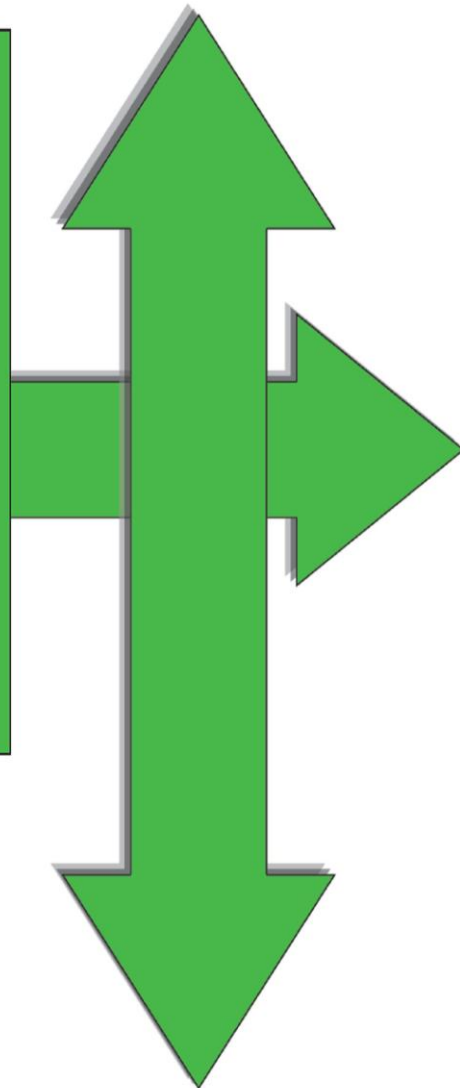


R.E.Po.T.

Rivista di
Economia e
Politica dei
Trasporti



Anno 2014, Numero 1

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



ISSN 2282-6599



Scenari simulativi del costo privato e sociale dell'automobile. Una stima per 7 modelli con diverse tecnologie propulsive in vendita in Italia

Andrea Rusich^{1*}, Romeo Danielis²

¹ Dipartimento di Ingegneria e Architettura, Università di Trieste, Italia

² Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali, Matematiche e Statistiche, Università di Trieste, Italia

Riassunto

Questo articolo stima i costi privati derivanti dal possesso dell'automobile ed i costi sociali inerenti l'intero ciclo di vita del carburante per sette modelli di automobile (la benzina VW Polo, la diesel Ford Fiesta, la Fiat Punto Evo Natural Power bi-fuel metano-benzina, l'Alfa Romeo MiTo bi-fuel Gpl-benzina, l'ibrida Toyota Yaris, l'elettrica con leasing della batteria Renault Zoe e l'elettrica con proprietà della batteria Peugeot iOn) attualmente in vendita in Italia, utilizzando per l'analisi dati nazionali relativi all'acquisto dei veicoli, ai prezzi dei carburanti e dell'energia elettrica, ai costi di manutenzione, ai costi dell'inquinamento atmosferico e del rumore, al mix energetico. Tra i modelli di automobile considerati, la Ford Fiesta (diesel) è la migliore dal punto di vista del costo totale privato e del consumo di energia relativo al ciclo di vita del carburante, ma la peggiore in termini di costi sociali (inquinamento atmosferico globale, locale e rumore), i quali sono pari a circa il 2,7% del totale dei costi privati. La Toyota Yaris (ibrida) è un'altra scelta molto buona in termini di costi privati (la seconda migliore) ed efficace anche in termini di costi sociali (*second best*). Tra i modelli bi-fuel, la Fiat Punto (metano-benzina) offre le migliori prestazioni sia in termini di costi privati che sociali. La VW Polo (benzina) ha costi privati più elevati della Ford Fiesta (diesel) e anche della Toyota Yaris (ibrido), risultando invece leggermente migliore rispetto alla Ford Fiesta (diesel) in termini di costi sociali. Contrariamente alle aspettative comuni, i modelli di automobili elettriche sono meno performanti, rispetto alle altre vetture considerate, in termini di consumi energetici e costi connessi all'inquinamento locale mentre risultano solo leggermente migliori rispetto alle automobili convenzionali in termini di costi connessi all'inquinamento globale (CO₂). Solamente quando si tengono in considerazione anche i costi dell'inquinamento acustico, le auto elettriche diventano le migliori scelte in termini di costi sociali. Infine, si propone un'analisi di scenario per valutare come la classifica delle vetture sia influenzata da alcuni parametri: anni di possesso del veicolo, chilometri annui percorsi, incentivi resi disponibili dal Governo italiano per le automobili meno inquinanti, aumento del prezzo dei carburanti convenzionali (benzina e gasolio), una diminuzione del costo di produzione delle batterie.

Parole chiave: Automobili, alimentazione, costo sociale, auto elettriche, trasporto passeggeri.

* Autore a cui spedire la corrispondenza: Romeo Danielis (danielis@units.it)

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato svolto nell'ambito del progetto: "Un Electric Car Club per il Friuli Venezia Giulia" (<http://www.ecc.units.it/>), finanziato dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia nell'ambito dell'articolo 16 della Legge Regionale n.14 dell'11 agosto 2010 "Concessione di contributi a sostegno della ricerca, dello sviluppo, dell'innovazione e del trasferimento tecnologico per lo sviluppo di sistemi per la mobilità individuale finalizzati alla riduzione di consumi e di emissioni". Si ringrazia l'Ente finanziatore, i partners progettuali ed i numerosi colleghi che hanno commentato i risultati di questo studio.

Acronimi usati

CH ₄ : Metano	SO _x : Ossido di Zolfo
CO ₂ : Anidride Carbonica	SO ₂ : Biossido di Zolfo
NO _x : Ossido di Azoto	TtW: Tank-to-Wheels
PM _{2.5} : Particolato (diametro inferiore a 2.5 micron)	WtT: Well-to-Tank
PM ₁₀ : Particolato (diametro inferior a 10 micron)	WtW: Well-to-Wheels

1. Introduzione

Il movimento delle persone e delle merci è ritenuto fondamentale per lo sviluppo economico e sociale, anche se consuma notevoli quantità di energia e genera vari impatti ambientali, come l'inquinamento atmosferico globale e locale. Al fine di raggiungere un migliore equilibrio tra i pro ed i contro del trasporto, i governi hanno emanato normative e hanno concesso incentivi per sviluppare nuovi veicoli e favorire l'uso di carburanti più puliti. L'industria automobilistica ha reagito sviluppando veicoli con diverse tipologie di alimentazione (metano, il gas di petrolio liquefatto; l'ibrido; elettrica, elettrica ad autonomia estesa, idrogeno, celle a combustibile, ecc.), oggi disponibili sul mercato. Dinanzi a questo incremento dell'offerta, il consumatore decide quale veicolo acquistare e utilizzare sulla base delle sue preferenze circa alcuni attributi, tra cui i costi di acquisto e di funzionamento, l'efficienza energetica e ambientale.

Sia i governi sia i consumatori prendono le loro decisioni sulla base della conoscenza scientifica esistente e prevalente. Tuttavia, gli scienziati che cercano di stimare i costi di esercizio dei diversi veicoli e di valutare la loro efficienza energetica e ambientale si trovano ad affrontare un compito difficile in quanto sussistono molte incertezze derivanti dalla mancanza di dati, da fonti incerte, da conoscenze insufficienti, da elevata variabilità nelle misurazioni, da errori, ecc. Un'attenta analisi della letteratura scientifica sull'efficienza energetica ed ambientale, nonché sui costi privati delle diverse tipologie di alimentazione non porta, attualmente, a dati unici ed applicabili a qualsiasi Paese. Ciò nonostante, alcune convergenze sussistono, in particolare sui seguenti aspetti concernenti i nuovi sistemi propulsivi:

- I veicoli diesel di ultima generazione sono più efficienti, sia dal punto di vista energetico che ambientale, dei veicoli a benzina.
- Le automobili alimentate a gas naturale sono abbastanza efficienti anche se, in molti paesi la disponibilità di gas naturale e la sua distribuzione sono

insufficienti. Perplexità in merito all'autonomia percorribile e alle prestazioni sussistono, ma non emergono esplicitamente dall'analisi della letteratura svolta.

- I veicoli ibridi sono efficienti e costano poco più dei veicoli a combustione interna convenzionali. La loro quota di mercato è in costante crescita (nel 2011 rappresentavano il 3% del totale dei veicoli venduti negli Stati Uniti).
- I veicoli ibridi plug-in (ad autonomia estesa) non risultano essere molto efficienti e sono molto costosi.
- I veicoli a celle a combustibile sono altresì efficienti qualora si utilizzino alcuni combustibili (col metano bene; non col bio-etanolo). Si tratta di una tecnologia propulsiva tuttora in fase di test.
- I veicoli elettrici hanno un'efficienza energetica fortemente dipendente dal mix utilizzato per la produzione di energia elettrica, dunque variabile da Paese a Paese. La performance è anche correlata ai chilometri percorribili: più chilometri posso fare con un veicolo elettrico, meno esso risulta complessivamente efficiente. Tuttavia, allo stato attuale le batterie consentono solamente la percorrenza di brevi distanze, generando il problema della cosiddetta "ansia da autonomia". I veicoli elettrici hanno emissioni zero in fase d'uso, ma possono avere maggiori emissioni nelle fasi di produzione e distribuzione del carburante (anche l'inquinamento atmosferico complessivo dipende dal mix energetico impiegato per la produzione di energia elettrica). Per quanto concerne i costi privati, l'elevato costo delle batterie fa lievitare il prezzo d'acquisto ed i minori costi di gestione consentono il raggiungimento di una convenienza economica solamente dopo 10 anni, considerando una percorrenza media annua di 15.000 km. È generalmente previsto che i costi delle batterie scendano drasticamente negli anni a venire.

2. Metodologia

Questa sezione illustra brevemente la metodologia utilizzata per la stima dei costi privati, dei costi sociali e dei consumi energetici dei 7 modelli di automobile con differenti tipologie di alimentazione in vendita in Italia considerati nello studio¹.

La prima stima riguarda i *costi privati* delle automobili considerate, ossia i costi che il proprietario sostiene per acquistare la vettura, tenerla per un certo numero di anni e per fare un determinato numero di chilometri all'anno, dato l'attuale prezzo dei carburanti. Questi costi possono essere suddivisi in due categorie: il *costo d'acquisto* della vettura (prezzo di listino – eventuale incentivo/sussidio) ed i *costi di gestione* della vettura, ossia tutti quei costi il cui ammontare risulta variabile a seconda del numero di anni di utilizzo dell'automobile e delle percorrenze realizzate annualmente. In quest'ultima categoria rientrano i seguenti costi: costo annuo del carburante, costo medio annuo dell'assicurazione, bollo annuale, costo medio annuo delle manutenzioni e riparazioni ordinarie e straordinarie, costo medio annuo del parcheggio, canone annuo del noleggio della batteria (per i modelli di automobili elettriche con batteria in leasing). Poiché questi costi si manifestano nel corso degli anni di utilizzo della vettura, è necessario

¹ La metodologia adottata è spiegata integralmente in Rusich, A., Danielis, R., (2013), "The private and social costs of a car. An estimate for seven cars with different vehicle technologies on sale in Italy", Department of Economics, Business, Mathematics and Statistics, University of Trieste, Italy. <http://www.sietitalia.org/wpsiet/WP%20SIET%20-%20Rusich-Danielis.pdf>

calcolarne l'ammontare e rappresentarne il valore attualizzato (V.A.) al momento dell'acquisto². Pertanto, la formula utilizzata per la stima dell'ammontare dei costi privati è la seguente:

$$\text{Costo privato totale} = \text{Costo d'acquisto dell'automobile} + \text{V.A.}(\text{costi annui di gestione})$$

La seconda stima riguarda il *consumo energetico*, considerando l'intera filiera del carburante, delle vetture oggetto di studio. Nella letteratura scientifica lo strumento generalmente applicato per confrontare diverse tecnologie propulsive o carburanti è l'indicatore *Well-to-Wheels* (WtW, dal pozzo alla ruota): partendo dalla fonte primaria di energia, si considerano i processi per le sue eventuali trasformazioni, il costo in termini energetici per il suo trasporto, ed infine la quantità di energia usata per muovere un'automobile per una determinata distanza. L'indice WtW può essere suddiviso in due sottoindici: il *Well-to-Tank* (WtT, dal pozzo al serbatoio) ed il *Tank-to-Wheel* (TtW, dal serbatoio alla ruota). La distinzione è funzionale alla differenziazione dei costi energetici strettamente legati alla fonte primaria³ (estrazione, lavorazione, trasformazione, trasporto) da quelli legati alla tecnologia propulsiva⁴ (motore endotermico, puramente elettrico, ibrido, ad idrogeno). Pertanto, la formula utilizzata per la stima dei consumi energetici dei modelli considerati è la seguente:

$$\text{Consumo energetico (MJ)} = \text{Consumo energetico WtW (MJ/km)} * \text{Km annui percorsi} * \text{Anni di utilizzo dell'automobile}$$

Le stime prodotte fanno inizialmente riferimento al contesto Europeo, sulla base degli studi di Agliardi e Santarelli (2010) e Concawe et al. (2007a,b,c) e sono successivamente adattate, tramite proprie elaborazioni, al contesto Italiano.

² L'attualizzazione dei costi di gestione si ottiene applicando la seguente formula:

$\sum_t \text{costi annui di gestione}_t \frac{1}{(1+r)^t}$, dove t rappresenta il numero di anni considerati ed r rappresenta il tasso di sconto sociale.

³ Indicatore Well-to-Tank.

⁴ Indicatore Tank-to-Wheels.

Tabella 1 Consumo energetico delle differenti tipologie di alimentazione oggetto di studio

Alimentazione	WtT (MJ _x /km) ⁵	TtW (MJ _f /km) ⁶	WtW (MJ/km) ⁷
Benzina	0.265	1.890	2.155
Diesel	0.283	1.770	2.053
Bi-fuel (metano-benzina)	0.357	1.880	2.237
Bi-fuel (GPL-benzina)	0.228	1.900	2.128
Ibrido (benzina)	0.228	1.630	1.858
Ibrido (diesel)	0.234	1.460	1.694
Elettrica	1.687	1.110	2.797

L'ultima stima riguarda i *costi sociali* derivanti dall'utilizzo dell'automobile, ovvero i costi esterni relativi all'inquinamento atmosferico, sia globale (emissioni di CO₂, NO₂, CH₄) sia locale (emissioni di NO_x, SO_x, PM), nonché i costi esterni connessi all'inquinamento acustico. La stima di questa tipologia di costi appare complessa a causa di incertezze inerenti la metodologia connessa all'identificazione degli impatti di ogni singolo inquinante ed anche difficoltà nell'attribuzione di un valore monetario a questi effetti. Seguendo Michalek et al., (2011) la stima dell'inquinamento atmosferico prende in considerazione l'intera filiera del carburante, tramite lo strumento dell'indicatore Well-to-Wheels, incorporato nelle sue parti Well-to-Tank e Tank-to-Wheels. Contrariamente a quanto avviene per l'inquinamento atmosferico, l'inquinamento acustico è stimato considerando esclusivamente la tecnologia propulsiva delle vetture (Tank-to-Wheels) e della sua rumorosità in fase di marcia. Conseguo che i costi sociali sono stimati utilizzando la formula seguente:

$$\text{Costo Sociale Totale} = \text{Costo dell'Inquinamento Globale WtW} + \text{Costo dell'Inquinamento Locale WtW} + \text{Costo dell'Inquinamento Acustico TtW}$$

Analogamente a quanto fatto per i consumi energetici, per la stima *dei costi sociali dell'inquinamento atmosferico* si è inizialmente fatto riferimento allo studio di Torchio e Santarelli (2010), nel quale si determinano i quantitativi emessi dalle automobili con diverse alimentazioni, per diversi agenti inquinanti, considerando il contesto Europeo. In seguito, si è passati all'adattamento dei valori relativi alle automobili elettriche al contesto Italiano, considerando il mix energetico nazionale al 2010⁸.

⁵ WtT (MJ_x/km) indica l'ammontare di energia primaria necessario a far percorrere all'automobile un chilometro.

⁶ TtW (MJ_f/km) indica il consumo di carburante necessario a far percorrere all'automobile un chilometro.

⁷ WtW (MJ/km) indica l'energia complessivamente necessaria a far percorrere all'automobile un chilometro.

⁸ Il mix energetico Italiano al 2010 era così costituito: 10,8% carbone; 7% petrolio; 44,9% gas naturale; 16,3% idroelettrico; 2,7% eolico; 2,7% biomasse; altre rinnovabili 2,1%; importazioni 13,5%.

Tabella 2: Inquinamento atmosferico complessivo associato alle diverse tipologie di alimentazione oggetto di studio

<i>Alimentazione</i>	<i>WtW_{NOx}</i> (g/km)	<i>WtW_{PM}</i> (g/km)	<i>WtW_{SOx}</i> (g/km)	<i>WtW_{GHG}</i> (g/km)
Benzina	0,139	0,009	0,128	163,225
Diesel	0,244	0,007	0,105	156,234
Bi-fuel (metano-benzina)	0,081	0,007	0,033	134,220
Bi-fuel (GPL-benzina)	0,081	0,007	0,033	134,500
Ibrido (benzina)	0,120	0,007	0,110	140,475
Ibrido (diesel)	0,113	0,007	0,099	138,350
Elettrica	0,277	0,008	0,358	135,8

Il quantitativo di inquinante emesso da ciascuna tipologia di alimentazione è espresso in termini chilometrici, dunque deve essere moltiplicato per i chilometri annui percorsi, per il numero di anni di utilizzo della vettura ed, infine, per il costo esterno di ciascun inquinante⁹.

Tabella 3: Costo esterno per agente inquinante

<i>Agente Inquinante</i>	<i>Costo Esterno (€/g)</i>
NOx	0,00739*
SOx	0,00791*
PM emesso in area metropolitana	0,28896*
PM emesso in area urbana	0,09339*
PM emesso in area rurale	0,05257*
Gas Serra	0.000025**

Fonte: *Maibach et al. (2008, Tabella 13, p. 54) valori aggiustati al tasso d'inflazione 1,296 per il periodo 2000-2012. Maibach et al. (2008, tabella 27, p. 80)

Per quanto concerne il costo sociale *dell'inquinamento acustico*, esso è stato calcolato considerando il diverso impatto che la sua emissione produce in contesti urbani ed extraurbani (il costo esterno del rumore è più elevato se l'emissione avviene in un centro urbano, mentre è minore qualora il luogo di emissione fosse un'area extraurbana). Poiché le automobili elettriche non emettono rumore in fase di marcia, si è supposta una riduzione dell'inquinamento acustico del 90% (una parte del rumore è comunque connessa al rotolamento dei pneumatici e all'attrito aerodinamico). Analogamente si è supposta una riduzione del 20% per le automobili ibride (full-hybrid), in grado di effettuare brevi percorrenze in modalità puramente elettrica.

Anche i costi sociali, manifestandosi lungo un arco temporale di diversi anni, sono stati attualizzati al momento di acquisto del veicolo utilizzando la formula sopraindicata.

Il modello sviluppato consente la produzione di stime riferite ad uno scenario base, del quale vengono successivamente modificati alcuni parametri, al fine di comprendere l'impatto che ciascuno di questi ha sulla determinazione dei costi privati, sociali e dei consumi energetici dei diversi modelli considerati nello studio.

⁹ Nella stima monetaria dei costi esterni sono considerati "i danni alla salute umana, i danni agli edifici e ai materiali, perdite di raccolto ed altri impatti sull'ecosistema (biosfera, suolo, acqua)".

3. Risultati

Il confronto avviene tra 7 modelli di automobile, di cui 6 appartenenti al segmento di mercato “B” (auto piccole): la benzina VW Polo, la diesel Ford Fiesta, la Fiat Punto Evo Natural Power bi-fuel metano-benzina, l’Alfa Romeo MiTo bi-fuel Gpl-benzina, l’ibrida Toyota Yaris, l’elettrica con leasing della batteria Renault Zoe; mentre l’elettrica Peugeot iOn con proprietà della batteria appartiene al segmento di mercato “A” (mini auto). Per la realizzazione dello scenario base alcune assunzioni sono state fatte: l’automobile è tenuta 5 anni, viaggia 10 mila km all'anno e l'80% degli spostamenti avviene sulle strade urbane.

Costi privati

Tabella 4: Costi privati (in €) per i modelli oggetto di studio

	<i>VW Polo (benzina)</i>	<i>Ford Fiesta (diesel)</i>	<i>Fiat Punto (bi-fuel metano- benzina)</i>	<i>Alfa R. MiTo (bi-fuel GPL- benzina)</i>	<i>Toyota Yaris (ibrido)</i>	<i>Peugeot iOn (elettrico)</i>	<i>Renault Zoe (elettrico)</i>
Costo d’acquisto	15.060	14.750	17.250	20.600	17.800	28.318	21.650
Costo annuo del carburante	1.353	838	1.073	1.167	627	194	191
Costo di gestione chilometrico	0.27	0.22	0.24	0.26	0.20	0.13	0.22
Costo di gestione annuo	2.715	2.172	2.420	2.595	2.017	1.261	2.206
V.A.(Costo totale privato)	27.402	24.624	28.252	32.398	26.971	34.051	31.677

La Tabella 4 mostra che, con le ipotesi sopracitate, dal punto di vista dei costi privati la Ford Fiesta (diesel) è l'auto più economica, seguita dalla Toyota Yaris (ibrido), dalla VW Polo (benzina), e dalla Fiat Punto (bi-fuel metano-benzina). L'Alfa Romeo MiTo (bi-fuel GPL-benzina) e le due auto elettriche sono più costose, con la Peugeot iOn (elettrica), che si dimostra la più costosa. Questi risultati riflettono principalmente le grosse differenze nel prezzo di listino dei modelli considerati, in particolare delle vetture elettriche. Infatti, pur avendo il costo di gestione chilometrico più basso, la Peugeot iOn non consente un recupero del gap di prezzo nel lasso temporale considerato (5 anni).

Consumi energetici

Tabella 5: Consumi energetici (in kWh) connessi all'intera filiera del carburante per i diversi modelli oggetto di studio

	<i>VW Polo (benzina)</i>	<i>Ford Fiesta (diesel)</i>	<i>Fiat Punto (bi-fuel metano-benzina)</i>	<i>Alfa R. MiTo (bi-fuel GPL-benzina)</i>	<i>Toyota Yaris (ibrido)</i>	<i>Peugeot iOn (elettrico)</i>	<i>Renault Zoe (elettrico)</i>
Well-to-Tank	3.675	3.934	4.961	3.165	3.170	16.650	16.650
Tank-to-Wheels	26.250	24.585	26.110	26.390	22.640	15.415	15.415
Well-to-Wheels	29.925	28.519	31.071	29.555	25.810	32.065	32.065

Per quanto riguarda il consumo di energia, l'auto più efficiente è di gran lunga la Toyota Yaris (ibrido). Le automobili elettriche, dato il mix energetico italiano al 2010, presentano l'efficienza energetica complessiva (a livello di filiera del carburante) più bassa: questo è spiegabile col fatto che gli ottimi livelli di consumo di energia legati alla tecnologia propulsiva (fase TtW) sono più che compensati da un'inefficienza superiore a quella degli altri carburanti nella fase WtT.

Costi sociali

I costi sociali inerenti l'inquinamento atmosferico globale e locale, nonché l'inquinamento acustico sono stati dapprima stimati separatamente e poi aggregati.

Tabella 6: Costi dell'inquinamento globale (in €) per i diversi modelli oggetto di studio

	<i>VW Polo (benzina)</i>	<i>Ford Fiesta (diesel)</i>	<i>Fiat Punto (bi-fuel metano-benzina)</i>	<i>Alfa R. MiTo (bi-fuel GPL-benzina)</i>	<i>Toyota Yaris (ibrido)</i>	<i>Peugeot iOn (elettrico)</i>	<i>Renault Zoe (elettrico)</i>
Well-to-Tank	27	29	30	30	23	171	171
Tank-to-Wheels	159	149	123	123	136	0	0
Well-to-Wheels	186	178	153	153	160	171	171

Per quanto riguarda l'inquinamento globale, il costo imposto dalle auto in 5 anni, compiendo 10 mila chilometri all'anno, varia tra i 153-186 €: una differenza di costo abbastanza limitata. La Fiat Punto (bi-fuel metano-benzina) e l'Alfa R. MiTo (bi-fuel GPL-benzina) causano il costo più basso, seguite dalla Toyota Yaris (ibrido). Le due auto elettriche generano costi elevati: la tecnologia di produzione di energia e il mix energetico sono i fattori decisivi e generano una forte produzione di gas serra nella fase WtT, la quale è superiore ai guadagni derivanti dall'assenza di emissioni in fase di marcia (fase TtW). Dunque, contrariamente a quanto si potrebbe pensare, le auto elettriche in Italia, con il mix energetico attuale, non sembrerebbero la scelta migliore da un punto di vista dell'inquinamento globale. Concludendo, la VW Polo (benzina) genera il costo più alto.

Tabella 7: Costo dell'inquinamento locale (in €) per i diversi modelli oggetto di studio

	VW Polo (benzina)	Ford Fiesta (diesel)	Fiat Punto (bi-fuel metano- benzina)	Alfa R. MiTo (bi-fuel GPL- benzina)	Toyota Yaris (ibrido)	Peugeot iOn (elettrico)	Renault Zoe (elettrico)
<i>Well-to-Tank</i>							
NO _x	27	21	7	7	23	103	103
PM (rurale)	9	4	4	4	8	21	21
PM (urbano)	9	4	4	4	8	21	21
SO _x	46	38	11	11	39	143	143
<i>Tank-to-Wheels</i>							
NO _x	20	60	20	20	17	0	0
PM (metropolitano)	66	66	66	66	53	0	0
PM (urbano)	12	12	12	12	10	0	0
PM (rurale)	16	16	16	16	12	0	0
SO _x	0	0	0	0	0	0	0
<i>Well-to-Wheels per ogni inquinante considerato</i>							
NO _x	47	82	27	27	40	103	103
PM rur/met	75	70	20	70	60	21	21
PM rur/urb	21	16	12	16	17	21	21
PM rur/rur	25	20	0	20	20	21	21
PM urb/met	75	70	23	70	60	21	21
PM urb/urb	21	16	136	16	17	21	21
PM urb/rur	25	20	160	20	20	21	21
SO _x	46	38	12	12	40	143	143
<i>WTW per contesto di emissione</i>							
rur/met	167	190	59	109	140	267	267
rur/urb	114	136	51	55	97	267	267
rur/rur	117	140	39	59	100	267	267
urb/met	167	190	62	109	140	267	267
urb/urb	114	136	175	55	97	267	267
urb/rur	117	140	199	59	100	267	267

I costi relativi all'inquinamento locale sono riportati nella Tabella 7. Essa è piuttosto complessa in quanto riporta i risultati di tre inquinanti locali (NO_x, SO_x, PM) e differenzia il costo esterno del PM in base al luogo di emissione (rurale, urbano, metropolitano).

Nella fase WtT, i costi di gran lunga più alti sono quelli associati all'NO_x ed SO_x emessi per produrre elettricità. Il costo del PM dipende dal luogo in cui avviene la trasformazione dell'energia primaria in carburante, attività che normalmente avviene in zone rurali o urbane¹⁰. Alcune precisazioni: 1) la valutazione dei costi esterni dell'NO_x e dell'SO_x soffrono di molta incertezza, poiché si basano su un numero limitato di studi scientifici, tra i quali il più autorevole è ExternE di Bickel e Friedrich, 2005); 2) questo risultato si basa sul mix energetico italiano 2010.

¹⁰ Si ipotizza che la produzione di combustibile non avvenga in aree metropolitane.

Nella fase di TtW le automobili elettriche risultano imbattibili grazie all'assenza di emissioni in fase di marcia. Il costo del PM dipende dall'area in cui è utilizzata l'automobile (zona rurale, urbana, metropolitana). Diversamente, il costo dell'NOx e dell'SOx risulta indifferenziato, dato che non sussistono stime specifiche per area di emissione in letteratura.

La penultima parte della tabella riassume le stime sinora presentate, aggregandole per ciascun inquinante. Grazie alla differenziazione delle aree di emissione per il PM, più combinazioni sono possibili: esse dipendono dall'area di emissione in fase WtT ed in fase TtW. L'ultima parte della Tabella 7 somma il costo sociale degli inquinanti emessi dalle diverse tipologie di alimentazione proposte. È da notare che le automobili elettriche, contrariamente alle aspettative comuni, nel contesto italiano presentano dei costi sociali connessi all'inquinamento locale superiori rispetto alle altre tecnologie propulsive. Un risultato che è largamente dipendente dai costi elevati, in termini di NOx e SOx, generati nella fase di produzione dell'energia elettrica con l'attuale mix energetico nazionale. Contrariamente, le vetture bi-fuel e ibride sono caratterizzate da bassi costi sociali connessi all'inquinamento locale.

Tabella 8: Costo dell'inquinamento acustico (in €) associato ai diversi modelli oggetto di studio

	<i>VW Polo (benzina)</i>	<i>Ford Fiesta (diesel)</i>	<i>Fiat Punto (bi-fuel metano-benzina)</i>	<i>Alfa R. MiTo (bi-fuel GPL-benzina)</i>	<i>Toyota Yaris (ibrido)</i>	<i>Peugeot iOn (elettrico)</i>	<i>Renault Zoe (elettrico)</i>
Costo Inquinamento Acustico	306	306	306	306	245	31	31

Come già espresso in precedenza, le automobili elettriche hanno dei costi sociali connessi all'inquinamento acustico molto bassi, trattandosi di una tipologia di alimentazione estremamente silenziosa.

Tabella 9: Costo sociale totale per i diversi modelli oggetto di studio

<i>Totale</i>	<i>VW Polo (benzina)</i>	<i>Ford Fiesta (diesel)</i>	<i>Fiat Punto (bi-fuel metano-benzina)</i>	<i>Alfa R. MiTo (bi-fuel GPL-benzina)</i>	<i>Toyota Yaris (ibrido)</i>	<i>Peugeot iOn (elettrico)</i>	<i>Renault Zoe (elettrico)</i>
rur/met	659	673	517	567	545	469	469
rur/urb	605	619	509	514	502	469	469
rur/rur	609	623	497	517	505	469	469
urb/met	659	673	520	567	545	469	469
urb/urb	605	619	634	514	502	469	469
urb/rur	609	623	657	517	505	469	469

La Tabella 9 riassume tutti i costi sociali (inquinamento globale, inquinamento locale ed inquinamento acustico). L'ammontare totale varia tra i 673 e i 469 €: una quantità bassa rispetto all'ammontare dei costi privati (circa il 2,7%). Grazie all'ottima performance in termini di minori costi dell'inquinamento acustico, le automobili elettriche sono le meno costose dal punto di vista sociale. La differenza di costo con le auto convenzionali (benzina e diesel) varia tra i 136-154 €, cioè al massimo circa 30 € all'anno. La differenza di costo con le auto bi-fuel e ibride è molto più contenuta.

Anche qualora l'automobile fosse mantenuta per più di 5 anni, o facesse più chilometri all'anno, i risultati non cambiano in termini relativi poiché aumentano di un fattore costante pari alla variazione assunta per gli anni di utilizzo o per i chilometri percorsi. Assumendo di tenere la vettura per 10 anni, la differenza tra il costo sociale delle automobili elettriche ed il costo sociale delle automobili convenzionali sale a 300 €: un importo molto inferiore ai sussidi che il governo italiano è disposto a concedere per l'acquisto di veicoli a basse emissioni.

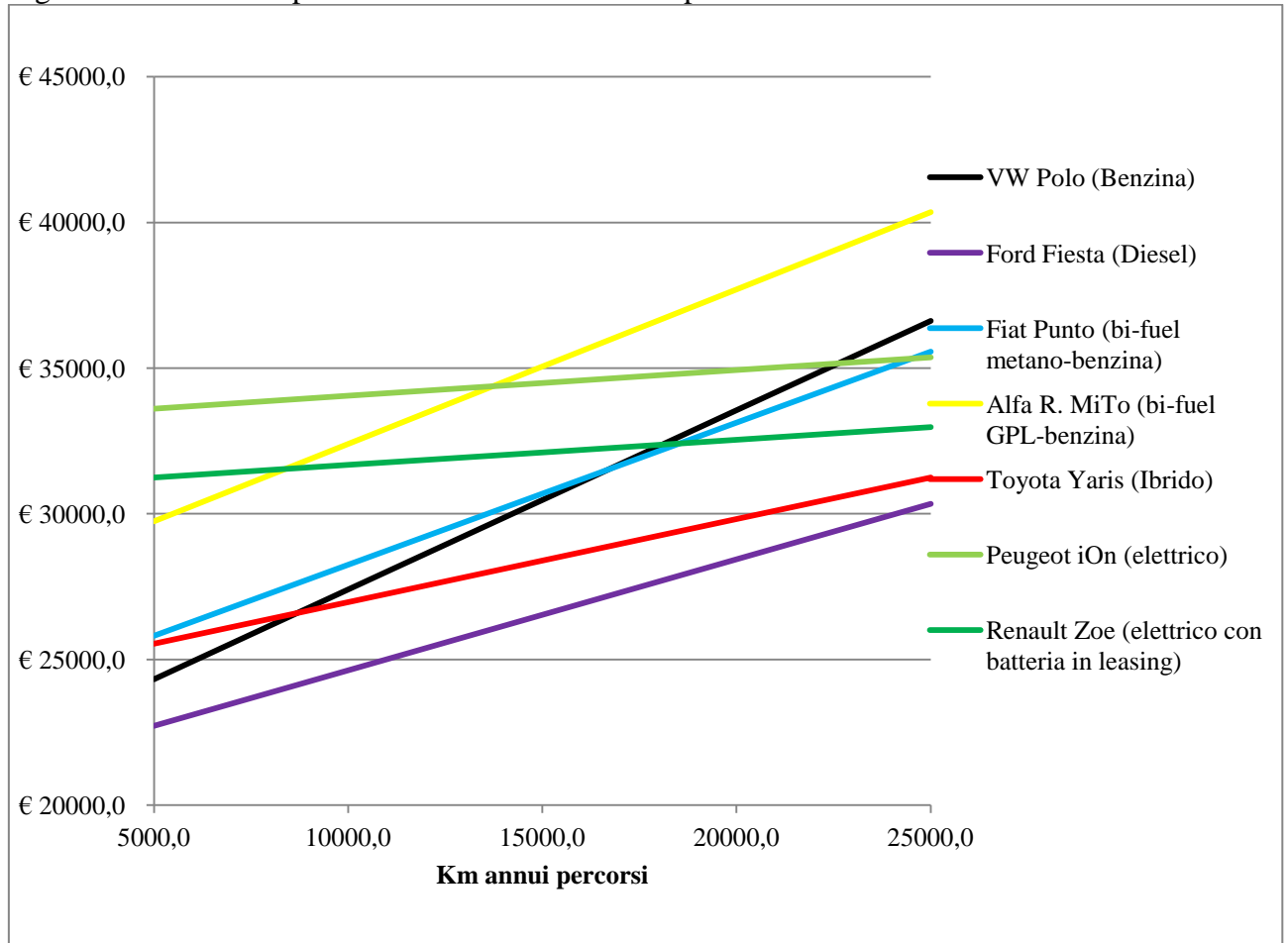
4. Simulazioni

In questa sezione sono presentate alcune simulazioni, generate variando alcuni parametri rispetto allo scenario base. In particolare, le variazioni riguardano: chilometri annui percorsi, anni di utilizzo, introduzione degli incentivi resi disponibili dal Governo Italiano per l'anno 2013 per l'acquisto di automobili meno inquinanti, costo dei carburanti convenzionali (benzina e gasolio), costo di produzione delle batterie per le automobili elettriche.

Simulazione 1: costo totale per 5 anni di utilizzo con diverse percorrenze annue

In questa simulazione il costo totale dei 7 modelli con alimentazione diversa è stimato facendo variare i chilometri annui percorsi da 5.000 a 25.000, tenendo fermi gli altri parametri. I risultati sono illustrati nella Figura 1.

Figura 1: Costo totale per 5 anni di utilizzo e diverse percorrenze annue

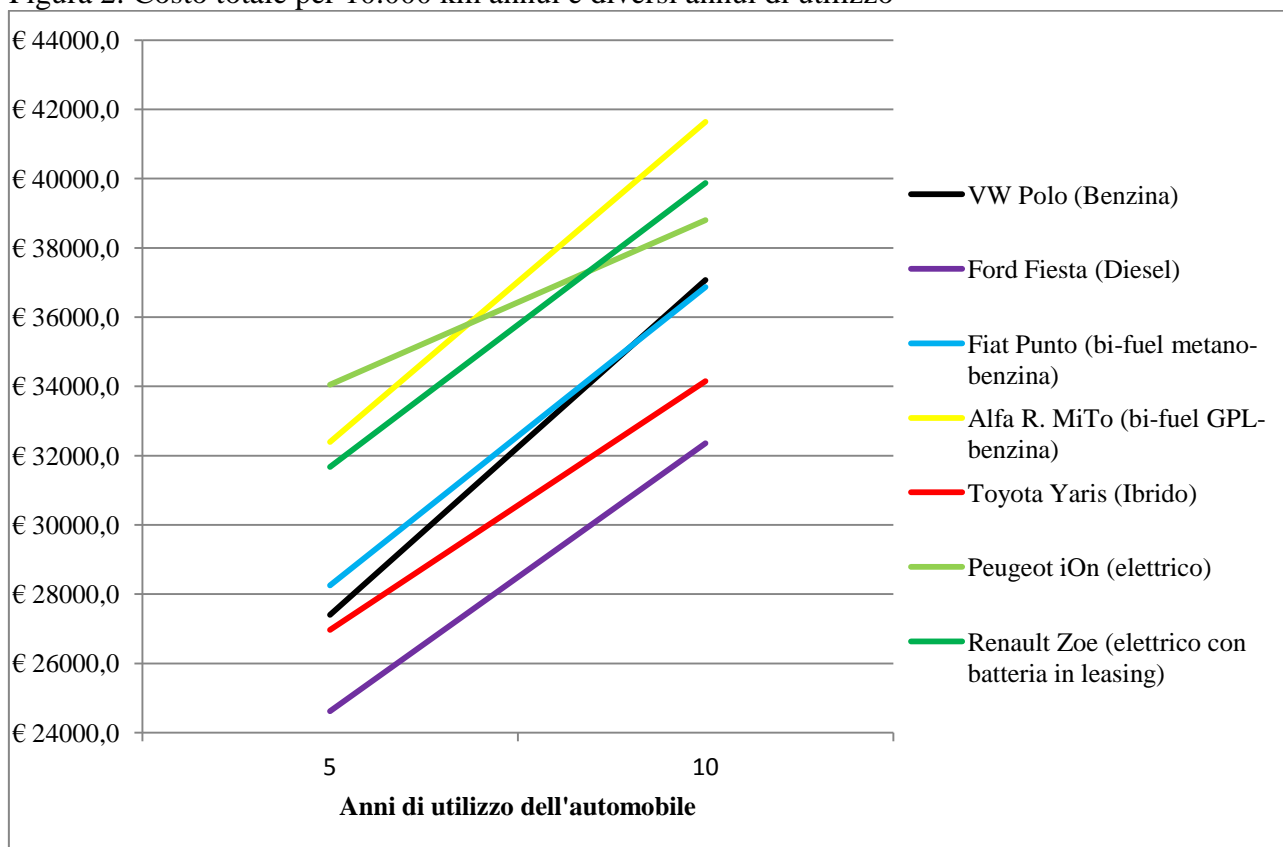


Dal momento che la proporzione tra costi fissi (costo d'acquisto) e variabili (costi di gestione) è molto diversa tra i modelli di automobile considerati, l'aumento della percorrenza annua consente un miglioramento della graduatoria delle vetture con bassi costi di esercizio annuali. La Ford Fiesta (diesel) è sempre la scelta più economica, ma, con l'aumentare dei chilometri percorsi all'anno, la Toyota Yaris (ibrido) e le automobili elettriche migliorano la loro classifica. Quando le percorrenze annue si attestano sui 25 mila chilometri, la Toyota Yaris è la Ford Fiesta sono davvero molto vicine, in testa alla classifica. Un maggior tasso di utilizzo consente alle elettriche di guadagnare delle posizioni, passando dall'ultimo piazzamento alla terza (Renault Zoe) e quarta posizione (Peugeot iOn). Tuttavia, se si considera che le automobili elettriche hanno un'autonomia piuttosto limitata, una percorrenza di 25 mila chilometri all'anno (70 al giorno) sembra più ragionevole per una vettura ibrida piuttosto che per un'elettrica.

Simulazione 2: costo totale per 10.000 chilometri annui e diversi anni di utilizzo

In questa simulazione, fissata la percorrenza annua a 10.000 chilometri, varia il periodo di utilizzo dell'automobile il quale passa da 5 a 10 anni. Un'ipotesi ragionevole dato che in Italia tale valore si attesta attualmente a circa 7,5 anni. Tutti gli altri parametri rimangono invariati.

Figura 2: Costo totale per 10.000 km annui e diversi anni di utilizzo



La nuova ipotesi permette un migliore ammortamento del costo dell'elettrica Peugeot iOn, il cui prezzo di listino risulta il più elevato a causa del considerevole costo della batteria. La sua classifica migliora dal 7° al 5° posto. Diversamente, l'elettrica Renault Zoe con batteria in leasing non beneficia molto dell'incremento temporale dell'utilizzo, essenzialmente poiché la struttura dei costi è diversa.

Simulazione 3: introduzione dei sussidi governativi per automobili meno inquinanti (10 anni di utilizzo)

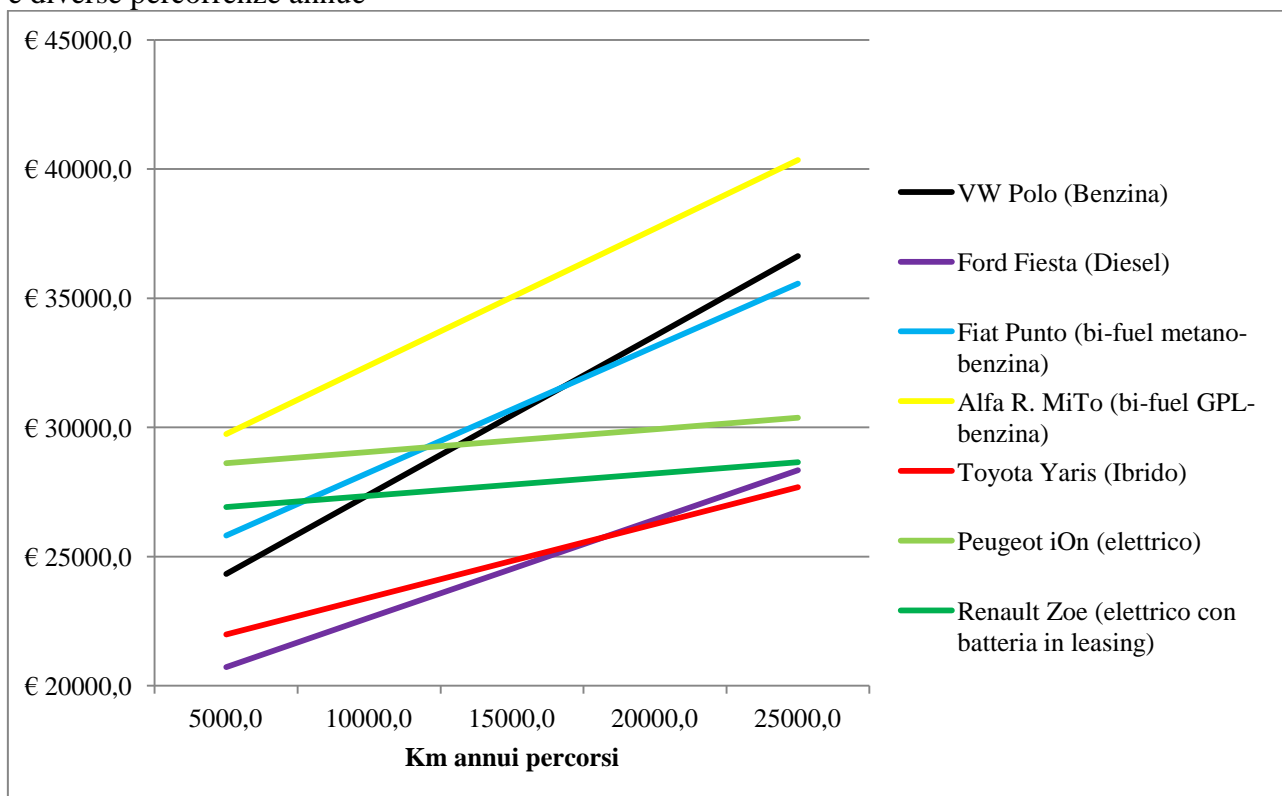
Con l'emanazione del Decreto Sviluppo 2012 il Parlamento italiano ha recentemente stanziato dei fondi per sovvenzionare l'acquisto di vetture a basso impatto ambientale, anche se l'importo complessivo dei fondi messi a disposizione per i sussidi è abbastanza limitato (€ 40.000.000 nel 2013). Il meccanismo di erogazione dell'incentivo prevede che le vetture acquistate abbiano delle emissioni di CO₂ al di sotto di una determinata soglia ed inoltre c'è la possibilità di ricevere ulteriori finanziamenti qualora la soglia di emissione fosse ancora più bassa. Stante queste disposizioni, i 7 modelli di autovetture considerati nello studio potrebbero ricevere i seguenti sussidi per l'acquisto:

Tabella 10: Sussidi Italiani 2013 per l'acquisto dei modelli oggetto di studio

VW Polo (benzina)	Ford Fiesta (diesel)	Fiat Punto (bi-fuel metano-benzina)	Alfa R. MiTo (bi-fuel GPL-benzina)	Toyota Yaris (ibrido)	Peugeot iOn (elettrico)	Renault Zoe (elettrico)
-	€ 2,000	-	-	€ 3,560	€ 5,000	€ 4,330

L'impatto dell'introduzione dei sussidi è simulato congiuntamente a diversi chilometraggi annui.

Figura 3: Costo totale con gli incentivi governativi 2013 per i modelli oggetto di studio e diverse percorrenze annue

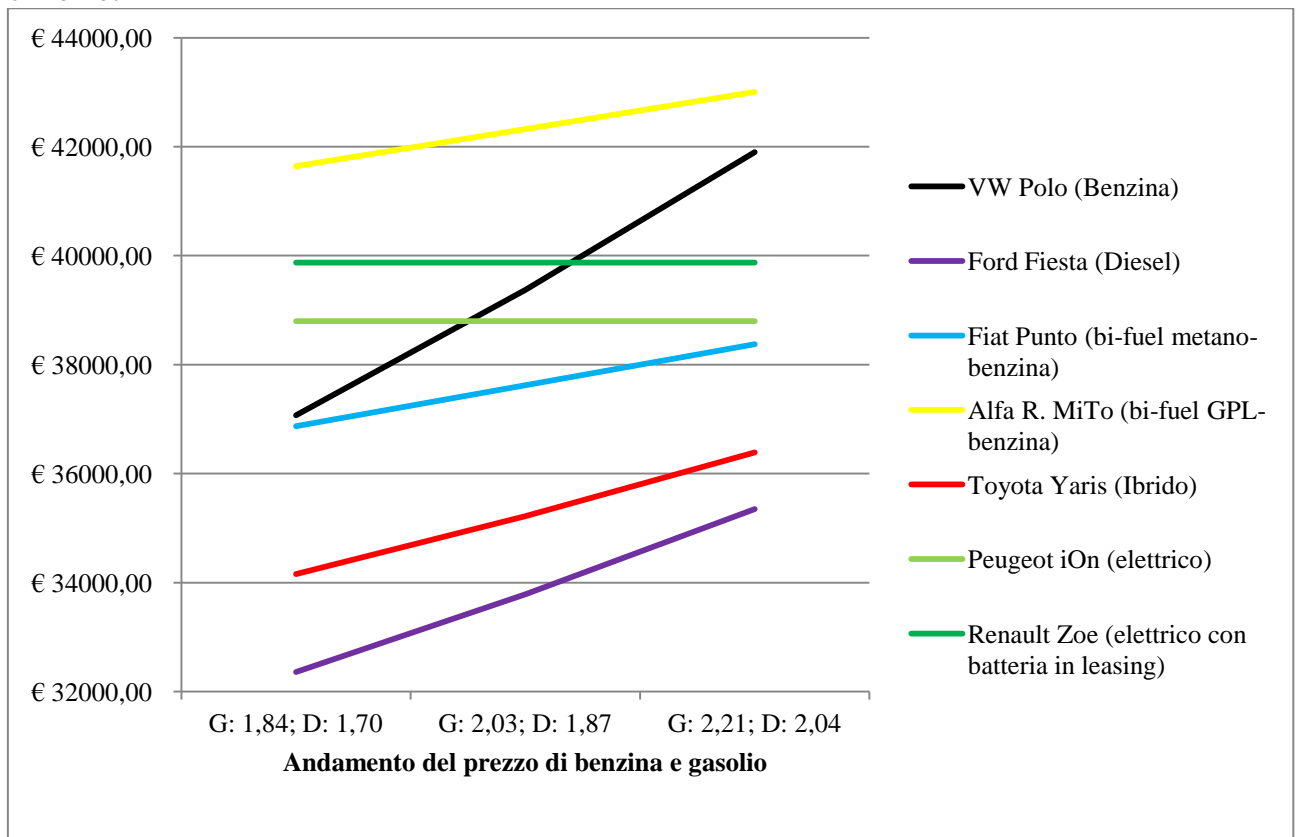


Per la prima volta, se la percorrenza annua si attesta sui 10.000 km all'anno l'ibrida Toyota Yaris diventa l'automobile più economica. Le vetture elettriche, avendo ridotto notevolmente il loro costo d'acquisto iniziale, diventano le scelte migliori quando si percorrono più di 19 mila chilometri all'anno.

Simulazione 4: incremento del prezzo dei carburanti convenzionali (benzina e gasolio) del 10% e del 20%

In questa simulazione si assume che i prezzi di benzina e diesel siano aumentati del 10% e del 20%, considerando un tempo di utilizzo della vettura di 10 anni ed ipotizzando la percorrenza di 10.000 chilometri all'anno.

Figura 4: Costo totale nell'ipotesi di un incremento del 10% e del 20% del prezzo dei carburanti tradizionali, dato un utilizzo di 10 anni ed una percorrenza annua di 10.000 chilometri

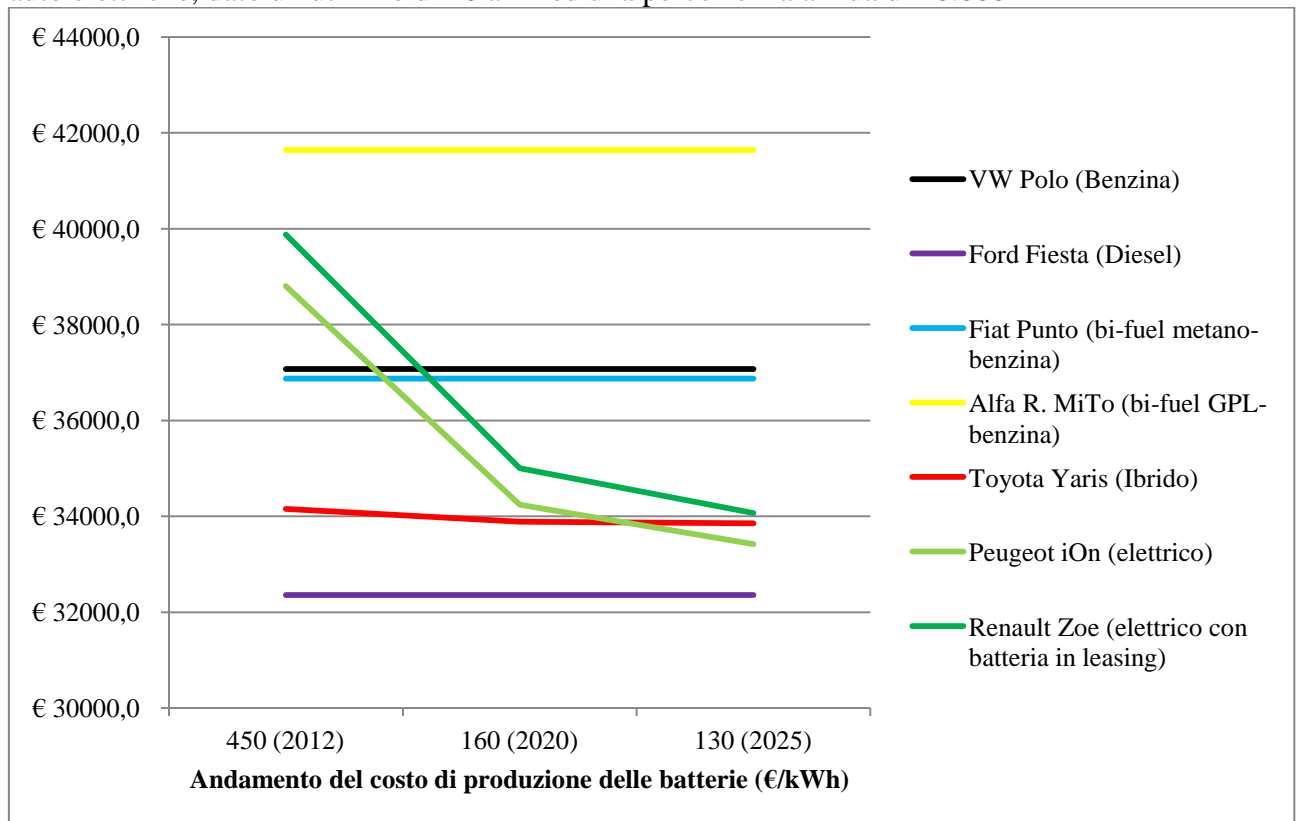


Ovviamente le automobili a combustibili alternativi potrebbero beneficiare, in termini di ranking, d'incrementi nei prezzi di benzina e gasolio. Anche se questo non è sufficiente a sovvertire le posizioni di partenza: la Ford Fiesta (diesel) rimane in ogni caso la scelta più economica.

Simulazione 5: riduzione del costo di produzione delle batterie delle automobili elettriche

Seguendo le previsioni dell'istituto di consulenza McKinsey&Company, i costi di produzione delle batterie per le automobili elettriche diminuiranno entro il 2020 ed ancor di più entro il 2025. In questa simulazione si applicano i valori previsti allo status quo, considerando inoltre una percorrenza di 10.000 km l'anno ed un utilizzo di 10 anni.

Figura 5: Costo totale nell'ipotesi di riduzione del costo di produzione delle batterie per auto elettriche, dato un utilizzo di 10 anni ed una percorrenza annua di 10.000 km



McKinsey&Company stima che il costo di produzione degli accumulatori scenderà dagli attuali 450 € / Kwh ai 160 € / Kwh nel 2020 e ai 130 € / Kwh nel 2025. Ciò migliorerebbe notevolmente la posizione competitiva delle automobili elettriche, anche se non sarebbe sufficiente a farle divenire le scelte più convenienti.

5. Conclusioni

Il presente lavoro propone un modello per stimare il costo totale privato e sociale ed il consumo energetico di 7 modelli di automobile, con diverse tipologie di alimentazione, attualmente in vendita in Italia. Le vetture selezionate sono tra loro comparabili: 6 su 7 appartengono al segmento di mercato “B”. L’efficienza energetica nonché quella ambientale sono stimate tenendo in considerazione l’intera filiera del carburante, non solamente la fase di utilizzo. Tutte le stime sono prodotte sulla base di un’ipotetica mobilità, data da un certo numero di km all’anno per un certo numero di anni.

I parametri utilizzati per la costruzione del modello sono tratti dalla letteratura internazionale, anche se una particolare attenzione è stata profusa nel tentativo di adattarli al contesto italiano. In particolare, i dati italiani utilizzati riguardano il mix energetico, i costi ambientali, i prezzi di listino delle automobili considerate, il costo medio dell’assicurazione, i costi medi per manutenzioni e riparazioni, i prezzi dei carburanti, il bollo auto, i sussidi governativi per l’acquisto di automobili meno inquinanti.

Tra le 7 vetture confrontate, la Ford Fiesta (diesel) è la più performante: è la migliore dal punto di vista del costo totale privato e del consumo di energia lungo l'intera filiera del carburante (WtW), ma la peggiore in termini di costi sociali (i quali sono circa il 2,7% del totale dei costi privati). La Toyota Yaris (ibrido) è un'altra scelta molto buona sia in termini di costi privati (la seconda migliore) sia in termini di costo sociale. Tra le auto bi-fuel, la Fiat Punto (CNG bi-fuel), offre le migliori prestazioni in termini di costi privati e sociali. La VW Polo (benzina) è più costosa della Ford Fiesta (diesel) e anche della Toyota Yaris (ibrido), in termini di costi privati, ed è solo leggermente migliore rispetto alla Ford Fiesta (diesel) in termini di costi sociali.

Contrariamente alle aspettative comuni, le automobili elettriche sono peggiori delle altre vetture in termini di consumo energetico e di costi sociali connessi all'inquinamento atmosferico locale; mentre risultano solo leggermente migliori rispetto alle vetture convenzionali in termini di costi sociali connessi all'inquinamento globale. Esclusivamente quando si considerano i costi dell'inquinamento acustico, il computo dei costi sociali pende a favore delle auto elettriche. Si sottolinea che questi risultati sono validi con l'attuale mix energetico italiano. Qualora l'Italia riuscisse a ridurre le emissioni in fase di produzione di energia elettrica, aumentando la quota di fonti rinnovabili (idroelettrico, solare, eolico, ecc.), tali conclusioni potrebbero cambiare. Si ricorda, inoltre, che tali conclusioni sono soggette a una forte incertezza per quanto concerne la stima dei costi sociali connessi alle emissioni di NOX e SOX.

Al fine di testare come i costi privati cambino quando alcune variabili vengono fatte variare, un'analisi di scenario è stata prodotta. In particolare, i seguenti parametri sono stati modificati rispetto allo scenario base: il numero di km percorsi all'anno, il numero di anni di utilizzo della vettura, l'aumento della benzina e diesel prezzo, l'introduzione dei sussidi per i veicoli a basse emissioni, la riduzione dei costi di produzione delle batterie. Alcuni di questi cambiamenti generano una variazione significativa nei risultati del confronto tra i 7 modelli proposti. Per quanto riguarda le automobili elettriche, esse diventano competitive quando la distanza annua percorsa è elevata (almeno 20.000 km l'anno, vale a dire, circa 55 km al giorno); quando si applicano le sovvenzioni (che abbiamo dimostrato nel documento ingiustificato in termini degli attuali costi sociali italiani), oppure, cosa più importante, quando il costo di produzione delle batterie si abbassa.

Si ricorda, infine, che questa analisi ha trattato 7 vetture specifiche e non può essere facilmente generalizzata a tutte le automobili con le medesime tecnologie propulsive. In particolare, questo avvertimento vale per i veicoli ibridi ed elettrici, le cui configurazioni sono in rapida e continua evoluzione.

Riferimenti bibliografici

Bickel, P., Friedrich, R., (2005), *“ExternE Externalities of Energy. Methodology 2005 Update”*, Directorate-General for Research, Sustainable Energy Systems, EUR 21951, ISBN 92-79-00423-9

Concawe, Eucar, European Commission, (2007a), *“Tank-to-Wheels report”*, Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, Joint Research Centre, Bruxelles.

Concawe, Eucar, European Commission, (2007b), *“Well-to-Tank report”*, Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, Joint Research Centre, Bruxelles.

- Concawe, Eucar, European Commission, (2007c), *“Well-to-Wheels report”*, Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, Joint Research Centre, Bruxelles.
- Maibach, M., Schreyer, C., Sutter, D., van Essen, H.P., Boon, B.H., Smokers, R., Schroten, A., Doll, C., Pawlowska, B., Bak, M. (2008), *“Handbook on estimation of external cost in the transport sector”*, Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT), Delft, CE.
- Michalek, J. J., Chester, M., Jaramillo, P., Samaras, C., Norman Shiau, C-S., Lave, L.B. (2011), *“Valuation of plug-in vehicle life-cycle air emissions and oil displacement benefits”*, *PNAS*, 108, 40, pp. 16554–16558.
- Rusich, A., Danielis, R., (2013), *“The private and social costs of a car. An estimate for seven cars with different vehicle technologies on sale in Italy”*, Department of Economics, Business, Mathematics and Statistics, University of Trieste, Italy.
- Torchio, M.F., Santarelli, M.G. (2010), *“Energy, environmental and economic comparison of different powertrain/fuel options using well-to-wheels assessment, energy and external costs e European market analysis”*, *Energy*, 35, pp. 4156-4171.