobilistico medio/piccolo, al fine di indagare con maggior dettaglio le componenti del TCO, tenendo conto anche di aspetti finora non inclusi come i fattori territoriali, climatici e le abitudini di mobilità dei potenziali acquirenti. Abbiamo quindi considerato i tre modelli di automobili elettriche più vendute in Italia nel periodo gennaio/aprile 2018 (www.unrae.it): la Nissan Leaf, la Smart Forfour Electric Youngster e la Renault Zoe, da confrontare con le equivalenti a benzina Nissan Pulsar, Smart Forfour e Renault Clio. Le principali caratteristiche dei sei tipi di automobili considerate sono riassunte nella Tabella 1. A parte l'evidente differenza di prezzo (MSRP), si evidenziano le maggiori prestazioni delle auto elettriche in

Tabella 1 – Caratteristiche dei modelli di veicoli considerati

Modello	Nissan Leaf 40kWh Acenta	Nissan Pulsar 1.2 DIG-T 115 CV Acenta	Smart Forfour Electric Youngster	Smart Forfour 70 Youngster	Renault Zoe Q90 Life Flex	Renault Clio
Prezzo di listino (euro)	36360	23640	24559	14034	25800	13350
<i>Peso e dimensioni</i>						
Peso (kg)	1535	1190	1200	900	1480	980
Lunghezza/Larghezza/ Altezza (cm)	448/179/154	439/177/152	350/167/155	350/167/155	408/173/156	406/173/145
Capacità min/max del bagagliaio (litri)	435	385/1395	185/975	175/975	338/1225	300/1146
Numero porte	5	5	5	5	5	5
Numero posti	5	5	4	4	5	5
<i>Efficienza</i>						
Emissione di CO ₂ durante la guida, g/km	0	117	0	97	0	127
<i>Motore</i>						
Alimentazione:	elettricità	benzina	elettricità	benzina	elettricità	benzina
Cilindrata (cm ³)		1197		999		1149
Potenza massima	149,55 CV/ 110,00 kW	115,56 CV/ 85,00 kW	81,57 CV/ 60,00 kW	70,70 CV / 52,00 kW	88,37 CV / 65,00 kW	74,77 CV / 55,00 kW
Coppia massima (Nm)	323,62	190	156,91	91	215,75	107
Capacità serbatoio carburante (litri)		46		28		
Omologazione		Euro 6		Euro 6		Euro 6
<i>Prestazioni</i>						
Velocità max (km/h)	144	190	130	151	135	167
Accelerazione 0-100 km/h (secondi)	11.5	10.7	12.7	15.9	13.2	14.5
Consumo ciclo urbano (per 100km)	17 kWh	8,4 litri	17,5 kWh	4,9 litri	19,55 kWh	4,9 litri
Consumo ciclo extraurbano (per 100km)	21 kWh	7,35 litri	23 kWh	3,7 litri	24,15 kWh	3,7 litri
Autonomia teorica (km)	250 circa	920	125 circa	666	300 circa	806

termini sia di accelerazione che di potenza del motore. Da notare, però, la loro minore autonomia considerando le batterie attualmente in uso. Queste differenze, tuttavia, non avendo una natura strettamente finanziaria, non verranno considerate nel calcolo del TCO.

Di seguito si riportano le assunzioni fatte sui vari parametri che compaiono nel calcolo del TCO.

3.1.1. *Parametri relativi al veicolo*

PREZZO D'ACQUISTO

Analogamente agli studi precedenti (Windisch, 2013; Hagman et al., 2016; Lévy et al., 2017), il nostro modello di TCO si basa su prezzi reali. Il prezzo di partenza è il MSRP riportato sul sito web del produttore. Tuttavia, è noto che il prezzo realmente pagato dall'acquirente possa differire da quello di listino; infatti è prassi comune da parte dei concessionari applicare sconti anche generosi. In questa analisi, tuttavia, supponiamo che, per l'acquisto di un'automobile nuova, il consumatore paghi esattamente il prezzo di listino proposto dalla casa produttrice (Tabella 4), senza alcuno sconto da parte dei concessionari. Inoltre, ogni modello di auto è disponibile in versioni con caratteristiche diverse e differenze di prezzo risultanti. Ad esempio, la Nissan Pulsar è disponibile nelle versioni Visia, Acenta, N-Connecta, N-Connecta Style e Teckna con un prezzo di listino che varia da € 18.090 a € 26.410. Le versioni scelte per ogni coppia di modelli sono quelle che permettono confronti migliori tra i due sistemi di alimentazione in termini di caratteristiche tecniche.

VALORE RESIDUO DEL VEICOLO

Il valore residuo (RV) dell'auto è una variabile non facile da stimare. L'età (quindi l'anno di immatricolazione) e la distanza complessivamente percorsa sono certamente i parametri principali da considerare. Tuttavia, altri fattori giocano un ruolo importante, come le abitudini di guida e quindi lo stato reale del veicolo, il colore, la marca, il modello, le dimensioni, ecc. Anche il tipo di alimentazione conta. Per questo, nelle nostre comparazioni, è importante valutare se le auto con sistemi di alimentazione differenti perdano valore in modo diverso. Mentre per le auto convenzionali il tasso di ammortamento è sufficientemente noto, la questione per le auto elettriche è ancora controversa, data la loro recente comparsa sul mercato. Facendo uso dei dati scaricati da un noto mercato italiano per le auto usate (<https://www.autoscout24.it/>), abbiamo stimato le funzioni di ammortamento delle specifiche coppie (benzina ed elettriche) selezionate (Tabella 2). I nostri risultati mostrano che le auto elettriche si deprezzano più velocemente di quelle a benzina. In parte ciò è do-

vuto al fatto che il prezzo di acquisto di alcuni modelli è diminuito durante il loro ciclo di vita a causa di progressi tecnologici, pensiamo alla riduzione dei costi della batteria, portando così a una diminuzione del valore residuo delle versioni precedenti (Zhou et al., 2016).

Tabella 2 – Ipotesi su tasso di deprezzamento delle automobili

Anni di possesso	Valore di vendita (% prezzo di listino)	
	Benzina	Elettrica
10	20	10
9	30	15
8	40	20
7	45	25
6	50	30
5	55	35
4	60	40
3	65	45
2	70	50
1	75	55

CONSUMO DI CARBURANTE/ELETTRICITÀ

Il consumo di carburante/elettricità è cruciale nel calcolo dei costi operativi annuali, ma il suo valore è incerto e difficile da stimare, in quanto dipende da molti fattori, legati alle condizioni del traffico (livelli di congestione), al tipo di strada (pianeggiante o ripida), alle condizioni meteorologiche e allo stile di guida. Nel nostro modello abbiamo catturato questa variabilità in due modi. Partendo dai valori teorici indicati dalle case automobilistiche e certificate dalla Environmental Protection Agency (EPA) e dal New European Driving Cycle (NEDC), o dal più recente WLTP, abbiamo innanzitutto distinto tra guida urbana ed extraurbana, prevedendo valori di consumo più elevati per le auto a benzina in caso di guida in città, data la maggiore probabilità di rimanere congestionati nel traffico e quindi di dover frequentemente fermarsi e ripartire. Discorso opposto vale per le auto elettriche che, invece, hanno prestazioni relativamente migliori nel traffico urbano. L'efficienza delle batterie, tuttavia, dipende fortemente dalle temperature ambientali. Sebbene non esistano stime ufficiali sull'efficienza energetica a temperature diverse, vi sono numerose prove aneddotiche. Abbiamo quindi ipotizzato che, per le auto

elettriche, la guida a temperature molto alte (estate) o molto basse (inverno) comporta consumi di energia maggiori del 30% rispetto alla guida in condizioni più miti (primavera e autunno).

MANUTENZIONE E RIPARAZIONE

Sulla base delle informazioni disponibili (Diez, 2014), si stima che le auto elettriche incorrano in costi di manutenzione e riparazione più bassi del 35% rispetto alla media dei veicoli convenzionali². Questa riduzione è attribuibile al ridotto numero di componenti e fluidi del veicolo elettrico rispetto al corrispondente endotermico.

TASSA DI IMMATRICOLAZIONE

In Italia, il costo per immatricolare l'auto ha alcune componenti fisse (emolumenti ACI, imposta di bollo per l'iscrizione al Pubblico Registro Automobilistico, diritti DDT, imposta di bollo per il rilascio della carta di circolazione) ed altre componenti variabili a seconda della potenza del veicolo e della provincia di residenza (imposta provinciale di trascrizione (IPT) e costo della targa). Alcune province, in particolare, prevedono una riduzione fino al 50% dell'IPT per i veicoli ad alimentazione elettrica. Per ogni tipologia di automobile considerata, pertanto, abbiamo calcolato il relativo costo di immatricolazione, assumendo come provincia di riferimento Trieste.

BOLLO

Il bollo (accisa sul veicolo) è una tassa locale da pagare su veicoli e motocicli registrati in Italia. L'imposta è differenziata per Regione di residenza ed è calcolata tenendo conto della cilindrata del motore e della classe EURO. Le auto con particolari sistemi di alimentazione godono di esenzioni specifiche. Le auto elettriche, ad esempio, sono esentate dal pagamento per i primi cinque anni di possesso. In alcune Regioni (Lombardia e Piemonte) l'esenzione fiscale viene mantenuta anche successivamente, in altre è parzialmente ridotta o annullata. Anche le auto a GPL o metano sono esentate dal pagamento di questa tassa. Le auto endotermiche, invece, potrebbero pagare il "superbollo", una tassa aggiuntiva se la cilindrata del motore supera i 185 kW (20 € per ogni kW in eccesso). In Friuli Venezia Giulia, ad oggi, chi acquista un'auto elettrica per i primi 5 anni non pagherà il bollo, mentre dal sesto anno pagherà soltanto il 25% dell'importo dovuto per un **veicolo a combustione** equivalente a quello posseduto.

² Supponiamo che, per auto con diverse alimentazioni, gli incidenti e i relativi costi siano gli stessi.

3.1.2. Parametri relativi al soggetto che utilizzerà il veicolo

VARIABILI TERRITORIALI E DI MOBILITÀ

La disponibilità di parcheggi o garage, così come le abitudini di ricarica degli utenti influiscono sicuramente sul calcolo del TCO/km, in particolare nel caso delle auto elettriche. Un consumatore che vive in zone rurali e/o in periferia in una casa privata con un garage potrebbe installare una infrastruttura di ricarica (Wall Box o Home Charger) e quindi ricaricare la batteria di notte con tariffe elettriche vantaggiose. Ciò comporterebbe costi iniziali elevati ma possibilità di fruire poi di costi molto bassi di energia elettrica. Nelle aree urbane, invece, specialmente in quelle più densamente popolate, tale opzione non è sempre disponibile e per un veicolo elettrico la ricarica dipende fortemente dalla presenza e dalle caratteristiche dell'infrastruttura di ricarica pubblica, il cui utilizzo ha un prezzo molto più alto di quello domestico. Esistono diverse modalità di tariffazione: ricarica gratuita, tariffe flat, a tempo o a consumo (kW). In questo lavoro confrontiamo quattro ipotesi di ricarica per le auto elettriche: ricarica a casa al costo di 0,18 €/kWh, ricarica gratuita, ricarica veloce da colonnine pubbliche al costo di 0,40 €/kWh e lenta al costo di 0,25 €/kWh.

Un'altra variabile cruciale è rappresentata dalle abitudini di mobilità dell'utente, in particolare la distanza annuale percorsa e le caratteristiche territoriali dei luoghi abitualmente frequentati. Seguendo De Clerck et al. (2018) adottiamo un approccio *ad personam* considerando quattro tipi di persone con caratteristiche diverse, come mostrato nella Tabella 3.

La persona 1 vive in un villaggio o nel sobborgo, possibilmente in una casa indipendente con un garage, percorre 10.000 km/anno (in linea con la media italiana, che è pari a 11.200 km all'anno (www.facile.it)); il 10% dei viaggi viene effettuato in aree urbane e la ricarica avviene il 90% delle volte a casa. La persona 2 vive in un villaggio o nel sobborgo, con disponibilità di garage, percorre 25.000 km / anno, più del doppio della media italiana, il 90% dei viaggi sono effettuati in aree extraurbane e nel 70% dei casi la ricarica avviene a casa e nel restante 30% presso stazioni di ricarica veloce pubbliche. La persona 3 vive in una città, non ha un garage, di conseguenza la ricarica non avviene mai a casa, ma solo nelle stazioni pubbliche (il 20% con le tariffe rapide e il 50% con le tariffe lente) e percorre 5.000 km/anno, principalmente (80% delle volte) nelle aree urbane. In questo caso, l'auto viene utilizzata essenzialmente per brevi distanze, come una seconda auto o da una persona che non lavora (ad esempio in pensione) o che viaggia con altri mezzi. La persona 4 vive in una città, ha un garage, percorre 20.000 km/anno equamente ripartiti tra aree urbane ed extraurbane, e carica a casa il 70% delle volte e nelle stazioni di ricarica veloce pubbliche nel restante 30% dei casi.

Assumiamo, poi, che l'automobile sia utilizzata per 6 anni, anche se non ci sono dati ufficiali italiani su questo parametro³. A seconda dell'uso del veicolo, tale presupposto equivale a ipotizzare una distanza totale massima percorsa di 150.000 km, che è fattibile anche per un'auto elettrica senza dover sostituire la batteria. Per questo motivo, i costi della sostituzione della batteria o i guadagni derivanti dal riutilizzo della batteria non verranno inclusi nel nostro modello.

Tabella 3 – Parametri legati all'utente del veicolo: abitudini di mobilità e caratteristiche territoriali della zona di residenza

	<i>Persona 1</i>	<i>Persona 2</i>	<i>Persona 3</i>	<i>Persona 4</i>
Luogo di residenza	Periferia/ paese	Periferia/ paese	Centro urbano	Centro urbano
Disponibilità di garage	sì	sì	no	sì
Distanza annuale percorsa (km)	10.000	25.000	5.000	20.000
% di viaggi urbani	10%	10%	80%	50%
Abitudini di ricarica:				
– casa	90%	70%	0%	70%
– gratuita	0%	0%	30%	0%
– veloce	10%	30%	20%	30%
– lenta	0%	0%	50%	0%
Wall Box	€ 1000	€ 1000	no	€ 1000

COSTI ASSICURATIVI

Il premio assicurativo dipende da molti fattori quali le caratteristiche del veicolo, le caratteristiche del conducente e la storia degli incidenti passati, il luogo di residenza e la strategia commerciale della compagnia assicurativa. Al fine di garantire la comparabilità tra auto con diversi sistemi di alimentazione, manteniamo costanti alcuni di questi fattori di rischio. In questo studio consideriamo, in particolare, un individuo tipo di 30 anni, donna, single, residente in Friuli Venezia Giulia e utilizziamo i premi stimati ottenuti da facile.it, un sito web che mette a confronto le più importanti compagnie

³ Wu et al. (2015) scelgono questo valore sulla base di dati tedeschi, presumibilmente non molto diversi da quelli italiani.

assicurative italiane. Osserviamo che, in generale, le auto elettriche che abbiamo selezionato hanno un premio inferiore del 5-20% rispetto alle loro controparti a benzina. Abbiamo anche notato che il Gruppo Allianz applica un premio inferiore del 50% sulle auto elettriche come politica incentivante. Ai fini del nostro modello, abbiamo selezionato i premi più bassi disponibili sul mercato per ogni auto.

3.1.3. *Variabili di mercato e di policy*

SUSSIDI E POLITICHE PUBBLICHE

Attualmente, in Italia, non ci sono politiche nazionali di incentivazione della mobilità verde attraverso sovvenzioni sulle auto elettriche. Eppure, recentemente, alcune Regioni italiane (Trentino Alto Adige, Friuli Venezia Giulia e Veneto) hanno introdotto un sussidio di circa € 5.000 per il loro acquisto. Pertanto, nella nostra analisi, che considera il Friuli Venezia Giulia come regione di riferimento, terremo conto di questo incentivo per l'acquisto di un'auto elettrica.

Un'altra politica pubblica che è bene prendere in considerazione è quella relativa all'utilizzo e ai costi dei parcheggi pubblici. Si tenga presente la pratica comune di molte amministrazioni urbane (ad esempio, Roma, Milano, Torino e Firenze) di garantire il parcheggio gratuito e l'accesso gratuito al centro città ai veicoli a combustibile alternativo per favorire la loro diffusione e migliorare la qualità dell'aria urbana. In questa analisi non consideriamo alcun risparmio annuale per i possessori di auto elettriche, perché in Friuli Venezia Giulia non sono previste simili politiche di incentivazione della mobilità *green*.

TASSI DI INTERESSE

L'acquisto di un'automobile può essere finanziato con fondi propri o con denaro preso in prestito. Ipotizziamo in questa analisi che l'individuo di riferimento non disponga di liquidità sufficiente e l'acquisto dell'automobile venga finanziato tramite l'accensione di una qualche forma di finanziamento. In questo caso il tasso di interesse da considerare per il calcolo del TCO/km è rappresentato dal TAEG applicato dalla banca (o finanziaria). Attualmente esso ammonta in media al 6% ed è questo il valore che considereremo nelle nostre analisi.

4. RISULTATI

La Tabella 4 mostra i risultati ottenuti applicando il modello descritto precedentemente con le assunzioni previste dallo scenario base.

Tabella 4 – TCO/km per i diversi modelli di auto e per le diverse tipologie di individui considerati nello scenario base (6 anni di possesso, tasso di interesse del 6%, sussidio di €5.000, prezzo benzina pari a 1,64 €/litro, risparmio parcheggi 0 €/anno)

	Nissan Leaf				Nissan Pulsar			
Persona	1	2	3	4	1	2	3	4
Costi iniziali annualizzati	5093	5093	4890	5093	3215	3215	3215	3215
Costi operativi medi annui	892	2093	539	1647	1881	4000	1224	3407
Guadagni in conto interessi annualizzati	-889	29	-990	-119	0	0	0	0
TCO	6875	7158	6418	6859	5096	7215	4439	6622
TCO/km	0.687	0.286	1.284	0.343	0.510	0.289	0.888	0.331
Differenza TCO/km	0.178	-0.002	0.396	0.012				
	Smart Electric				Smart			
Persona	1	2	3	4	1	2	3	4
Costi iniziali annualizzati	3179	3179	2976	3179	1914	1914	1914	1914
Costi operativi medi annui	963	2236	582	1741	1390	2636	754	1883
Guadagni in conto interessi annualizzati	-838	-866	-890	-1124	0	0	0	0
TCO	4980	6281	4448	6044	3304	4550	2668	3796
TCO/km	0.498	0.251	0.890	0.302	0.330	0.182	0.534	0.190
Differenza TCO/km	0.168	0.069	0.356	0.112				
	Renault Zoe				Renault Clio			
Persona	1	2	3	4	1	2	3	4
Costi iniziali annualizzati	3381	3381	3177	3381	1834	1834	1834	1834
Costi operativi medi annui	1599	3292	1245	2846	1332	2718	927	2385
Guadagni in conto interessi annualizzati	-1813	-2120	-1662	-2007	0	0	0	0
TCO	6792	8793	6084	8233	3166	4552	2761	4219
TCO/km	0.679	0.352	1.217	0.412	0.317	0.182	0.552	0.211
Differenza TCO/km	0.363	0.170	0.665	0.201				

Persona 1: periferia/paese, con garage, 10.000 km/anno

Persona 2: periferia/paese, con garage, 25.000 km/anno

Persona 3: centro urbano, con garage, 5.000 km/anno

Persona 4: centro urbano, senza garage, 20.000 km/anno

Notiamo che, per i modelli di auto elettriche considerate, i costi iniziali annualizzati sono molto più elevati (da € 1.062 a € 1.878) di quelli delle corrispondenti auto a benzina, e non sono compensati dal minor costo operativo medio annuo e dai risparmi in conto interessi. Complessivamente, per tutte le 4 persone considerate, le auto elettriche registrano un TCO/km maggiore dei corrispondenti veicoli a benzina. Tuttavia, la differenza si attenua nel caso delle Persone 2 e 4, ovvero per le persone che possiedono un garage e hanno uno stile di vita professionale o privato caratterizzato da lunghe percorrenze annuali. Addirittura nel confronto tra Nissan Leaf e Nissan Pulsar per la Persona 2 la differenza tra i TCO/km diventa negativa: con queste abitudini di mobilità e considerando i parametri base del modello descritti precedentemente, l'acquisto dell'auto elettrica si rivela economicamente più conveniente rispetto a quello dell'auto a benzina, nonostante il prezzo di acquisto notevolmente più elevato.

La Smart Electric e la Renault Zoe, al contrario, hanno sempre un TCO/km notevolmente superiore rispetto alle corrispondenti a benzina. Tra le auto elettriche considerate, la Smart EQ presenta il TCO/km più basso, probabilmente anche in virtù del fatto che è la più piccola e la meno costosa.

5. ANALISI DI SENSITIVITÀ

In questa sezione proponiamo un'analisi di sensitività per valutare se la variazione di alcuni parametri incide sulla convenienza economica dei veicoli elettrici. A tal fine osserviamo come la differenza nel TCO/km tra auto elettriche ed endotermiche sia influenzato dalle seguenti variabili:

- *numero di anni di utilizzo del veicolo:*
facendolo variare da 1 a 12 anni. Il possesso duraturo dell'auto aumenta la competitività delle auto elettriche. Più lungo è il periodo di utilizzo dell'automobile, minore è la differenza tra i TCO/km di auto elettriche ed endotermiche;
- *tasso di interesse:*
facendolo variare dall'1% al 8%. Tassi di interesse più alti rendono le auto elettriche meno competitive rispetto alle corrispondenti endotermiche. I risparmi sui costi operativi futuri ottenuti acquistando un'auto elettrica hanno, in effetti, un valore attuale minore al crescere del tasso di interesse utilizzato per lo sconto. Quindi sostenere oggi un prezzo più alto per l'acquisto di un'automobile elettrica per beneficiare di risparmi futuri sui costi operativi che oggi valgono sempre meno in presenza di tassi di interesse crescenti, non è economicamente vantaggioso;

- *prezzo della benzina*: facendolo variare da 1,44 a 2,24 €/litro. Ovviamente, se la benzina diventa più cara, i costi operativi annuali delle auto endotermiche crescono, con conseguente aumento del corrispondente TCO/km, incrementando il divario con le auto elettriche. Le auto elettriche diventano pertanto più convenienti economicamente;
- *sussidi all'acquisto di un'auto elettrica*: facendoli variare da €0 a €6.000. L'introduzione di sussidi che incentivano l'acquisto delle auto elettriche riduce il divario di costi iniziali (sempre però positivo) tra auto elettriche ed endotermiche;
- *risparmi sui costi di parcheggio e pedaggi annui*: facendoli variare da 0 a 600 €/anno. Alcune città (es., Milano, Roma e Firenze) hanno introdotto politiche che favoriscono le auto elettriche in termini di minori costi di parcheggio o pedaggio per accedere alle ZTL.

Confrontando le tre coppie di automobili per le 4 persone identificate, si ottengono i risultati numerici della Tabella 5. Osserviamo che la Smart Electric e la Renault Zoe non riescono per nessuna Persona a colmare il divario di costo con le corrispondenti auto a benzina per effetto dei maggiori costi iniziali. Osservando invece la coppia di veicoli Nissan, il modello elettrico riesce ad essere competitivo ed addirittura più conveniente della versione a benzina quando le seguenti assunzioni relative alle Persone 2 e 4 vengono formulate:

- il periodo di utilizzo del veicolo è pari o superiore a 6 anni per la Persona 2 e a 8 anni per Persona 4;
- il tasso di interesse è non superiore al 6% per la Persona 2 e al 4% per la Persona 4;
- il prezzo della benzina è almeno pari a 1,64 €/l per la Persona 2 e 1,74 €/l per la Persona 4;
- i sussidi all'acquisto sono almeno pari a € 5.000 per Persona 2 e € 6.000 per la Persona 4;
- i risparmi sui costi di parcheggio e pedaggi annui sono superiore a 100 €/anno per la Persona 4.

Tabella 5 – differenza tra TCO/km auto elettrica e a benzina: analisi di sensitività

MODELLO AUTO	Anni di possesso	1	2	3	4	Tasso interesse	1	2	3	4
NISSAN	1	1.141	0.372	1.997	0.482	1%	0.093	-0.049	0.260	-0.044
	2	0.558	0.141	1.033	0.193	2%	0.110	-0.039	0.288	-0.033
	3	0.365	0.066	0.713	0.099	3%	0.128	-0.030	0.315	-0.021
	4	0.270	0.031	0.554	0.054	4%	0.145	-0.020	0.342	-0.010
	5	0.215	0.010	0.459	0.028	5%	0.161	-0.011	0.369	0.001
	6	0.178	-0.002	0.396	0.012	6%	0.178	-0.002	0.396	0.012
	7	0.152	-0.011	0.351	0.001	7%	0.194	0.007	0.423	0.022
	8	0.134	-0.016	0.318	-0.006	8%	0.211	0.015	0.449	0.033
	9	0.099	-0.028	0.251	-0.022					
	10	0.072	-0.037	0.200	-0.033					
	11	0.045	-0.046	0.145	-0.045					
	12	0.036	-0.048	0.129	-0.048					
SMART	1	0.677	0.273	1.047	0.371	1%	0.111	0.047	0.274	0.089
	2	0.372	0.151	0.640	0.218	2%	0.122	0.052	0.290	0.094
	3	0.270	0.110	0.501	0.166	3%	0.134	0.056	0.306	0.098
	4	0.219	0.090	0.430	0.140	4%	0.145	0.060	0.323	0.103
	5	0.188	0.078	0.386	0.123	5%	0.156	0.065	0.339	0.108
	6	0.168	0.069	0.356	0.112	6%	0.168	0.069	0.356	0.112
	7	0.153	0.063	0.333	0.104	7%	0.179	0.074	0.373	0.117
	8	0.142	0.059	0.315	0.098	8%	0.190	0.078	0.389	0.122
	9	0.121	0.050	0.276	0.087					
	10	0.104	0.044	0.246	0.078					
	11	0.089	0.038	0.217	0.070					
	12	0.081	0.034	0.202	0.065					
RENAULT	1	0.997	0.427	1.594	0.521	1%	0.317	0.156	0.589	0.181
	2	0.626	0.278	1.057	0.335	2%	0.325	0.158	0.603	0.185
	3	0.499	0.226	0.871	0.271	3%	0.334	0.161	0.618	0.188
	4	0.433	0.199	0.773	0.237	4%	0.343	0.164	0.633	0.192
	5	0.392	0.182	0.710	0.216	5%	0.353	0.167	0.649	0.196
	6	0.363	0.170	0.665	0.201	6%	0.363	0.170	0.665	0.201
	7	0.341	0.160	0.630	0.189	7%	0.372	0.173	0.681	0.205
	8	0.323	0.153	0.602	0.180	8%	0.383	0.176	0.698	0.210
	9	0.297	0.142	0.555	0.166					
	10	0.276	0.133	0.517	0.156					
	11	0.259	0.125	0.485	0.146					
	12	0.245	0.119	0.460	0.139					

Prezzo benzina					Importo sussidio					Risparmio parcheggi e accesso ZTL				
	1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4
1.44	0.202	0.022	0.423	0.038	0	0.381	0.079	0.803	0.114	0	0.178	-0.002	0.396	0.012
1.54	0.190	0.010	0.409	0.025	1000	0.341	0.063	0.721	0.093	100	0.162	-0.009	0.363	0.004
1.64	0.178	-0.002	0.396	0.012	2000	0.300	0.047	0.640	0.073	200	0.145	-0.015	0.330	-0.005
1.74	0.166	-0.015	0.382	-0.001	3000	0.259	0.030	0.559	0.053	300	0.129	-0.022	0.298	-0.013
1.84	0.153	-0.027	0.369	-0.014	4000	0.219	0.014	0.477	0.032	400	0.112	-0.029	0.265	-0.021
1.94	0.141	-0.039	0.356	-0.027	5000	0.178	-0.002	0.396	0.012	500	0.096	-0.035	0.232	-0.029
2.04	0.129	-0.051	0.342	-0.040	6000	0.137	-0.019	0.315	-0.008	600	0.080	-0.042	0.199	-0.037
2.14	0.117	-0.063	0.329	-0.053										
2.24	0.105	-0.076	0.315	-0.066										
1.44	0.180	0.080	0.358	0.118	0	0.371	0.151	0.763	0.214	0	0.168	0.069	0.356	0.112
1.54	0.174	0.075	0.357	0.115	1000	0.330	0.134	0.681	0.194	100	0.151	0.063	0.323	0.104
1.64	0.168	0.069	0.356	0.112	2000	0.290	0.118	0.600	0.173	200	0.135	0.056	0.290	0.096
1.74	0.161	0.064	0.355	0.109	3000	0.249	0.102	0.519	0.153	300	0.118	0.050	0.258	0.088
1.84	0.155	0.058	0.354	0.106	4000	0.208	0.086	0.437	0.133	400	0.102	0.043	0.225	0.080
1.94	0.149	0.053	0.352	0.103	5000	0.168	0.069	0.356	0.112	500	0.086	0.036	0.192	0.071
2.04	0.143	0.047	0.351	0.100	6000	0.127	0.053	0.275	0.092	600	0.069	0.030	0.159	0.063
2.14	0.136	0.042	0.350	0.097										
2.24	0.130	0.037	0.349	0.094										
1.44	0.375	0.182	0.680	0.215	0	0.566	0.251	1.071	0.302	0	0.363	0.170	0.665	0.201
1.54	0.369	0.176	0.672	0.208	1000	0.525	0.235	0.990	0.282	100	0.346	0.163	0.632	0.192
1.64	0.363	0.170	0.665	0.201	2000	0.485	0.218	0.909	0.262	200	0.330	0.157	0.599	0.184
1.74	0.356	0.163	0.657	0.194	3000	0.444	0.202	0.827	0.241	300	0.313	0.150	0.566	0.176
1.84	0.350	0.157	0.649	0.187	4000	0.403	0.186	0.746	0.221	400	0.297	0.143	0.534	0.168
1.94	0.344	0.151	0.642	0.180	5000	0.363	0.170	0.665	0.201	500	0.281	0.137	0.501	0.160
2.04	0.338	0.145	0.634	0.172	6000	0.322	0.153	0.583	0.180	600	0.264	0.130	0.468	0.152
2.14	0.331	0.138	0.626	0.165										
2.24	0.325	0.132	0.619	0.158										

6. CONCLUSIONI E IMPLICAZIONI PER LA POLITICA DEI TRASPORTI

Diverse sono le ragioni che spiegano la scelta di un'automobile da parte di potenziali acquirenti. Da un lato esistono motivazioni "sociali", come la sensibilità ambientale, quindi la volontà di contribuire alla riduzione delle emissioni di sostanze inquinanti e all'abbassamento dei livelli di inquinamento acustico scegliendo un'auto elettrica, o ancora la propensione verso le nuove tecnologie. Altri consumatori sono invece influenzati dalle caratteristiche tecniche del veicolo, quali l'autonomia, l'accelerazione, la velocità, la potenza, ecc. Le motivazioni economiche rivestono in ogni caso un'importanza notevole nella scelta dei consumatori. Il costo al chilometro da sostenere durante il periodo di utilizzo del veicolo è un utile indicatore al fine di confrontare modelli di automobili e tipi di alimentazione diversi e individuare il veicolo economicamente più vantaggioso. In questo lavoro è stato sviluppato un modello dettagliato per il calcolo del costo totale di possesso di un veicolo al fine di verificare la competitività delle auto elettriche rispetto alle corrispondenti auto a benzina.

L'analisi è stata realizzata considerando i tre modelli di automobili elettriche più vendute in Italia nel periodo gennaio/aprile 2018: la Nissan Leaf, la Smart Forfour Electric Youngster e la Renault Zoe, da confrontare con le equivalenti a benzina Nissan Pulsar, Smart Forfour e Renault Clio. Il calcolo del TCO richiede l'identificazione delle molteplici componenti di costo legate all'acquisto e alla gestione di un'auto, alcune delle quali chiaramente soggette a variabilità. In particolare, rispetto alla letteratura esistente, il nostro lavoro tiene conto nell'analisi anche delle caratteristiche della zona di residenza e/o del territorio frequentato abitualmente dal potenziale acquirente. Inoltre considera esplicitamente la complessità delle abitudini di mobilità del consumatore, che può manifestare molteplici esigenze di spostamento legate alla dimensione professionale, familiare e ricreativa. L'utilizzo del veicolo a benzina nei centri urbani con continue fermate e ripartenze influenza sicuramente il consumo di carburante. O ancora la possibilità di disporre di un posto auto privato o di un garage presso il quale poter ricaricare l'auto elettrica permette di poter avvantaggiarsi di costi dell'energia più bassi. Vengono pertanto considerate quattro Persone corrispondenti a quattro possibili tipologie di individui, che differiscono per tipologie di tragitto (urbano vs. extraurbano) percorso, disponibilità di garage e percorrenze annuali.

I risultati ottenuti mostrano come, ad oggi, anche con un sussidio all'acquisto di € 5.000, le auto elettriche continuano in generale a non essere economicamente competitive rispetto alle corrispondenti endotermiche. Ciò deriva dal fatto che i prezzi di listino, ancora troppo alti, non riescono ad essere compensati dai costi operativi sicuramente più bassi delle auto elettriche. La differen-

za tra i TCO/km dei due sistemi di alimentazione si attenua all'aumentare del chilometraggio annuale e in presenza di postazioni con possibilità di ricarica a costi più bassi. Al verificarsi di queste due condizioni, la Nissan Leaf si dimostra quella più conveniente tra le auto elettriche considerate. Addirittura, considerando un periodo di possesso di 6 anni, o un tasso di interesse (TAEG) pari o inferiore al 6%, o ancora un prezzo della benzina non molto al di sopra di quello attualmente prevalente, c'è un'inversione di tendenza e la Nissan Leaf si rivela più economica della Pulsar a benzina. Anche le politiche di incentivazione alla mobilità *green* promosse dallo Stato possono contribuire ad una maggiore penetrazione sul mercato delle auto elettriche. Sussidi all'acquisto e riduzioni nei costi di parcheggio e accessi ai centri urbani per tali tipologie di veicoli, infatti, riducono il divario di TCO/km con le auto a benzina. La Smart Forfour Electric Youngster e la Renault Zoe, invece, anche sotto ipotesi più favorevoli rispetto allo scenario base non riescono a diventare più convenienti delle corrispondenti a benzina. La Smart elettrica presenta però i minori TCO/km in termini assoluti, anche in conseguenza del fatto che è la più piccola e la meno costosa.

Alla luce di questi risultati si possono realizzare alcune considerazioni sul dibattito italiano relativo alla diffusione delle automobili elettriche.

L'attuale esiguo numero di automobili elettriche immatricolate in Italia è attribuibile non solo all'assenza di infrastrutture di ricarica, ma anche al loro maggiore costo di acquisto, che come abbiamo dimostrato nell'articolo si traduce generalmente in un più alto costo di possesso. Ciò non vuol dire che le automobili elettriche non rappresentino mai una scelta economica razionale. Esistono infatti categorie di utenti per i quali, già allo stato attuale, le automobili elettriche (in particolare la Nissan Leaf) sono convenienti in termini di costo totale del possesso. Ciò è verosimile per coloro con elevate percorrenze annuali e spostamenti giornalieri soprattutto in ambito urbano (ad es. i taxisti) compatibili con l'autonomia (crescente) delle automobili elettriche.

L'intenzione di alcune forze politiche, segnatamente il Movimento 5 Stelle, di giungere rapidamente ad un milione di auto elettriche immatricolate si scontra, quindi, attualmente, con il loro maggiore costo. La preconditione per la diffusione in più larga scala delle automobili elettriche in Italia è quindi legata al loro costo di acquisto, determinato a livello industriale e dipendente da due principali fattori: a) la scala della produzione e b) il costo del pacco batteria. Solo se le aziende automobilistiche si impegneranno, come promettono, ad aumentare il numero e la tipologia di auto elettriche prodotte il loro prezzo, per effetto delle economie di scala, potrà scendere ed avvicinarsi a quello delle corrispondenti endotermiche. Ciò, a sua volta, determinerà un aumento della domanda di componenti e di pacchi batterie, che, sfruttando

risparmi di scala ed il progresso tecnologico, potrà portare ad automobili con una migliore autonomia e con costi più contenuti.

Come abbiamo visto, gli strumenti di politica dei trasporti per ridurre il TCO delle auto elettriche non mancano. In primo luogo, potrebbe essere introdotto un sussidio all'acquisto a livello nazionale, come già avvenuto in diversi paesi europei, in aggiunta o in sostituzione di quelli già deliberati da alcune regioni italiane. Tale forma di intervento è però pensabile solo nella fase di avvio del mercato, visto il consistente costo per il bilancio pubblico. Infatti, un sussidio di 5.000 euro per 1 milione di veicoli avrebbe un costo pari a 5 miliardi, difficilmente sostenibile dati gli attuali vincoli di bilancio. In secondo luogo, il nostro modello ha evidenziato l'efficacia di misure incentivanti introdotte a livello urbano. Nel caso infatti una amministrazione comunale rinunciassero anche solo all'equivalente di 100 euro all'anno per utente di auto elettriche (tramite la concessione del parcheggio gratuito o l'accesso libero alle ZTL), le auto elettriche diventerebbero decisamente più competitive dal punto di vista dei costi totali di possesso.

La sfida è quindi quella di trovare il giusto equilibrio tra il sostegno alla promettente tecnologia elettrica – vantaggiosa in termini politici (minore dipendenza dal petrolio), ambientali (minori emissioni di inquinanti globali e locali) e di qualità urbana (minore rumore) – e i costi per il bilancio pubblico a livello nazionale e locale (Comuni e Regioni).

Restano infine disponibili le misure di tipo non finanziario – quali la promozione della conoscenza dei veicoli elettrici, il superamento della cosiddetta “*range anxiety*” tramite la pianificazione di una rete capillare di colonnine di ricarica, l'accesso alle corsie preferenziali o ad aree riservate – che un'ampia letteratura (Collavizza et al., 2017) ha documentato essere altrettanto importanti di quelle finanziarie, in quanto indicative di un atteggiamento favorevole del decisore pubblico. Parallelamente, i paesi nordici (ed anche alcune città italiane) hanno fatto uso abbondante di annunci riguardanti divieti di accesso ai centri storici per le auto più inquinanti, contribuendo così a influenzare le scelte di acquisto dei consumatori.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Berkeley, N., Bailey, D., Jones, A., Jarvis, D. (2017) "Assessing the transition towards Battery Electric Vehicles: A Multi-Level Perspective on drivers of, and barriers to, take up", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 106, pp. 320-332.
- Biresselioglu, M. E., Kaplan, M. D., Yilmaz, B. K. (2018) "Electric mobility in Europe: A comprehensive review of motivators and barriers in decision making processes", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 109, pp.1-13.
- Bubeck, S., Tomaschek, J., Fahl, U. (2016) "Perspectives of electric mobility: Total cost of ownership of electric vehicles in Germany", *Transport Policy*, 50, pp. 63-77.
- Coffman, M., Bernstein, P., Wee, S. (2017) "Electric vehicles revisited: a review of factors that affect adoption", *Transport Reviews*, 37(1), pp. 79-93.
- 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, art. 2.
- Danielis R., Giansoldati M. (2017) "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, pp. 268-281.
- De Clerck, Q., van Lier, T., Messagie, M., Macharis, C., Van Mierlo, J., & Vanhaverbeke, L. (2018) "Total Cost for Society: A persona-based analysis of electric and conventional vehicles", *Transportation Research Part D: Transport and Environment* <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.02.017>
- Delucchi, M.A. & Lipman, T.E. (2001) "An analysis of the retail and lifecycle cost of battery-powered electric vehicles", *Transportation Research Part D* 6, pp. 371-404.
- Diez, W. (2014) "Mehr Profit durch Kundenbindung", Institut für Automobilwirtschaft.

- Element Energy (2011) “Influences on the Low Carbon Car Market from 2020-2030” Report by *Element Energy Limited*. UK
- Ellram, L. (1995) “Total cost of ownership. An analysis approach for purchasing”, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 25(8), pp. 4-23.
- Falcão, E. A. M., Teixeira, A. C. R., Sodré, J. R. (2017) “Analysis of CO₂ emissions and techno-economic feasibility of an electric commercial vehicle”, *Applied Energy*, 193, pp. 297-307.
- Hagman, J., Ritzén, S., Stier, J. J., Susilo, Y. (2016) “Total cost of ownership and its potential implications for battery electric vehicle diffusion”, *Research in Transportation Business & Management*, 18, pp. 11-17.
- Hao H, Ou X, Du J, Wang H, Ouyang M. (2014) “China’s electric vehicle subsidy scheme: rationale and impacts”, *Energy Policy*, 73, pp. 722-32.
- Kromer, M.A. & Heywood, J.B. (2007) “Electric Powertrains: Opportunities and Challenges in the U.S. Light-Duty Vehicle Fleet”, *MIT – Sloan Automotive Laboratory*, Publication No. LFEE 2007-03 RP.
- Letmathe, P., Soares, M. (2017) “A consumer-oriented total cost of ownership model for different vehicle types in Germany”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 57, pp. 314-335.
- Lévay, P. Z., Drossinos, Y., Thiel, C. (2017) “The effect of fiscal incentives on market penetration of electric vehicles: A pairwise comparison of total cost of ownership”, *Energy Policy*, 105, pp. 524-533.
- Liao, F., Molin, E., van Wee, B. (2017) “Consumer preferences for electric vehicles: a literature review”, *Transport Reviews*, 37:3, pp. 252-275
- Liu, J., Santos, G. (2015) “Decarbonizing the road transport sector: Break-even point and consequent potential consumers’ behavior for the US case”, *International Journal of Sustainable Transportation*, 9 (3), pp. 159-175.
- Mitropoulos, L.K., Prevedouros, P.D., Kopelias, P. (2017) “Total cost of ownership and externalities of conventional, hybrid and electric vehicle”, *Transp. Res. Proc.* 24, pp. 267-274.
- Palmer, K., Tate, J. E., Wadud, Z., Nellthorp, J. (2018) “Total cost of ownership and market share for hybrid and electric vehicles in the UK, US and Japan”, *Applied Energy*, 209, pp. 108-119.
- Plötz, P., Gnann, T., Kühn, A., Wietschel, M. (2013) “Markthochlaufszzenarien für Elektrofahrzeuge”, *Fraunhofer-Institut für System und Innovationsforschung ISI*
- Propfe, B., Redelbach, M. (2012) “Cost analysis of plug-in hybrid electric vehicles including maintenance & repair costs and resale values”. In *Proceedings of the EVS26 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium*. German Aerospace Center (DLR).

- Prud'homme, R. & Koning, M. (2012) "Electric vehicles: a tentative economic and environmental evaluation", *Transport Policy* 23, pp. 60-69.
- Rusich, A. & Danielis, R. (2015) "Total cost of ownership, social lifecycle cost and energy consumption of various automotive technologies in Italy", *Research in Transportation Economics*, 50, pp. 3-16.
- Tseng, H.-K., Wu, J.S., Liu, X. (2013) "Affordability of electric vehicles for a sustainable transport system: an economic and environmental analysis", *Energy Policy* 61, pp. 441-447.
- Windisch, E. (2013) "Driving electric? A financial analysis of electric vehicle policies in France", *Ecole des Ponts ParisTech*.
- Wu, G., Inderbitzin, A., Bening, C. (2015) "Total cost of ownership of electric vehicles compared to conventional vehicles: A probabilistic analysis and projection across market segments", *Energy Policy*, 80, pp. 196-214.
- Zhao, X., Doering, O. C., Tyner, W. E. (2015) "The economic competitiveness and emissions of battery electric vehicles in China", *Applied Energy*, 156, pp. 666-675.