

Il costo totale privato e sociale del possesso di automobili con diversi tipi di alimentazioni: variabili rilevanti e primi risultati.

Romeo Danielis

Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali, Matematiche e Statistiche
Università degli Studi di Trieste, Via dell'Università, 1 - 34100 Trieste, Italia. E-mail:
danielis@units.it

Personal web page - <http://www.units.it/~danielis/>

Versione: 31 maggio 2017

Sommario

In questo rapporto viene illustrato un modello per il calcolo del costo totale, privato e sociale, di possesso di un'automobile. Il modello è implementato tramite un foglio Excel che permette un utilizzo simulativo. I parametri utilizzati dal modello per stimare il costo totale di possesso, privato e sociale, di un'automobile sono basati sulle informazioni disponibili e sulle evidenze empiriche presenti in letteratura. Alcuni parametri (es. il prezzo del carburante, dell'elettricità, il tasso di attualizzazione, il costo della CO₂, i risparmi nei costi di accesso o di parcheggio) possono essere variati per realizzare simulazioni, analisi di sensitività o per adeguarli ai cambiamenti nei valori di mercato o ai diversi contesti urbani. I primi risultati che emergono dal modello, contenente dati validi al maggio 2017, indicano che il costo d'acquisto dell'auto elettrica è mediamente ancora molto più alto (quasi il doppio) delle auto a motore a combustione interna maggiormente vendute in Italia e che tale divario iniziale non è compensato dai minori costi variabili se non con percorrenze annuali molto elevate. Al momento attuale, non ci si può quindi attendere una penetrazione rilevante delle auto elettriche in Italia. Confrontato però auto equivalenti in termini di prestazioni e di accessori, si evidenzia che in alcuni casi il divario non è molto consistente ed è pensabile che il break-even del costo totale di possesso privato sia ottenibile anche con chilometraggi annuali abbastanza comuni (inferiori ai 10 mila km). Infine, si è visto che le politiche urbane di vantaggio per le auto elettriche possono alterare in modo significativo il quadro competitivo, riducendo il punto di break-even anche di 2 mila km.

Ringraziamenti: Questo lavoro rappresenta l'aggiornamento del modello inizialmente predisposto da Andrea Rusich. Come al solito, un ringraziamento particolare a Lucia Rotaris per l'attenta lettura e gli utili commenti.

1 Introduzione

La stima del costo totale, privato e sociale, di possesso di un'automobile (*total cost of ownership*) permette il confronto tra i diversi modelli di automobile dal punto di vista dei costi privati e sociali totali a diversi livelli di utilizzo in termini di chilometraggio annuale, di percorrenze urbane\extraurbane e di durata di possesso dell'automobile stessa.

Il confronto può essere utile dal punto di vista operativo per valutare le prospettive di mercato dei diversi modelli di automobile o per definire le politiche di prezzo relativamente a potenziali concorrenti. Dal punto di vista strategico permette di orientare eventuale scelte di incentivazione verso alcune tipologie di alimentazione per motivi ambientali. Dal punto di vista del consumatore permettere scelte di acquisto consapevoli.

La stima è basata su un modello di calcolo implementato tramite un software realizzato in Excel. La costruzione ed implementazione del modello richiede:

- L'individuazione delle molteplici componenti di costo sia privato che sociale.

- La loro quantificazione. Operazione tutt'altro che facile ed univoca dato che alcuni di questi costi hanno valori incerti (es., consumi effettivi nelle condizioni reali di traffico, manutenzioni straordinarie, valore residuo), soggettivi (es., premi assicurativi, stili di guida), variabili nel tempo (es., costo del carburante o dell'energia), soggetti a dibattito scientifico (es., costi esterni dell'inquinamento ambientale o acustico) o determinati dalle scelte politiche (es., incentivi o facilitazioni nel parcheggio o negli accessi ad aree riservate).

La stima richiede, inoltre, di tenere conto del chilometraggio percorso annualmente, del tipo di uso (urbano\extraurbano) e della durata del possesso (con implicazioni per il valore residuo) e di applicare le opportune operazioni di attualizzazione dei costi.

La costruzione ed implementazione del modello ha reso evidente che il confronto le automobili, ad esempio le auto elettriche rispetto alle auto a combustione interna in termini generali, è poco significativo. La stima è, infatti, necessariamente:

- *Type-specific*: dipende dal segmento\marca\modello confrontato, con una ampia variabilità all'interno di ciascuna categoria;
- *Location-specific*: dipende dal luogo di residenza del proprietario e dal tipo di viaggi effettuati (es., urbani\extraurbani in relazione ai consumi ed ai costi esterni);
- *Time-specific*: dipende dal periodo storico considerato (es., i prezzi dei carburanti cambiano)

Essendo alcune variabili soggette a decisione politica o altamente incerte, queste sono esplicitate in modo da poter effettuare con facilità analisi di tipo simulativo. Su altre variabili pesa invece una elevata incertezza (es, andamento futuro del prezzo della benzina), per cui sarebbe opportuno che le stime fossero di tipo probabilistico, soggette ad analisi del tipo Montecarlo. Tale caratteristica non è però ancora implementata nella versione realizzata.

Si ricorda infine che il modello tiene conto solo delle variabili monetarie, che rappresentano solo una parte delle variabili che entrano nel processo decisionale di scelta di un'automobile. I costi totali di possesso non possono quindi "spiegare" o "prevedere" le scelte dei consumatori, essendone solo una parte. Rimangono escluse le variabili non-monetarie (es., tempo di ricarica, autonomia), quelle attitudinali (es., conoscenza, ambiente, innovazione tecnologica, sicurezza energetica, caratteristiche della guida) e quelle infrastrutturali (es., densità delle reti di ricarica). Per poter tener conto congiuntamente dell'effetto di tutte queste variabili è più appropriato utilizzare i modelli a scelta discreta (cfr. Liao, 2017).

2 Il modello del costo totale del possesso di un'automobile

Il costo totale del possesso di un'automobile (*total cost of ownership*) comprende tutti i costi monetari che si devono affrontare per poter disporre ed usare un'automobile per un certo numero di anni per un dato numero di chilometri.

I costi possono essere distinti in costi fissi e costi variabili. La variabilità è riferita al chilometraggio percorso.

Tra i costi fissi possiamo individuare:

- I costi fissi iniziali relativi all'acquisto e messa in circolazione del veicolo (costo d'acquisto, tassa di iscrizione)
- I costi fissi annuali: assicurazione, tassa di circolazione, manutenzione ordinaria

Tra i costi variabili al variare dei km percorsi vanno inclusi:

- Il consumo di carburante
- Il consumo di olio

C'è poi un gruppo di costi che ha sia una componente fissa che una variabile

- le manutenzioni straordinarie

- i cambi dei pneumatici
- la batteria di avviamento

Infine ci sono costi legati a specifiche percorrenze o soste come i pedaggi ed i parcheggi che possono in certe aree urbane essere differenziate per tipo di alimentazione.

I costi finora elencati sono di tipo privato, ovvero sono a carico dell'utilizzatore dell'automobile. Ci sono poi un insieme di costi sociali legati alle emissioni di inquinanti atmosferici locali e globali ed alle emissioni acustiche che differiscono per tipo di alimentazione.

Il costo totale del possesso di un'automobile non include i costi di tempo, particolarmente rilevanti per la ricarica delle auto elettriche su colonnine pubbliche, ed i costi derivanti dalla limitata autonomia dei veicoli elettrici.

Dal punto di vista formale il modello può essere descritto in questo modo:

Costo totale, privato e sociale, del possesso di un'automobile = CTO privato + CTO sociale

In cui i termini contengono i seguenti costi.

Costo totale privato del possesso di un'automobile (CTO privato) = Costo fissi iniziali + Costi fissi annuali + Costi fissi straordinari + Costi variabili in base al km – Valore residuo

- Costo fissi iniziali: costo d'acquisto del veicolo + tassa di iscrizione;
- Costi fissi annuali: (assicurazione+tassa di circolazione+manutenzione ordinaria) *n° di anni di utilizzo;
- Costi fissi straordinari: manutenzione straordinaria, costo sostituzione delle batterie;
- Costi variabili in base al km: costo carburante*percorrenze annuali*n° di anni di utilizzo;
- Costi variabili di utilizzo: costo del parcheggio o dell'accesso alle aree riservate.
-

Costo totale sociale del possesso di un'automobile (CTO privato): costo della CO2 emessa + costo dell'inquinamento atmosferico locale + costo dell'inquinamento acustico

- costo della CO2 globalmente emessa: emissioni di CO2 lifecycle (produzione del veicolo, del carburante\elettricità, consumo del carburante, smaltimento veicolo e batteria)*costo della CO2 a veicolo-km;
- costo dell'inquinamento atmosferico locale globalmente emesso: emissioni di inquinanti locali lifecycle (produzione del veicolo, del carburante\elettricità, consumo del carburante, smaltimento veicolo e batteria)*costo dell'inquinamento locale a veicolo-km;
- costo dell'inquinamento acustico locale: emissioni di inquinamento acustico locale*costo dell'inquinamento acustico locale a veicolo-km .

Il modello può essere usato per confrontare due tipologie di automobile con diversa alimentazione, calcolando il punto di break-even in termini di:

- Km da percorrere annualmente per un dato numero di anni
- Numero di anni necessari dato un certo chilometraggio annuale.

Il software da noi sviluppato calcolerà il punto di break-even con il primo metodo.

3 Definizione e discussione delle variabili

Nel modello di calcolo del costo totale del possesso di un'automobile sono quindi considerate le seguenti tipologie di variabili che saranno singolarmente descritte e commentate:

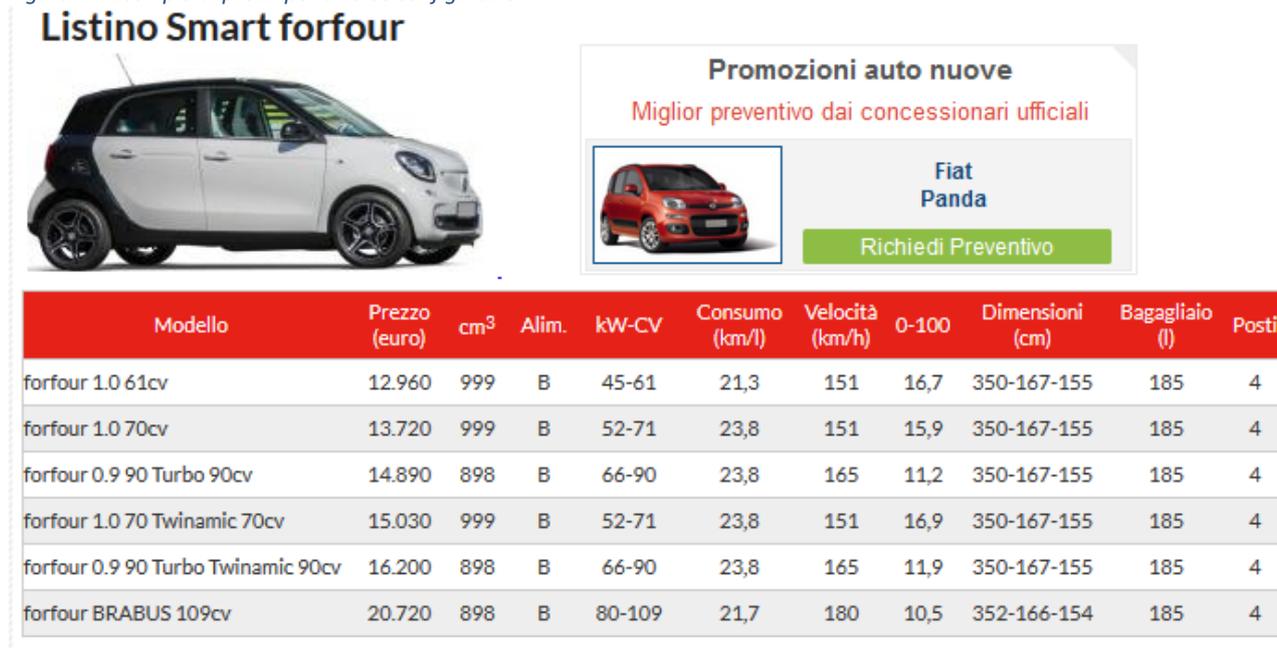
- Variabili tecniche
 - Tipologia di modelli
 - Dimensione delle batterie
- Variabili economiche
 - Prezzo di acquisto
 - Assicurazione
 - Consumi
 - Prezzo del carburante\elettricità
 - Tassa automobilistica
 - Anni di utilizzo dell'auto e percorrenze annuali
 - Manutenzioni ordinarie e straordinarie
 - Valore residuo
 - Sostituzione delle batterie
 - Costo del parcheggio o dell'accesso alle aree riservate
 - Tasso di attualizzazione
- Variabili ambientali
 - Il costo esterno della CO2
 - Il costo esterno dell'inquinamento atmosferico locale
 - Il costo esterno del rumore

3.1 Variabili tecniche

3.1.1 Modelli

In particolare per le auto convenzionali esistono numerose varianti all'interno dei modelli. Prendendo come esempio, la Smart forfour si può notare come il prezzo e la potenza possano variare enormemente tra le diverse configurazioni (Figura 1).

Figura 1 – Esempio di prezzi per diverse configurazioni



Sarà quindi importante, scegliere modelli tra loro simili per assicurare la confrontabilità. Ma cosa vuol dire simili nel confronto tra auto ICE ed auto EV? Si dovrà confrontare almeno:

- la dimensione dell'automobile
- la velocità 0-100, parametro che determina la guida sportiva
- la potenza (kW-CV) e la cilindrata
- il bagagliaio, parametro che determina l'uso familiare
- il numero di posti

Più difficile, anche se non impossibile è confrontare gli accessori presenti: dotazione informatica (GPS), dotazione di sicurezza (airbag, freni) o di guida autonoma, dotazioni di confort (pre-riscaldamento, vetri disappannanti)

3.2 Variabili economiche

3.2.1 Prezzo di listino

Scelto il prezzo è definito il prezzo di listino. Tale prezzo non è ovviamente fisso nel tempo ed, aspetto ancora più problematico per i nostri scopi, è soggetto a decisi sconti presso i distributori. Non potendo incorporare questa variabilità, dovremo affidarci per il confronto ai soli prezzi di listino. Tale confronto sarà valido nella misura in cui gli sconti non sono differenziati per tipologia di alimentazione. Tale condizione non è però assicurata.

3.2.2 Assicurazione

L'importo dell'assicurazione dipende: a) dalle caratteristiche del veicolo, b) della persona che si assicura (età ed incidentalità pregressa), c) dai massimali assicurativi prescelti e d) dal luogo di residenza (grado di incidentalità regionale) ed infine e) dalla strategia commerciale della compagnia assicurativa.

Al fine di assicurare la comparabilità tra i modelli, fissiamo le componenti b), c), d) ed e) a questi elementi: Premio Assicurativo RCA (annuo): Trieste, impiegato, ultima classe, no altri guidatori.

Per tenere sotto controllo la componente e), individuiamo il valore da inserire calcolando la media dei 3 migliori preventivi calcolati online su Facile.it

3.2.3 Consumi

I consumi (*fuel economy*) sono un aspetto importante per il confronto tra i modelli. Anche questo dato è comunque problematico. Un primo aspetto problematico riguarda la differenza tra il consumo teorico ed il consumo reale. Il consumo reale dipende da molteplici fattori legati alle condizioni del traffico (livello di congestione), al tipo di percorso (pianeggiante o meno), al clima, ed allo stile di guida. Quest'ultimo aspetto ha un'incidenza particolarmente importante per le auto elettriche o ibride plug-in, comunemente dotate di recupero di energia in frenata (*regenerative braking*). Il consumo teorico o in condizioni di laboratorio è testato tramite predefiniti cicli di guida. I più noti sono quello statunitense, proposto e condotta dall'EPA, e quello europeo, NECD. Il primo porta a livelli di consumo stimati solitamente superiori al secondo e comunemente ritenuti più vicini ai consumi reali. La scelta del software è di utilizzare, quanto disponibile (ovvero per le sole auto vendute anche negli Stati Uniti) i consumi EPA, sia per le alimentazioni tradizionali che per quella elettrica.

Qualora disponibili sono acquisti sia i valori dei consumi nel ciclo urbano che nel ciclo extra-urbano. Il software stima i consumi in modo separato, ipotizzando percentuali proporzioni definite dall'utente di uso urbano ed interurbano.

3.2.4 Prezzo del carburante\elettricità

Il prezzo del carburante\elettricità determina la competitività di un tipo di alimentazione rispetto ad un altro. Il prezzo ha una componente di mercato (il prezzo del petrolio, il prezzo del mix energetico) ed una componente fiscale (le imposte sui combustibili). Data la variabilità e l'incertezza sull'andamento futuro del prezzo, il software permette all'utente di specificare i valori di riferimento.

3.2.5 Tassa automobilistica

La tassa automobilistica (o bollo auto, in precedenza denominata anche tassa di circolazione) è un tributo locale, che grava sugli autoveicoli e motoveicoli immatricolati nella Repubblica Italiana, il cui versamento è a favore delle Regioni d'Italia di residenza.

La tassa di circolazione, nota anche come bollo dell'auto, è calcolata in Italia tenendo conto della potenza del veicolo (CV o KW, il cui rapporto è pari a 0,7354) e della categoria di emissione (EURO). I valori in vigore nel 2017 sono i riportati in Tabella 1.

Tabella 1 – Coefficienti da applicare per il calcolo della tassa automobilistica

Euro	da 0 a 100 kW (€/kW)	oltre 100 kW (€/kW)
0	3	4,5
1	2,9	4,35
2	2,8	4,2
3	2,7	4,05
4	2,58	3,87
5	2,58	3,87
6	2,58	3,87

Ci sono però anche differenze regionali. Il software applica, a tutti i veicoli, i valori relativi alla regione FVG. Alcune tipologie di alimentazioni godono di esenzioni specifiche, che possono differenziarsi tra Regioni:

- *I veicoli elettrici*, sono esenti dal pagamento per i primi 5 anni, poi alcune regioni prevedono il mantenimento dell'esenzione o si ha una forte riduzione (pari a circa il 75%) o rientrano a pagare il bollo normalmente. Lombardia e Piemonte prevedono esenzione totale.

- *I veicoli ad alimentazione esclusiva a GPL o metano* godono in alcune province e regioni di un ecoincentivo. Altre regioni prevedono ecoincentivi anche per auto ad alimentazione mista.

Un'altra variabile da considerare, per il calcolo dell'importo del bollo auto, è il superamento dei 185 kW di potenza. In questo caso alla vettura verrà applicato un importo aggiuntivo di circa 20 euro per ogni kW in eccedenza.

Il software calcola l'imposta dovuta nel FVG, applica il superbollo ed esclude dal pagamento i veicoli elettrici per 10 anni.

3.2.6 Anni di utilizzo dell'auto e valore residuo

Un aspetto cruciale e problematico nella comparazione tra auto convenzionali ed elettriche riguarda gli anni di utilizzo ed il valore residuo. Nelle automobili elettriche ci sono due componenti importanti: a) la durata della batteria e b) l'usura del veicolo.

È noto che nelle auto convenzionali il motore è la parte che invecchia più rapidamente e necessaria la sua sostituzione dopo un certo numero di anni o determinate percorrenze. I miglioramenti tecnologici hanno fatto sì che i motori durino molti anni, soggetti alla sola manutenzione ordinaria, senza richiedere interventi straordinari. Ciò ha fatto sì che il numero di anni in cui un'auto convenzionale è garantita si è prolungata nel tempo.

Le auto elettriche, essendo totalmente sprovviste di un motore endotermico, hanno comunque un vantaggio su questo, che però è difficilmente quantificabile. Hanno invece sicuramente uno svantaggio relativamente alle batterie, che hanno una durata limitata: perdono in efficienza\autonomia con il tempo e debbono essere sostituite da nuove batterie dopo un certo numero di anni. Questo aspetto problematico è stato gestito da alcune case automobilistiche (Renault, ad esempio) attraverso la vendita di automobili elettriche con la batteria a noleggio, in cui i rischi di rapido degrado erano quindi a carico del produttore. I pochi anni di sperimentazione delle auto elettriche (dal 2011), ed anche il continuo miglioramento tecnologico, non consentono al momento attuale di precisare qual è la vita utile di una batteria o dopo quanti anni è consigliabile la sostituzione. Tanto meno è possibile quantificare il costo di tale sostituzione. Ciò rende alquanto problematico un confronto tra automobili basato sul costo totale del possesso per un periodo di tempo superiore a 5 anni, in quanto gli elementi di incertezza tendono ad avere un peso rilevante.

Tale incertezza si rifletta sul valore residuo del veicolo. Se per le alimentazioni tradizionali, il tasso di perdita di valore è sufficientemente noto, ciò non è vero per le automobili elettriche. Le prime evidenze sembrano mostrare una obsolescenza economica assai rapida, ma ciò potrebbe dipendere più dalla obsolescenza tecnologica che da quella tecnica connessa alla durata delle batterie.

Il valore residuo è un dato particolarmente rilevante per i gestori delle flotte a noleggio a lungo termine (leasing) che tendono a mantenere nel proprio parco auto recenti, date le preferenze dei clienti, e per i quali il valore residuo è uno dei parametri cruciali per determinare il valore del canone di noleggio.

La domanda centrale è in questo contesto se le auto elettriche perdono più rapidamente o meno rapidamente valore delle automobili convenzionali. Una risposta certa non esiste ancora, anche se ci sono prime evidenze di un parallelismo tra le due tipologie di alimentazione.¹

3.2.7 Manutenzioni ordinarie e straordinarie

¹ http://www.quattroruote.it/news/aziende/2015/03/17/auto_elettriche_valore_residuo_in_salita.html

Chiedere ad Andrea su come ha fatto il calcolo delle manutenzioni ordinarie e straordinarie. Sulla base delle informazioni disponibili², le elettriche sono comunque state stimate il 35% in meno della media delle auto convenzionali³. Tale riduzione è da attribuirsi ai minor costi di manutenzione legate a:

- Il minor numero di componenti dell'automobile in assenza del motore termico.
- Alla minor presenza di liquidi.

3.2.8 Valore residuo

Il calcolo del valore residuo di un'auto è una operazione complessa. Generalmente ci si basa su pochi parametri essenziali quali età e chilometraggio. Comunemente si ritiene che:

- dopo 1 anno l'auto si svaluta del 25% e vale il 75% dell'importo pagato;
- dopo 2 anno l'auto si svaluta del 15% e vale il 60% dell'importo pagato;
- dopo 3 anno l'auto si svaluta del 10% e vale il 50% dell'importo pagato;
- dopo 4 anno l'auto si svaluta del 7,5% e vale il 35% dell'importo pagato;
- dopo 5 anno l'auto si svaluta del 7,5% e vale il 27,5% dell'importo pagato;
- dopo 6 anno l'auto si svaluta del 7,5% e vale il 20% dell'importo pagato;
- dopo 7 anno l'auto si svaluta del 7,5% e vale il 12,5% dell'importo pagato;

Tale metodo è comunque sommario in quanto non prende in considerazione altri fattori ritenuti importanti quali: la presenza di accessori, il numero di proprietari, il segmento dell'auto, la marca e modello ed il colore. Il nostro interesse è però di tipo comparativo: si deprezzano più rapidamente le auto tradizionali o quelle elettriche? Una delle barriere alla diffusione di veicoli elettrici nelle flotte aziendali è l'incertezza sul valore residuo: nel dubbio, le aziende di noleggio hanno spesso assegnato valori bassi che hanno alzato il Total Cost of Ownership, rendendo l'auto elettrica poco competitiva sul mercato flotte. Recenti notizie sulla stampa specializzata indicano che qualcosa sta cambiando per cui il valore residuo di un'auto elettrica usata si starebbe avvicinando a quello di una tradizionale diesel⁴.

Date tali incertezze questo software ipotizza che non ci siano sostanziali differenze e, pertanto, non tiene conto del valore residuo delle automobili dopo 10 anni di utilizzo: in entrambi i casi viene supposto che il valore commerciale residuo sia pari a zero.

² <http://www.plugincars.com/eight-factors-determining-total-cost-ownership-electric-car-127528.html>

“EVs benefit from not requiring oil changes or other maintenance costs for exhaust systems. Studies have shown that this represents a 35 percent decrease in cost over time. Some calculations peg this to about 3 or 4 cents per mile of maintenance cost in an EV versus closer to 6 cents in an internal combustion car. But it's hard to know for certain. “

³ Proponents of EVs also cite the advantages EVs have over ICEs in terms of maintenance and driving performance. Despite being an advanced technology, EVs are remarkably simple to maintain. An EV has one moving part, the motor, whereas an ICE vehicle has hundreds of moving parts. Fewer moving parts in the EV means it requires less periodic maintenance and is more reliable. ICE vehicles require a wide range of maintenance, from frequent oil changes, filter replacements, periodic tune ups, and exhaust system repairs, to less frequent component replacement (US Dept of Energy 2005). Brake pads in EVs require periodic maintenance, but not nearly as often as conventional vehicles since EVs do not use brakes as much due to regenerative braking (Zhang Chuanwei 2004). Although quantifying maintenance costs is difficult since newer EVs have not been on the roads as long as conventional vehicles, a study conducted at the Institute for Automotive Research (IFA) at the Nürtingen–Geislingen University found that EV maintenance can cost 35% less than that of a conventional vehicle (Diez 2014). Estratto da “A cost benefit analysis of electric and hybrid electric vehicles”, Arshad et al. (2015), University of Chicago.

⁴ “Secondo Glass's, del gruppo EurotaxGlass's, almeno sul mercato locale, dopo 3 anni e 60 mila miglia, una Tesla Model S avrebbe un valore residuo del 43%, lo stesso di una Bmw 535d MSport. Il valore di una Opel Ampera, sempre dopo 3 anni e 60 mila miglia, sarebbe del 27,6%, poco distante dal 34,6% di una Insignia CDTi mentre la Bmw i3 (con il range extender) arriverebbe al 39,1% rispetto al 43,5% di una 320d.”.

http://www.quattroruote.it/news/aziende/2015/03/17/auto_elettriche_valore_residuo_in_salita.html

3.2.9 Sostituzione delle batterie

Un punto molto importante è definire se sia necessario ipotizzare che nell'arco dei 10 anni presi in considerazione per il confronto le auto elettriche necessitino di una sostituzione delle batterie o meno. Si tenga presente che:

- C'è ancora molta incertezza sulla effettiva durata di una batteria elettrica in quanto, tra l'altro le prime automobili elettriche tutt'ora in circolazione sono apparse a partire dal 2011. In alcuni casi di chilometraggi annuali elevati alcuni automobilisti hanno già percorso con le batterie esistenti più di 200 mila km, pari al nostro caso ipotetico di 10 anni a 20 mila km all'anno. In tali casi la batteria ha mostrato un notevole degrado ma permette ancora un uso che oscilla tra il 60% e l'80% dell'autonomia originale, permettendo l'utilizzo su distanze ridotte ma ancora sufficienti per la maggior parte dei percorsi casa lavoro⁵.
- Alcune batterie hanno mostrato una longevità inaspettata⁶.
- Come abbiamo visto il valore commerciale residuo di un'auto convenzionale dopo 10 anni va praticamente a zero, anche se è ancora pienamente usabile per percorrenze giornaliere contenute, quali sono quelle effettuate dalla maggior parte delle persone.

Queste considerazioni ci hanno fatto ritenere che nei nostri casi ipotetici le auto elettriche e quelle convenzionali possano essere trattate allo stesso modo e non sia necessario per quelle elettriche introdurre i costi di un ricambio della batteria.

3.2.10 Costo del parcheggio o dell'accesso alle aree riservate

Alcune città permettono alle auto elettriche di parcheggiare gratuitamente o di entrare nelle aree soggette a pedaggio senza costi. L'importo annuale risparmiato è inseribile dall'utente del software.

3.2.11 Tasso di attualizzazione

I valori futuri dei costi di gestione o dei costi ambientali sono attualizzati con la seguente formula: $C * \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{r(1+r)^t} \right]$. Il tasso di interesse è fissato dall'utente.

3.3 Variabili ambientali

3.3.1 Il costo esterno della CO2

Le emissioni di CO2 sono strettamente connesse con i consumi di carburante. Similmente a questi ultimi, esso dichiarati dalle case automobilistiche (sulla base dei cicli di misurazione NECD o EPA). Quando i valori EPA sono disponibili, abbiamo utilizzato questi ultimi in quanto più vicini alle emissioni in situazioni reali. Essi rappresentano però solo una parte delle emissioni di CO2 totali, ovvero quelle prodotte al momento dell'uso del veicolo. In termini di analisi del ciclo di vita, esse sono definite "tank-to-wheel", dal serbatoio alla ruota. Mancano quelle "wheel-to-tank", ovvero quelle legate alla estrazione, produzione e distribuzione del combustibile, alla produzione del veicolo ed allo smaltimento dello stesso. Nel caso delle auto elettriche le

⁵ <http://www.gruppoacquistoauto.it/approfondimenti/le-batterie-degli-ev-possono-durare-piu-quanto-pensate/>

⁶ "On the positive side, Bolloré lithium-metal-polymer batteries seem to be more durable than previously anticipated, and are expected to have a useful life of 10, or even 15 years." <http://insideevs.com/bolloré-to-back-out-of-electric-car-biz/>

emissioni “tank-to-wheel” sono pari a 0, ma quelle “wheel-to-tank” sono stimate da Rusich e Danielis (2014) pari a 63.59. Per una discussione più dettagliata delle stime per l’Italia si confronti anche Danielis (2017). La Tabella 2 riporta i valori delle emissioni di CO2 per diverse tipologie di alimentazione.

Tabella 2 – Emissioni di CO2 per diverse tipologie di alimentazioni (gCO2eq./km)

	WTTp*	TTWp	WTWp	WTTp*	TTWp	WTWp
Benzina	26,05	153,05	179,10	15%	85%	100%
Diesel	24,98	120,2	145,18	17%	83%	100%
Bi-fuel CNG	25,79	126,8	152,59	17%	83%	100%
Diesel HEV	20,02	95,6	115,62	17%	83%	100%
Gasoline HEV	21,90	100,6	122,50	18%	82%	100%
BEV	63,59	0	63,59	100%	0%	100%
Bi-Fuel LPG	14,06	139,9	153,96	9%	91%	100%

Fonte: Rusich e Danielis (2014)

A partire dal dato noto, le emissioni “tank-to-wheel” per i veicoli a combustione interna abbiamo proceduto a stimare la componente “tank-to-wheel” per ciascuna automobile. Per i veicoli plugin, in considerazione del loro utilizzo al 50% elettrico abbiamo ridotto i valori in modo corrispondente.

Assai problematico ed incerto è anche il valore economico da attribuire alla CO2. Una discussione approfondita del tema si può trovare in Nocera et al. (2015a) che riporta 699 stime derivanti da 60 studi pubblicati su riviste scientifiche tra il 2010 ed il 2014. I valori citati vanno da -2 a 1.488 euro a tonnellata. Il valore medio è €56/tCO2eq (con una deviazione standard pari 137). Il valore mediano è 17,5 euro a tonnellata. Tale è il valore da noi inserito in prima battuta nel software, modificabile dall’utente per valutarne l’impatto sui risultati.

3.3.2 Il costo esterno dell’inquinamento atmosferico locale

I costi esterni per veicolo-chilometro sono posti pari alle cifre indicate in Tabella 3.

Tabella 3 – Il costo esterno dell’inquinamento locale (€/vkm)

	Benzina	Diesel	Elettrica	Ibrida plug-in
Inquin. Locale urbano (€/vkm)	0,0040	0,0070	-	0,0020
Inquin. Locale extra-urbano (€/vkm)	0,0010	0,0020	-	0,0005
Inq, locale prod. energia (€/vkm)	-	-	0,0010	0,0005

La fonte dei dati per la stima dell’inquinamento locale urbano ed extra-urbano è la Table 17: Air pollution costs in €ct/vkm (2010) for passenger cars, EU average*, pubblicata in “Update of the Handbook on External Costs of Transport (2014)” e riprodotta in Appendice. Alle percorrenze urbane è stato applicato la stima “urban”, mentre per quelle extra-urbane è stata applicato la stima “motorway” (che in molti casi è simile alla stima “rural” o “suburban”). Si noti come il costo esterno delle auto diesel sia stimato quasi il doppio di quelle a benzina, in considerazione delle maggiori emissioni di particolato ed ossidi di azoto. Per le auto ibride-plugin, in considerazione del fatto che le prime evidenze statistiche mostrano che almeno il 50% dei viaggi in ambito urbano sono fatti in modalità elettrica, è stato applicato un valore pari alla metà delle auto a benzina.

Le auto elettriche hanno emissioni zero al momento dell'utilizzo ma sono comunque causa di emissioni di inquinanti locali durante la fase della produzione di energia. L'interrogativo è dunque quale costo esterno per vkm attribuire alle auto elettriche?

Come mostra chiaramente il caso cinese, se l'energia elettrica è prodotta con centrali a carbone ed in prossimità di centri abitati, le emissioni di inquinanti locali a cui vengono a contatto gli abitanti delle città può essere enorme. Il recente rapporto "Energy and Air Pollution - World Energy Outlook 2016 Special Report" dell'International Energy Agency (IEA) illustra chiaramente il grave problema e mostra come esso dipenda dall'energy mix, dal livello tecnologico del paese e dalla regolamentazione esistente sull'adozione di filtri capaci di contenere le emissioni. Si evidenzia chiaramente una netta differenza tra i paesi in via di sviluppo e i paesi più avanzati.

Il quadro italiano è ben documentato dall'ISPRA nella pubblicazione dal titolo "Italian Emission Inventory 1990-2014." Esso mostra come grazie dall'introduzione di nuovi strumenti regolamentari, alla sostituzione del gas naturale invece dell'olio combustibile, alla ridotta presenza di centrali a carbone e, aggiungiamo noi, al progressivo utilizzo di fonti rinnovabili, le emissioni di inquinanti locali nella produzione di energia elettrica siano contenute, rispetto ai trasporti, ed in fase calante⁷.

Data l'inesistenza di stime ufficiali per l'Italia (o l'Europa) sui costi esterni dell'inquinamento locale associabili ad un vkm di percorrenza con un veicolo elettrico abbiamo optato per la seguente scelta: attribuire un costo esterno per km pari alle emissioni delle automobili convenzionali in ambito extraurbano, in considerazione del fatto che le emissioni inquinanti delle centrali di produzione di energia elettrica sono prevalentemente localizzate in ambiti extra-urbani.

3.3.3 Il costo esterno del rumore

La stima del costo esterno del rumore è anche problematica. Le auto elettriche sono più silenziose di quelle convenzionali grazie all'assenza del motore, ma non sono esenti dal rumore generato dal rotolamento delle gomme. In attesa di maggior evidenze scientifiche abbiamo attribuito alle auto elettriche una riduzione di rumorosità pari al 50% rispetto a quelle a motore a combustione interna.

La stima del costo esterno per vkm è basata Tabella 28 "Illustrative marginal noise costs for the EU, € per 1000 vkm, pubblicata in "Update of the Handbook on External Costs of Transport (2014)". La stima è diversificata per tipo di veicolo, tra giorno e notte, per tipo di traffico (intenso, non intenso) e per area (rural, suburban, rural). Tali valori sono molto differenziati. Il valore notte\intenso\urbano è 15 volte quello

⁷ ISPRA (2016, p. 58) "Public electricity and heat production (1A1a) is a key source of SOX emissions in 2014 with a share of 14.6%, PCB (32.7%) and NOX emissions (4.7%). A strong reduction of SOX, NOX and PM10 emissions is observed for this category (as well as for 1A2f category). The introduction of two regulatory instruments: the DPR 203/88 (Decree of President of the Republic of 24th May 1988), laying down rules concerning the authorisation of plants, and the Ministerial Decree of 12th July 1990, which introduced plant emission limits for new plants of emissions for PM10, NOX and SOX, and required old plants to conform to the limit by 1997, explained the emission reduction in the ninety years. The shift from fuel oil to natural gas combined with the increase of energy efficiency of the plants and the introduction of PM10 abatement technologies have been implemented to comply with the emission limit values. From 2000 lower limits to the stacks have been introduced, in the framework of environmental integrated authorisations, for the authorisation of new plants and the implementation of the old ones, especially for those collocated in areas with air quality critical values. For this reason plants have increase the use of natural gas heat and power combined technology. In 2014 in Italy there are still 11 coal plants and 4 fuel oil plants out of 148 power plants included in this source category. With exception of few biomass plants and some gasoil stationary engines in the small islands the other plants are natural gas combined cycle thermoelectric power plant."

suburbano. Essendo i nostri valori differenziati solo tra viaggi urbani ed extraurbani, abbiamo operato delle medie (tra giorno e notte, e tra urbano e suburbano) giungendo alle seguenti quantificazioni:

- costo rumore urbano (€/km): 0,0113
- costo rumore extraurbano (€/km): 0,0002

3.3.4 Riassunto costi esterni

In sintesi i costi esterni applicati sono illustrati in

Tabella 4.

Tabella 4 - Riassunto dei costi sociali per diversi tipi di alimentazione

	Benzina	Diesel	Elettrica	Ibrida Plug-in
Inquin. Locale urbano (€/vkm)	0,00400	0,00700	-	0,00200
Inquin. Locale motorway (€/vkm)	0,00100	0,00200	-	0,00050
Inq, locale prod.energia (€/vkm)	-	-	0,00100	0,00050
costo rumore urbano (€/km)	0,01131	0,01131	0,00566	0,01131
costo rumore extraurbano (€/km)	0,00020	0,00020	0,00010	0,00020
costo Co2 al grammo	0,000005	0,000005	0,000005	0,000005
inquinamento locale	0,00500	0,00900	0,00100	0,00300
Rumore	0,01151	0,01151	0,00576	0,01151
CO2	0,00085	0,00060	0,00032	0,00043
totale	0,01736	0,02111	0,00708	0,01494
inquinamento locale	29%	43%	14%	20%
Rumore	66%	55%	81%	77%
CO2	5%	3%	5%	3%

Nel caso della CO2 il costo al grammo (pari a 0,000005 €) va moltiplicato per i grammi per km emessi dal modello in questione. Nella tabella abbiamo ipotizzato che questi siano pari a 170 (well-to-wheel) per i motori convenzionali, 65 per le auto elettriche e 85 per i plug-in. Queste ipotesi ci portano alla distribuzione dei costi totali illustrati nelle ultime 4 righe. In termini totali, essi sono maggiori per le auto diesel (3 volte di più delle elettriche). In termini percentuali, il costo esterno totale è soprattutto legato al rumore ed all'inquinamento locale.

4 L'implementazione del modello del costo totale di possesso privato e sociale di un automobile

Il modello così descritto è stato implementato in Excel, in modo da poterlo usare in modo simulativo.

4.1 Modelli considerati

I modelli attualmente caricati nel database sono i seguenti:

- BENZINA: Fiat Panda Easy, Fiat Punto Twinair, Audi A8, Smart forfour, WV Golf, Renault Clio, Nissan Qashqai, Nissan Pulsar
- DIESEL: VW Golf Trendline, Ford Fiesta TdCi, Volvo V60 D3 kinetic
- IBRIDA_BENZINA: Lexus IS, Toyota Auris, Toyota Prius, Lexus CT, Lexus RX 450h, Toyota Yaris, Lexus NX, Audi A8 Hybrid, BMW Serie 3 Hybrid, Honda Jazz Hybrid, Infiniti Q50 Hybrid, Mercedes S400 Hybrid, Porsche Panamera Hybrid
- IBRIDA_DIESEL: Peugeot 508, Peugeot 3008, Mercedes Classe E Hybrid, Citroen DS5 Hybrid, Mercedes Classe C Hybrid
- ELETTRICA: Nissan Leaf 24kWh, Citroën C-Zero, Smart Forfour ED, VW E-UP, VW E-GOLF kWh 35.8 , Peugeot iOn, Mitsubishi Miev, Tesla Model S, Ford Focus Electric, BMW i3, Mercedes Classe B Electric, Hyundai Ioniq Electric 28kWh, Renault Zoe 41kWh, Opel Ampera-e 60 kWh
- ELETTR_NOL_BATTERIA: Nissan Leaf nol.batt, Smart For Two ED nol.batt, Renault Fluence, Renault Zoe nol.batt
- IBRIDA_PLUGIN: BMW i3 Range Extender, Mitsubishi Outlander, VW Golf GTE

5 Alcuni risultati

Il database ed il software di calcolo predisposto permettono diversi tipi di analisi. Di seguito riportiamo le seguenti:

- un confronto tra le auto elettriche e le auto a benzina maggiormente vendute in Italia;
- un confronto tra auto elettriche ed auto convenzionali equivalenti;
- un confronto tra auto elettriche ed auto convenzionali equivalenti con una politica urbana incentivante.

5.1 Un confronto tra le auto elettriche e le auto a benzina maggiormente vendute in Italia

Selezioniamo ora le 10 auto a benzina più vendute sul mercato italiano. Secondo le statistiche UNRAE di aprile 2017 esse sono: FIAT 500L, FIAT Tipo, FIAT 500X, Renault Clio, JEEP Renegade, Fiat Panda Easy, Renault Capture, VW Tiguan e Ford Fiesta. Utilizzando i dati disponibili ed applicando il nostro software, si ottengono i seguenti valori:

Tabella 5 – TCO per le 10 auto maggiormente vendute in Italia

	Se vengono percorsi 5.000 km per 10 anni			Se vengono percorsi 5.000 km per 10 anni		
	val. medio	val. minimo	val. massimo	val. medio	val. minimo	val. massimo
Prezzo di listino	18.864	11.600	27.550	18.864	11.600	27.550
Costo di gestione annuale	2.227	2.054	2.358	3.097	2.726	3.382
Costo totale privato	37.858	31.508	46.771	45.282	40.350	54.123
Costo totale sociale	648	631	658	1.181	1.164	1.190
Costo complessivo	38.506	32.145	47.423	46.462	41.514	55.308

Prendiamo adesso in considerazione le auto elettriche presenti sul mercato italiano, concentrandoci sulla sola fascia media, escludendo la Tesla Model S e Model X ed includendo invece la Ampera. I risultati sono i seguenti:

Tabella 6 - Auto elettriche presenti sul mercato in Italia (fascia media, senza Tesla con Ampera)

	Se vengono percorsi 5.000 km per 10 anni			Se vengono percorsi 5.000 km per 10 anni		
	val. medio	val. minimo	val. massimo	val. medio	val. minimo	val. massimo
Prezzo di listino	34.273	24.559	44.060	34.273	24.559	44.060
Costo di gestione annuale	1.244	1.079	1.581	1.651	1.465	2.072
Costo totale privato	44.885	35.715	54.889	48.356	39.396	59.077
Costo totale sociale	284	284	285	521	520	521
Costo complessivo	45.169	35.999	55.173	48.876	39.917	59.597

Si osserva come:

- Il prezzo medio di listino della auto elettriche è quasi il doppio di quello delle auto più vendute in Italia;
- Il costo totale privato, somma del costo di acquisto e dei costi variabili, è superiore nel caso delle auto elettriche di circa 7 mila euro nel caso di percorrenze annuali pari a 5.000 km per 10 anni e di circa 3 mila euro nel caso di percorrenze annuali pari a 10.000 km per 10 anni.
- Il punto di break-even medio tra le auto a benzina più vendute in Italia e le auto elettriche attualmente disponibili è pari a 19.391, vale a dire solo se si percorrono, mediamente, quel numero di km all'anno (per 10 anni), le auto elettriche possono diventare mediamente convenienti rispetto alle attuali auto a benzina più vendute sul mercato italiano.

E' evidente quindi che non ci sono attualmente le condizioni per veder decollare a livello di grandi numeri il mercato delle auto elettriche in Italia. Le condizioni attuali potrebbero naturalmente cambiare. Ad esempio, potrebbe ridursi il costo delle auto elettriche (per effetto della riduzione del costo di produzione delle batterie, della realizzazione di economie di scala e della aumentata concorrenza tra le case produttrici), aumentare il prezzo dei carburanti fossili (che attualmente sono ai minimi storici) o potrebbero intervenire fattori politici o regolamentari a favore della auto elettriche (incentivi o regolamentazioni urbane).

5.2 Un confronto tra auto elettriche ed auto convenzionali equivalenti

Per dare un'idea delle potenzialità di utilizzo del software di seguito proponiamo alcuni confronti relativi a coppie di automobili, una alimentata a benzina ed una elettrica, tra loro sufficientemente comparabili.

Il confronto riguarda i seguenti modelli, appartenenti al segmento medio-basso.

Il risultato è rappresentato nella Figura 2.

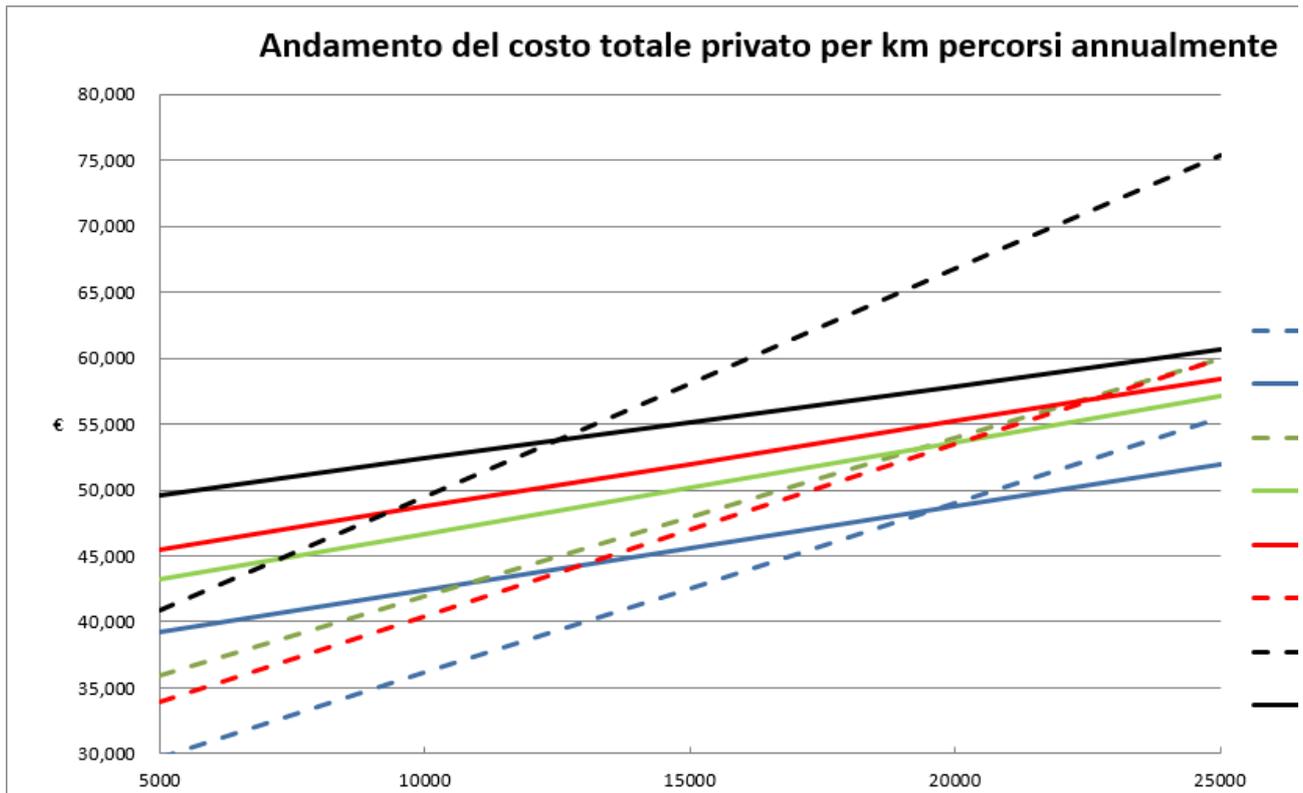


Figura 2 – Andamento del costo totale privato per km percorsi annualmente

Le automobili convenzionali sono rappresentate dalle linee tratteggiate, mentre quelle elettriche dalle linee tratteggiate. Si può subito notare come le convenzionali hanno intercette più basse (costi fissi più bassi), ma inclinazioni più elevate (costi variabili più alti), per cui le linee dello stesso colore, rappresentanti automobili tra loro comparabili, si incrociano in un punto. Tale punto identifica il chilometraggio annuale di break-even, ovvero quanto chilometri devono essere percorsi dalle due auto per avere costi totali uguali, sotto l'ipotesi di 10 anni di possesso\utilizzo dell'automobile.

La Tabella 7, Tabella 8 e Tabella 9 riporta i valori in termini quantitativi.

Tabella 7 - Dettaglio dei costi per 5.000 km annui e 10 anni di possesso

	ICEB1	EV1	ICEB2	EV2	ICEB3	EV3	ICEB4	EV4	ICEB5	EV5
Prezzo di listino	12.960	24.559	18.090	30.690	16.350	33.250	20.400	37.600	12.600	27.150
Costo di gestione annuale	2.146	1.492	2.087	1.463	2.065	1.435	2.395	1.412	2.033	1.263
Costo tot. privato	31.262	37.290	35.893	43.172	33.964	45.495	40.829	49.644	29.944	37.927
Costo tot. sociale	642	284	635	284	644	285	643	284	621	284
Costo compless.	31.904	37.574	36.528	43.456	34.607	45.779	41.472	49.928	30.565	38.211
Differenza CT privato EV-ICEV		6.028		7.279		11.531		8.814		7.983

Tabella 8 - Dettaglio dei costi per 10.000 km annui e 10 anni di possesso

	ICEB1	EV1	ICEB2	EV2	ICEB3	EV3	ICEB4	EV4	ICEB5	EV5
Prezzo di listino	12.960	24.559	18.090	30.690	16.350	33.250	20.400	37.600	12.600	27.150
Costo di gestione annuale	2.995	1.909	2.792	1.872	2.825	1.816	3.408	1.733	2.762	1.596
Costo tot. privato	38.505	40.840	41.909	46.660	40.452	48.737	49.472	52.385	36.163	40.767
Costo tot. sociale	1.175	520	1.168	520	1.176	521	1.175	520	1.154	520
Costo compless.	39.679	41.360	43.077	47.181	41.628	49.259	50.648	52.905	37.317	41.288
Differenza CT privato EV-ICEV		2.335		4.751		8.285		2.912		4.604

Tabella 9 - Break even CT privati km\anno

ICEB1	EV1	ICEB2	EV2	ICEB3	EV3	ICEB4	EV4	ICEB5	EV5
	13.162		19.395		22.765		12.467		16.810

La riga finale per ogni tabella identifica la differenza tra i costi totali privati di possesso tra l'auto elettrica e la corrispondente auto convenzionale. Si può vedere come questa sia superiore ai 6000 euro se si percorrono 5,000 km all'anno. Se invece se ne percorrono 10,000 il valore si abbassa circa 2,600 euro. Tali valori ci danno un'idea dell'entità del sussidio che sarebbe necessario per eguagliare i costi totali tra i due tipi di alimentazioni per ciascuna coppia di modelli: un'indicazione utile per il decisore pubblico.

E' bene ricordare che tali stima derivano da precise assunzioni relative ad alcuni parametri cruciali quali:

- Tasso di attualizzazione: 3%
- costo benzina al litro: 1,579
- % percorrenza urbana: 80%
- costo gasolio al litro: 1,427
- costo elettricità al kWh: 0,18
- Valore di una tonnellata di CO2:17,5
- Risparmi nei costi di parcheggio o pedaggio per le auto elettriche (annuali): 0

5.3 Un confronto tra auto elettriche ed auto convenzionali equivalenti con una politica urbana incentivante

Variando questi parametri variano ovviamente i risultati. Ad es., portando a 200€ all'anno il risparmio nei costi di parcheggio o pedaggio per le auto elettriche, derivanti da potenziali politiche a livello urbane, si ottengono i risultati riassunti nella La Tabella 10, Tabella 11 e Tabella 12.

Tabella 10 - Dettaglio dei costi per 5.000 km annui e 10 anni di possesso

	ICEB1	EV1	ICEB2	EV2	ICEB3	EV3	ICEB4	EV4	ICEB5	EV5
Prezzo di listino	12.960	24.559	18.090	30.690	16.350	33.250	20.400	37.600	12.600	27.150
Costo di gestione annuale	2.146	1.292	2.087	1.263	2.065	1.235	2.395	1.212	2.033	1.063
Costo tot. privato	31.262	35.584	35.893	41.466	33.964	43.789	40.829	47.938	29.944	36.221
Costo tot. sociale	642	284	635	284	644	285	643	284	621	284
Costo compless.	31.904	35.868	36.528	41.750	34.607	44.073	41.472	48.222	30.565	36.505
Differenza CT privato EV-ICEV		4.322		5.573		9.825		7.108		6.277

Tabella 11 - Dettaglio dei costi per 10.000 km annui e 10 anni di possesso

	ICEB1	EV1	ICEB2	EV2	ICEB3	EV3	ICEB4	EV4	ICEB5	EV5
Prezzo di listino	12.960	24.559	18.090	30.690	16.350	33.250	20.400	37.600	12.600	27.150
Costo di gestione annuale	2.995	1.709	2.792	1.672	2.825	1.616	3.408	1.533	2.762	1.396
Costo tot. privato	38.505	39.134	41.909	44.954	40.452	47.031	49.472	50.679	36.163	39.061
Costo tot. sociale	1.175	520	1.168	520	1.176	521	1.175	520	1.154	520
Costo compless.	39.679	39.654	43.077	45.475	41.628	47.553	50.648	51.199	37.317	39.582
Differenza CT privato EV-ICEV		629		3.045		6.579		1.206		2.898

Tabella 12 - Break even CT privati km\anno

ICEB1	EV1	ICEB2	EV2	ICEB3	EV3	ICEB4	EV4	ICEB5	EV5
	10.852	-	16.021	-	20.137	-	11.022	-	14.288

Come si vede si riduce di quasi 2 mila km all'anno il chilometraggio necessario per il break-even, a dimostrazione dell'importanza delle politiche urbane a sostegno della mobilità elettrica.

6 Conclusioni

In questo rapporto sviluppiamo un modello per il calcolo del costo totale, privato e sociale, di possesso di un'automobile. Nella scelta dell'automobile un consumatore od una azienda effettuano una scelta complessa sulla base di motivazioni monetaria, non monetarie, attitudinali e di contesto. Non è per niente detto che la scelta sia la più razionale ed informata. Riteniamo che il modello presentato in questo rapporto, pur limitandosi alle sole variabili monetarie, possa essere utile: a) dal punto di vista operativo per valutare le prospettive di mercato dei diversi modelli di automobile o per definire le politiche di prezzo relativamente a potenziali concorrenti; b) dal punto di vista strategico per orientare eventuale scelte di incentivazione verso

alcune tipologie di alimentazione per motivi ambientali; e c) dal punto di vista del consumatore per effettuare scelte di acquisto consapevoli.

Il modello è implementato tramite un foglio Excel che permette un utilizzo simulativo. I parametri utilizzati dal modello per stimare il costo totale di possesso, privato e sociale, di un'automobile sono basati sulle informazioni disponibili e sulle evidenze empiriche presenti in letteratura. Alcuni parametri (es. il prezzo del carburante, dell'elettricità, il tasso di attualizzazione, il costo della CO₂, i risparmi nei costi di accesso o di parcheggio) possono essere variati per realizzare simulazioni, analisi di sensitività o per adeguarli ai cambiamenti nei valori di mercato o ai diversi contesti urbani.

Il modello è stato da noi utilizzato per effettuare tre tipi di analisi

- un confronto tra le auto elettriche e le auto a benzina maggiormente vendute in Italia;
- un confronto tra auto elettriche ed auto convenzionali equivalenti;
- un confronto tra auto elettriche ed auto convenzionali equivalenti con una politica urbana incentivante.

In generale si evince che il costo d'acquisto dell'auto elettrica è mediamente ancora molto più alto (quasi il doppio) delle auto a motore a combustione interna maggiormente vendute in Italia e che tale divario iniziale non è compensato dai minori costi variabili se non con percorrenze annuali molto elevate. Al momento attuale, non ci si può quindi attendere una penetrazione rilevante delle auto elettriche in Italia. Confrontato però auto equivalenti in termini di prestazioni e di accessori, si evidenzia che in alcuni casi il divario non è molto consistente ed è pensabile che il break-even del costo totale di possesso privato sia ottenibile anche con chilometraggi annuali abbastanza comuni (inferiori ai 10 mila km). Infine, si è visto che le politiche urbane di vantaggio per le auto elettriche possono alterare in modo significativo il quadro competitivo, riducendo il punto di break-even anche di 2 mila km.

Riferimenti bibliografici

- Danielis, E (201) Le emissioni di CO₂ delle auto elettriche e delle auto con motore a combustione interna. Un confronto per l'Italia tramite l'analisi del ciclo di vita, WP SIET, <http://www.sietitalia.org/pubblicazioni.htm>
- DG MOVE (2014) Update of the Handbook on External Costs of Transport, Report for the European Commission
- 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, 3-16.
- Diez, W. (2014), Mehr Profit durch Kundenbindung, Institut für Automobilwirtschaft.
- Liao, F., Molin, E., van Wee, B. (2017) Consumer preferences for electric vehicles: a literature review, *Transport Reviews*, 37:3, 252-275,

Appendice

RICARDO-AEA

Update of the Handbook on External Costs of Transport

Table 17: Air pollution costs in €ct/vkm (2010) for passenger cars, EU average*

Vehicle	Engine	EURO-Class	Urban (€ct/vkm)	Suburban (€ct/vkm)	Rural (€ct/vkm)	Motorway (€ct/vkm)	
Car diesel	<1.4l	Euro 2	3.6	1.5	0.8	0.8	
		Euro 3	2.5	1.2	0.8	0.9	
		Euro 4	1.7	0.9	0.6	0.6	
		Euro 5	0.9	0.6	0.4	0.4	
		Euro 6	0.7	0.3	0.2	0.2	
		Euro 0	9.9	3.1	0.9	0.9	
	1.4-2.0l	Euro 1	3.6	1.5	0.8	0.9	
		Euro 2	3.2	1.4	0.7	0.8	
		Euro 3	2.6	1.3	0.8	0.9	
		Euro 4	1.8	0.9	0.6	0.6	
		Euro 5	0.9	0.6	0.4	0.4	
		Euro 6	0.7	0.3	0.2	0.2	
	>2.0l	Euro 0	10.3	3.4	1.2	1.3	
		Euro 1	3.7	1.5	0.8	0.9	
		Euro 2	3.3	1.4	0.8	0.8	
		Euro 3	2.6	1.3	0.8	0.9	
		Euro 4	1.8	0.9	0.6	0.6	
		Euro 5	0.9	0.6	0.4	0.4	
	Car petrol	<1.4l	Euro 0	3.5	3.2	2.2	2.7
			Euro 1	1.0	0.7	0.3	0.4
			Euro 2	0.7	0.4	0.2	0.2
Euro 3			0.4	0.2	0.1	0.1	
Euro 4			0.4	0.2	0.1	0.1	
Euro 5			0.4	0.2	0.1	0.1	
1.4-2.0l		Euro 0	3.6	3.3	2.8	3.4	
		Euro 1	1.1	0.8	0.3	0.4	
		Euro 2	0.7	0.4	0.2	0.2	
		Euro 3	0.4	0.2	0.1	0.1	
		Euro 4	0.4	0.2	0.1	0.1	
		Euro 5	0.4	0.1	0.1	0.1	
>2.0l		Euro 0	3.8	3.5	2.8	3.5	
		Euro 1	1.0	0.7	0.3	0.4	
		Euro 2	0.6	0.4	0.2	0.2	
		Euro 3	0.4	0.2	0.1	0.1	
		Euro 4	0.4	0.2	0.1	0.1	
		Euro 5	0.4	0.1	0.1	0.1	
		Euro 6	0.4	0.1	0.1	0.1	

Source: Own calculations based on emission factors from the TREMOVE v.3.3.2 model. Emission factors for Euro 6 vehicles are calculated based on the EMEP/EEA Guidebook (2012). Damage cost factors from Table 15.

Note: Urban areas - population density of 1500 inhabitants/km²; suburban areas - population density of 300 inhabitants/km²; rural areas and motorways - population density below 150 inhabitants/km² (see Annex C3 for further details).

Table 28: Illustrative marginal noise costs for the EU*, € per 1000 vkm

Mode	Time of day	Traffic type	Urban	Suburban	Rural
Car	Day	Dense	8.8	0.5	0.1
		Thin	21.4	1.4	0.2
	Night	Dense	16.1	0.9	0.1
		Thin	38.9	2.5	0.4
Motorcycle	Day	Dense	17.7	1.1	0.1
		Thin	42.7	2.7	0.4
	Night	Dense	32.1	1.9	0.2
		Thin	77.9	5.1	0.6
Bus	Day	Dense	44.0	2.4	0.4
		Thin	107.0	6.8	0.8
	Night	Dense	80.3	4.5	0.7
		Thin	194.7	12.7	1.5
LCV	Day	Dense	44.0	2.4	0.4
		Thin	107.0	6.8	0.8
	Night	Dense	80.3	4.5	0.7
		Thin	194.7	12.7	1.5
HGV	Day	Dense	81.0	4.5	0.7
		Thin	196.6	12.7	1.5
	Night	Dense	147.8	8.3	1.3
		Thin	358.2	23.1	2.6
Passenger train	Day	Dense	273.4	12.1	15.0
		Thin	540.2	23.8	29.7
	Night	Dense	901.6	39.8	49.6
		Thin			
Freight train	Day	Dense	484.8	23.9	29.9
		Thin	1,169.6	46.3	57.8
	Night	Dense	1,977.6	78.3	97.7
		Thin			

Source: Values from CE Delft et al. (2011), updated to price level of 2010.

Note: Area and traffic density types are defined by specific assumptions on traffic volume, share of freight transport, distance to road or track, population density, etc. Urban areas: population density of 3000 inhabitants per km of road length; suburban areas: population density of 700 inhabitants per km of road length; rural areas: population density of 500 inhabitants per km of road length. See Annex D2 and D3 for further details.

* Country-specific values are provided in Excel tables as Annexes to this report.

Table D-2: Parameters for the bottom-up estimation of road noise costs

Type of area	Time of day	Traffic density	Traffic volume	Share of HGV	Average speed	Distance to road	Settlement density	Density of inhabitants
	Unit		veh/h	%	km/h	metres	%	inhab./km road
Rural	Day	Thin	2400	15%	120	100	10%	500
		Dense	6900	15%	120	100	10%	500
	Night	Thin	2400	15%	120	100	10%	500
		Dense	6900	15%	120	100	10%	500
Suburban	Day	Thin	1200	10%	80	20	50%	700
		Dense	4800	10%	80	20	50%	700
	Night	Thin	1200	10%	80	20	50%	700
		Dense	4800	10%	80	20	50%	700
Urban	Day	Thin	800	5%	40	10	100%	3000
		Dense	2650	5%	40	10	100%	3000
	Night	Thin	800	5%	40	10	100%	3000
		Dense	2650	5%	40	10	100%	3000

Table 6-2: Overview of WTT, TTW and WTW GHG emissions. Source: JEC (2014b) Appendix 1

Alternative fuel	WTT g CO ₂ /km	TTW g CO ₂ /km	WTW g CO ₂ /km
Conventional gasoline	29	156	185
Conventional diesel	25	120	145
BEV EU28 Mix	78	0	78
PHEV EU28 Mix (Gasoline/Diesel)	38	75 / 68	111 / 105
FCEV Thermal gasification path EU28 Mix	62	0	62
FCEV Electrolysis path, EU28 electricity mix	125	0	125
Bio-diesel/B7	-101 to -22 / 14-19	125 / 181-184	44-103/137-140
E10 / E20/E85	17 - 28 / 6-28 / -82 to 29	150 / 148 / 143	168-178/154-176/61-171
CNG (EU mix)	30	132	163
Biomethane	- 290 to -33	132	-158 to 99
HVO	-111 to -22	116	5-94
GTL	22 - 38	116	138-154
CTL	65 - 211	116	181 - 328
Wood	104 to -111	116	12
DME (natural gas/Coal /BTL)	38 / 218 / -104	117 / 117 / 117	137-154 / 334 / 12
LPG	17	142	160