

Tullio Gregori ¹

**Inquinano meno le auto elettriche o le automobili diesel
dell'ultima generazione?
Due piccole utilitarie francesi a confronto.**

*¹Dipartimento di Scienze Politiche e Sociali
Università degli Studi di Trieste*

Sommario

Il settore del trasporto è responsabile di un quinto del totale delle emissioni di biossido di carbonio (CO₂) nell'Unione Europea. Si tratta di un problema notevole, visto che proprio questo gas è il principale responsabile dei cambiamenti climatici in atto nel nostro pianeta. Le politiche adottate in Europa hanno contribuito a ridurre l'inquinamento negli ultimi anni, ma i gas serra prodotti dal settore dei trasporti sono ancora superiori di quasi il 30% a quelli del 1990. Nella prima parte di questo lavoro documentiamo il trend delle emissioni in Europa con particolare riferimento al comparto dei veicoli passeggeri, evidenziando i miglioramenti di questi ultimi anni. Tuttavia, la notevole quantità di CO₂ rilasciata dai veicoli richiede un approccio più radicale. Non a caso la questione se siano preferibili le automobili convenzionali dell'ultima generazione o quelle elettriche è molto dibattuta. Nella seconda parte, affrontiamo questo problema prendendo spunto da una recente analisi costi e benefici, che confronta una piccola auto elettrica francese (la Zoe prodotta dalla Renault) con un veicolo simile (la Clio). I dati tratti da questo studio, insieme a quelli desunti dal dataset Exiobase, permettono di stimare l'impatto ambientale di queste due autovetture. A tal fine è implementato un approccio del tipo *Extended Input Output Analysis* con riferimento all'Europa. L'applicazione di questo modello mostra come i valori stimati delle emissioni globali per queste due vetture, che sono abbastanza rappresentative del segmento B, non permettono di affermare con certezza che una vettura è meno inquinante dell'altra.

Keywords: Auto elettrica, Modelli Input Output ambientali, Inquinamento e gas serra.

1. Introduzione

Il recente scandalo relativo alla frode messa in atto negli Usa dai tecnici Volkswagen ha riportato in auge il dibattito sull'inquinamento delle automobili. Da un lato, sono emerse chiaramente le discrepanze fra le emissioni reali e quelle dei test, che erano però già note in letteratura: *“this study, which builds on and extends the analysis begun in 2012 and continued in 2013, demonstrates that the year-over-year improvements*

reported via the type-approval tests are not reliably matched in everyday driving—and that the gap between the vehicle emissions testing laboratory and the real world of the road is getting wider” (ICCT, 2014, p. i). Dall’altro, sono ancora più evidenti i problemi connessi all’inquinamento provocato dalle automobili. In questo lavoro vogliamo affrontare la questione soprattutto per mettere in evidenza le notevoli incertezze insite nel calcolo dei benefici dell’adozione delle auto elettriche al posto di quelle convenzionali. A questo scopo utilizziamo i dati di una recente analisi costi benefici che confronta una tipica piccola autovettura francese alimentata a gasolio con una similare elettrica (Leurent e Windisch, 2015). Il confronto è interessante perché non è immediatamente chiaro quale sia la vettura preferibile dal punto di vista ambientale. Infatti, il sito di Next Green Car, che valuta le ultime versioni attualmente in commercio ed usa una metodologia molto nota in letteratura, afferma che il veicolo alimentato a gasolio produce tra i 2,35 e 2,61 tn di CO₂ o tra i 4,7 e 4,8 kg di NO_x e PMs, mentre quello elettrico tra 2,13 e 2,35 tn di CO₂ o tra 4,6 e 5,1 kg di NO_x e PMs, a seconda dei modelli presenti nella gamma. Nel motore a scoppio gran parte delle emissioni (1,9 tn) sono dovute ai gas di scarico, mentre gli effetti indiretti ammontano a 0,38 tn per la produzione del carburante e solo 0,33 tn per quella del veicolo. Al contrario, la fonte maggiore d’inquinamento dell’auto con batterie è dovuta alla produzione dell’energia elettrica (1,53 tn), mentre ben 0.6 tn sono imputabili alla produzione del mezzo. Se teniamo conto che questa metodologia non affronta il problema del riciclo e dello smaltimento delle componenti, di cui la batteria è un elemento essenziale, possiamo intuire come non sia facile emettere un giudizio insindacabile su quale veicolo inquinare di meno.

Per questo motivo giudichiamo opportuno procedere ad una stima degli effetti globali di questi veicoli adottando l’approccio Extended Input Output che permette di esplicitare sia gli effetti diretti, dovuti all’uso di motori a scoppio, sia quelli indiretti legati alla produzione della forza motrice ed alla realizzazione delle stesse autovetture (Suh, 2009). A questo scopo facciamo riferimento al dataset Exiobase nella sua versione sintetica. In realtà, Exiobase è un sistema di tavole armonizzate Make e Use per 43 paesi, 163 industrie e 200 prodotti, da cui sono derivate anche le tradizionali tavole Input Output, con estensioni di tipo ambientale per 80 tipi di risorse naturali e 40 inquinanti (Tukker et al., 2013, Wood et al., 2015). In questo modo le tavole Input Output internazionali permettono l’analisi dell’impatto ambientale associato ad un determinato set di vettori di domanda finale. Per questa indagine esplorativa abbiamo utilizzato la versione compatta stimata con riferimento all’anno 2000 a sole tre regioni, composte grossomodo dall’attuale Unione Europea, ma includendo pure la Norvegia e la Svizzera, da un gruppo di altri paesi OCSE e dal resto del mondo. Il numero di settori analizzato è pari a 60, mentre gli inquinanti sono solo 28. Tuttavia, come abbiamo detto in precedenza, questo non inficia i risultati del nostro studio che si focalizza sul ruolo delle auto per passeggeri (*light vehicles*) che emettono sostanzialmente solo CO₂. I dati riferiti alle due automobili esaminate sono tratti da recente studio francese (Leurent e Windisch, 2015). Nella sezione successiva illustriamo il problema e l’importanza dell’inquinamento delle automobili, mentre in quella seguente viene illustrato l’approccio Input Output esteso agli aspetti ambientali con l’applicazione al caso in questione. I risultati sono discussi nella parte conclusiva del lavoro.

2. L'inquinamento delle automobili

I veicoli emettono principalmente 4 o 5 inquinanti. La combustione, che avviene nei motori a scoppio a benzina (HC), oltre a generare biossido di carbonio (CO₂) ed acqua, produce anche idrocarburi mal bruciati HC_{par} e monossido di carbonio (CO) che hanno reagito in modo incompleto con l'ossigeno. Inoltre, si crea ossido di azoto (NO) che, invece, si è ossidato troppo. I convertitori catalitici fungono da abbattitori delle emissioni nocive dei gas di scarico, favorendone la completa ossidazione e riduzione. In questo modo gli idrocarburi incombusti, gli ossidi di azoto ed il monossido di carbonio sono parzialmente trasformati in anidride carbonica, acqua e azoto. Tuttavia, rilasciano diversi inquinanti nell'atmosfera che sono decisamente dannosi per la salute ed aumentano il problema del surriscaldamento globale tramite l'immissione di gas serra (Green House Gas, in breve GHG). Secondo l'EPA, sono stanzialmente quattro i gas emessi dalle automobili responsabili del *global warming*. Oltre al biossido di carbonio, troviamo il metano (CH₄), il biossido di azoto (N₂O) e gli idrofluorocarburi (HFC) connessi all'uso dei refrigeranti per l'aria condizionata. Sebbene il potenziale di *global warming* di questi ultimi sia notevole, le perdite di HFC sono minime, come l'impatto del biossido di azoto e si afferma che *"on average CO₂ are 95-99% of the total greenhouse gas emissions from passenger vehicles, after accounting for the global warming potential of all GHGs. The remaining 1-5% is CH₄, N₂O, and HFC emissions"* (EPA, 2014, p. 3).

In questo lavoro focalizziamo la nostra attenzione proprio sulle emissioni di CO₂ da parte dei veicoli passeggeri, in quanto il problema di questo tipo di inquinamento è sempre più pressante. Come evidenziato dalla figura 1, i settori della produzione di elettricità, riscaldamento e quello dei trasporti generano due terzi della CO₂ dovuta alla combustione di carburante. In particolare, quello dei trasporti è responsabile per circa il 23% dell'inquinamento a livello mondiale ed la sua quota sta aumentando, soprattutto con riferimento alla modalità su gomma. La figura 2, tratta anch'essa dall'ultimo rapporto dell'IEA (2015) mostra come il comparto stradale ha visto aumentare le proprie emissioni del 68% dal 1990 al 2013. Nel 2013 queste pesano per circa tre quarti del totale dei trasporti.

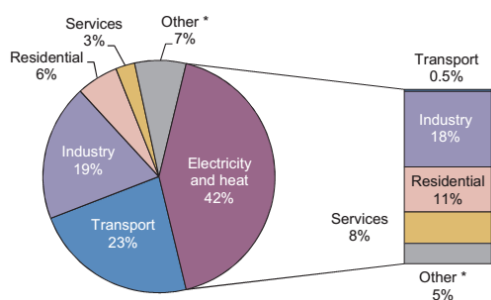


Fig. 1 Quote emissioni CO₂ per settore anche finali nel 2013
Fonte: IEA, 2015

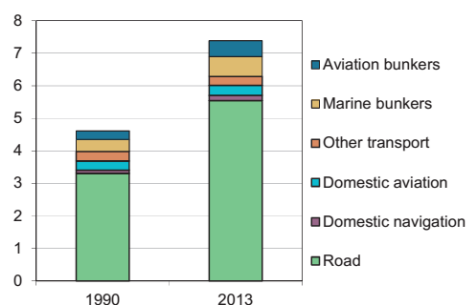


Fig. 2 Emissioni CO₂ nel trasporto in Gigatons
Fonte: IEA, 2015

L'Unione Europea ha un suo ruolo in questo contesto. Secondo l'IEA, i ventotto paesi che appartengono a quest'area incidono per solo il 10,4% del totale mondiale delle emissioni di CO₂, ma la quota relativa al trasporto è ben maggiore, ovvero pari al

14,8%. L'andamento è pure in controtendenza rispetto agli altri comparti industriali, come evidenziato nella figura 3, che mostra i *pattern* settoriali dal 1990 al 2013 per quanto concerne il totale dei gas responsabili dell'effetto serra. Questa figura evidenzia un trend in ribasso per quasi tutti gli anni novanta. La tendenza è abbastanza simile anche in questo millennio, pur notando un ritorno verso i valori iniziali nel comparto energetico e nel secondario dal 2002. La crisi mondiale, che ha colpito duramente i paesi più industrializzati dalla fine del 2008, riduce di oltre il 7% l'inquinamento in tutti i settori. Ad esempio, quello energetico, dopo il tracollo del 8% nel 2009, cede quasi il 6% nel 2013. Al contrario, il settore dei trasporti raggiunge il suo apice nel 2007 e solo la successiva recessione provoca una diminuzione dei gas serra, ma di meno del 3%. Ma oltre alla crisi, dobbiamo tenere conto anche dell'entrata in circolazione delle automobili Euro 4, per cui è indiscutibile che l'intervento del policy maker è necessario per ridurre l'inquinamento di questo comparto.

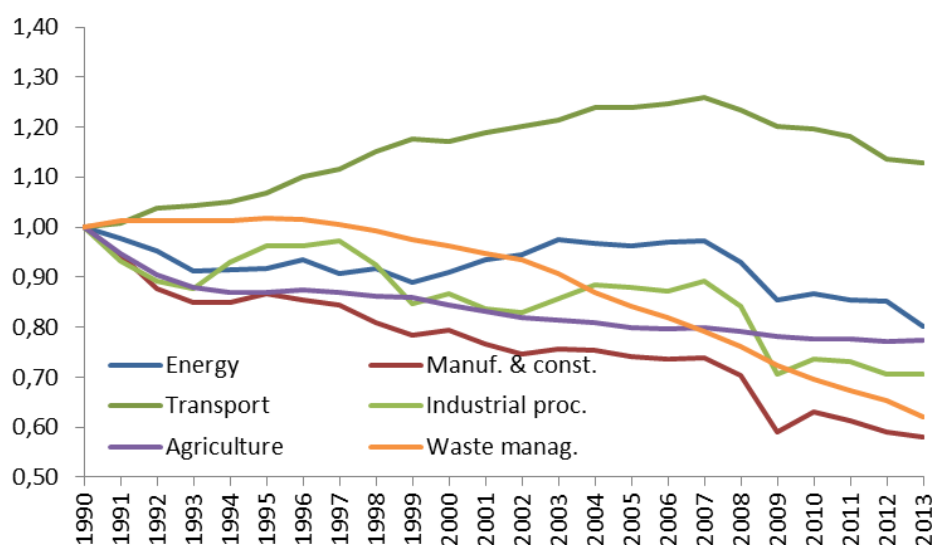


Fig. 3 Emissioni gas serra nei principali comparti produttivi in EU28
Fonte: EEA

Per quanto riguarda le emissioni settoriali di CO₂ dobbiamo far riferimento ai dati forniti da Eurostat, che adotta la classificazione Nace, rev. 1 sino al 2008 e la revisione successiva a partire dallo stesso anno. Uniformando opportunamente le serie si possono ottenere i numeri indice esposti nella figura 4. Anche in questo caso svetta il comportamento totalmente difforme del settore dei trasporti, che cresce stabilmente sino alla recessione mondiale del 2009.

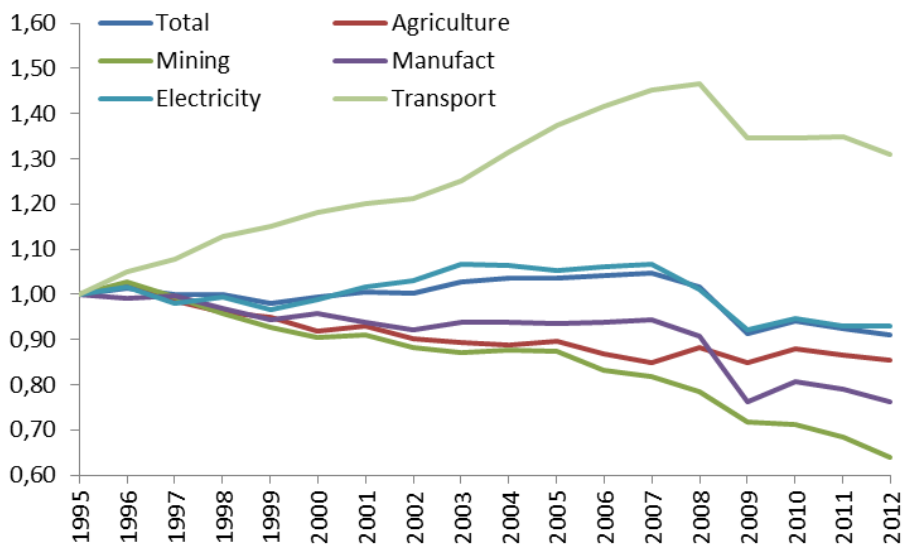


Fig. 4 Emissioni CO₂ nei principali comparti produttivi in EU28
Fonte: Eurostat

Il quadro è coerente con quanto semplicisticamente previsto dall'Agenzia Europea dell'Energia e riportato da Hill et al. (2009), che prendendo a riferimento il trend dei primi anni del secolo nei trasporti e la riduzione prevista nei gas serra, evidenziavano i potenziali problemi nel raggiungimento degli obiettivi di contenimento degli inquinanti. Come mostra la figura 5, tratta da Hill et al. (2009, pag. 7), il target di una riduzione dei gas serra tra il 60% ed 80% di quelli del 1990 poteva essere messo a repentaglio dalla crescita, pari all'1.4% annuo, registrata proprio nel settore dei trasporti. La realtà di questi ultimi anni ha mostrato come questo problema non sia più un pericolo imminente, anche se la riduzione nei gas serra è alquanto limitata ed i livelli di CO₂ sono per lo più stabilizzati, nonostante la perdurante crisi economica che attanaglia diversi stati europei e l'entrata in vigore di normative ancora più stringenti sulle emissioni delle nuove automobili.

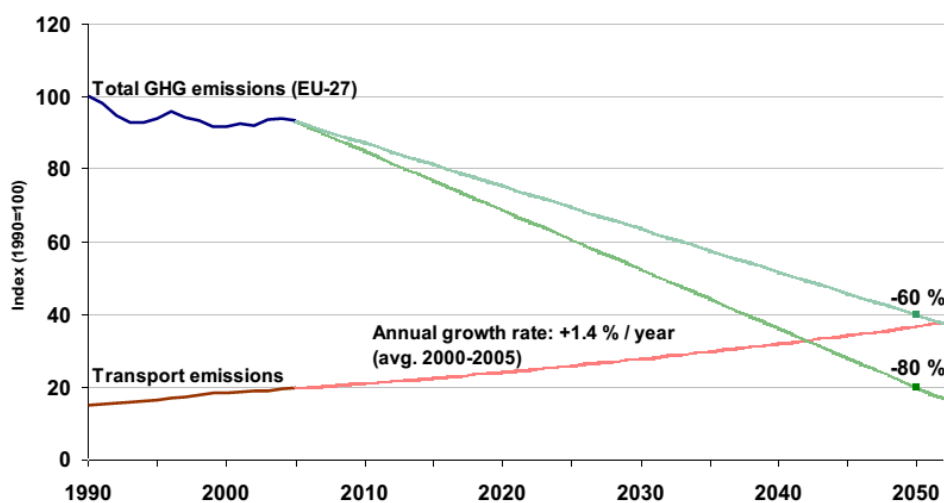


Fig. 4 Traiettorie emissioni gas serra in EU27
Fonte: Hill et al. (2009)

Ciò rende improcrastinabile la discussione sugli effetti complessivi dell'introduzione di nuovi mezzi di locomozione, come le auto elettriche, di cui rende conto Danielis (2015a) ed a cui rimandiamo. Lo scopo di questa breve nota è, invece, più specifico. Infatti, nelle pagine seguenti vogliamo utilizzare un modello Input Output esteso agli aspetti ambientali per stimare gli effetti dello spostamento della domanda, produzione ed utilizzo di automobile elettriche a scapito di quelle convenzionali. A questo scopo faremo riferimento ad un precedente lavoro in cui venivano analizzate le conseguenze di una modificazione della tecnologia produttiva (Gregori, 2015). Qui vogliamo includere nell'analisi anche i cambiamenti della domanda finale, poiché sono le famiglie che decidono di acquistare e guidare le automobili elettriche rinunciando a quelle convenzionali. Ciò ha pure delle ripercussioni sull'inquinamento diretto ed indiretto a causa del diverso mix di input richiesti a tutto il sistema economico. Questi ultimi sono proprio gli aspetti che le analisi *Well-To-Wheel* e *Life Cycle Environmental Impact* riescono a cogliere ed esplicitare con maggiori difficoltà (Messagie et al. 2014, Danielis, 2015b, Walker e Tuwfiq, 2015).

Un primo passo consiste nell'imputare alle famiglie la parte delle emissioni relative al trasporto passeggeri su auto, in modo da chiarire se l'aumento di inquinamento riscontrato in precedenza sia solo un effetto quantità, dovuto al maggior numero di auto in circolazione, o dipenda dal mix di veicoli utilizzati. Secondo i dati Exiobase le emissioni di CO₂ da parte delle famiglie europee ammontano a 1,84 Gigatons nel 2000, mentre quelle indotte dal sistema produttivo a 3,69 Gigatons. Quest'ultimo valore è superiore a quanto riportato da Eurostat, che stima per quell'anno un totale, da parte di tutto l'apparato produttivo, pari a 3,36 Gigatons. L'IEA, sempre nel 2000, afferma che la quantità immessa in aria da questi paesi, e dovuta ad consumo di olii combustibili, è pari a circa 1,68 Gigatons.

Per quanto concerne il parco macchine, Eurostat calcola in circa 212,5 milioni le vetture circolanti nei paesi sotto indagine. Di queste, grossomodo, solo il 16% erano relativamente nuove ovvero con meno di due anni di vita. La quota di automobili immatricolate nel 2000, quando è stata introdotta la classe Euro 3, è pari ad appena il 7,5%, mentre quelle con più di due anni di vita, ma meno di cinque, sono circa il 23%. Un altro 29% è costituito da veicoli con età compresa tra i cinque e dieci anni, mentre la quota residuale, che non è affatto marginale (30%), rientra a pieno titolo fra le più inquinanti.

L'EEA ha iniziato ad elaborare le informazioni relative alle automobili di nuova immatricolazione dal 2009. Questi dati devono essere raccolti dagli stati membri dell'Unione in ottemperanza all'art. 8 del regolamento n. 443/2009. Quelli precedenti, invece, sono frammentari e disponibili solo per alcuni paesi. Al fine del soddisfacimento dei requisiti del protocollo di Kyoto, lo stesso regolamento prevede un obiettivo di medio periodo 130 gCO₂/km entro il 2015, ed uno di lungo pari a 95 gCO₂/km nel 2020. La tavola 1 espone alcuni valori desunti da EEA (2015) da cui si deduce, come mostrato pure dalla figura 5, che, ufficialmente, il target di medio periodo è già stato raggiunto e ci si approssima a quello di lungo.

La caduta iniziale delle emissioni è particolarmente rilevante nel caso dei combustibili alternativi (AFV), che comprendono il metano, GPL, gas naturali, etanolo, biodiesel e naturalmente le automobili elettriche ed ibride. Il calo è notevole anche per le automobili convenzionali. Si è pure sostanzialmente chiusa la forbice tra i motori diesel e quelli alimentati a benzina e, nel 2014, quasi il 18% dei nuovi veicoli emetteva meno

di 100 gCO₂/km, con un miglioramento generale delle emissioni, come testimoniato dalla figura 6.

Tav. 1 Emissioni gCO₂/km in alcuni anni per tipo di benzina in EU28 (EEA, 2015)

	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2013	2014
Tutte	172.2	167.2	163.4	161.3	153.6	140.3	132.2	126.7	123.4
Benzina	177.4	173.5	170.0	164.9	156.6	142.5	133.7	128.5	125.6
Diesel	160.3	158.1	156.2	157.9	151.2	139.3	131.5	126.9	123.2
AFV	208.0	179.2	147.9	151.1	137.0	126.0	118.5	98.3	90.8

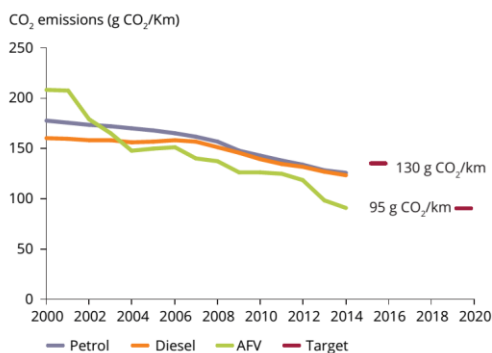


Fig. 5 Trend emissioni Europa
Fonte: EEA (2015)

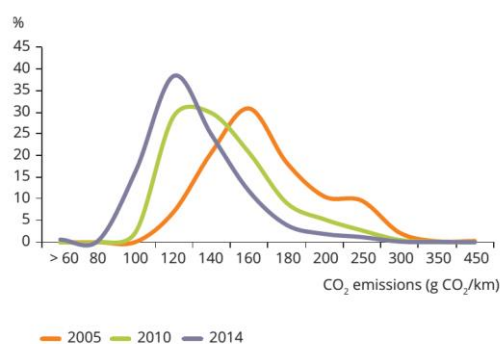


Fig. 6 Frequenze emissioni in alcuni anni
Fonte: EEA (2015)

Anche l'Environment Protection Agency (EPA) determina il valore delle emissioni medie ed il consumo di carburante dei veicoli leggeri posseduti dagli americani, suddividendoli in automobili passeggeri e *light-duty trucks*. Questi ultimi sono quelli con un *Gross Vehicle Weight Rating* (dato dal peso del veicolo, con quello dei passeggeri, carico e benzina inclusi) inferiore alle 8500 libbre (3,85 tn) e destinati principalmente al trasporto di cose e persone anche *off-road*. Si tratta sostanzialmente di van, mini-van, pick-up ed utilitarie sportive che hanno ampia diffusione negli USA tant'è che, in questo secolo, costituiscono circa il 40% del parco macchine statunitense. Orgogliosamente, il penultimo rapporto afferma: "This annual report (often referred to as the "Trends" report) is the authoritative reference on new light-duty (or personal) vehicle carbon dioxide (CO₂) emissions, fuel economy, and powertrain technology trends in the United States. These vehicles include passenger cars, sport utility vehicles, minivans, and all but the largest pickup trucks and vans. This report uses the most comprehensive database of its kind, both because it is comprised of detailed new vehicle test data provided, under statute, to EPA by automobile manufacturers, and because the database has been rigorously maintained since 1975" (EPA, 2014, p. 1). Mentre nell'ultimo si osserva che: "it is important to note that EPA has issued notices of violation to Volkswagen alleging that certain MY 2009-2016 diesel vehicles are in violation of the Clean Air Act for excess oxides of nitrogen emissions (see www.epa.gov/vw). In this report, EPA uses the CO₂ emissions and fuel economy data from the initial certification of these vehicles" (EPA, 2015, p. 1).

Oltre alle emissioni di CO₂ sono inclusi altri gas serra per la valutazione dei GHG, come il monossido di carbonio e gli idrocarburi (responsabili però di meno dell'1% dell'inquinamento totale), ma sono invece esclusi il metano o gli ossidi di azoto. Inoltre, negli ultimi anni sia le emissioni sia i consumi di carburante sono stati calcolati sulla

base di un ciclo di guida che prevede un percorso urbano che pesa per il 43% del totale, mentre il 57% si ritiene effettuato in strada a scorrimento veloce (il cosiddetto EPA's 5-cycle test). In sintesi, "the CO₂ emissions and fuel economy values in this report are expressed as **adjusted** values, which represent EPA's best estimate of **real world tailpipe CO₂ emissions and fuel consumption**. This report does not provide formal compliance values for either GHG emissions or CAFE standards, which are based on **unadjusted, laboratory** values as well as various credits." (EPA, 2015, p. 2). Le emissioni corrette sono, in media, il 25% maggiori di quelle di base (*unadjusted*), mentre i consumi superiori del 20% circa. Ad ogni modo, il rapporto EPA ha il pregio di uniformare le informazioni raccolte negli anni e permette di evidenziare i trend di lungo periodo. La figura 7 mostra le emissioni, in termini di gCO₂/km, ed i chilometri percorsi con un litro di benzina dal 1973 al 2014, mentre la figura 8 riporta il grafico di dispersione che mostra la quasi perfetta correlazione lineare tra queste due variabili. È possibile notare il notevolissimo guadagno in termini di efficienza in seguito al primo shock petrolifero, che però ha avuto termine agli inizi degli anni ottanta. Nel periodo 1975-1982 la diminuzione delle emissioni è stata di quasi il 38%, con un minimo pari a 253 gCO₂/km nel 1986. Il successivo contro shock petrolifero ha fatto venir meno l'esigenza di ridurre i consumi. Ciò ha provocato un rialzo nelle emissioni, che ha avuto termine nel 2003 quando si è raggiunto il massimo relativo di 286 gCO₂/km, mentre i chilometri percorsi con un litro di benzina sono scesi ad appena 8,29.

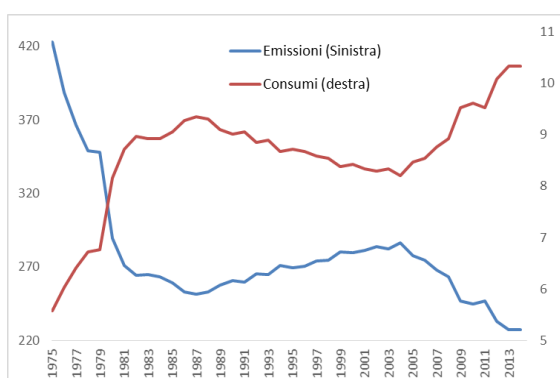


Fig. 7 Emissioni ed efficienza
Fonte: EPA (2015)

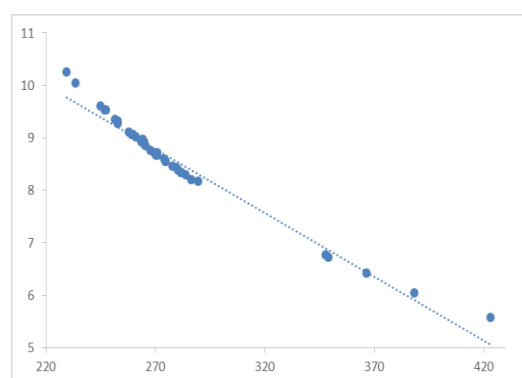


Fig 8 Emissioni vs efficienza
Fonte: EPA (2015)

Le figure 7 ed 8 mostrano gli andamenti nel tempo delle emissioni e dei chilometri percorsi per litro con riferimento alle automobili ed ai *light trucks*. Come ovvio, i secondi sono decisamente meno performanti ed inquinano mediamente un 33% in più. Ad ogni modo, la stima delle emissioni di un veicolo americano standard nel 2000, che è il nostro anno di riferimento per le tavole Input Output, è pari a 279,6 gCO₂/km. Si tratta di un dato superiore del 62% a quello europeo. La differenza scende al 38% se escludiamo i *light trucks*, così come pare opportuno, vista la minor diffusione di questo tipo di veicolo in Europa. Si tratta di una discrepanza notevole, anche tenendo conto dell'ampia diffusione dei motori diesel in Europa, che sono più inquinanti ma anche performanti, a differenza degli Stati Uniti, ove questi propulsori sono quasi del tutto assenti.

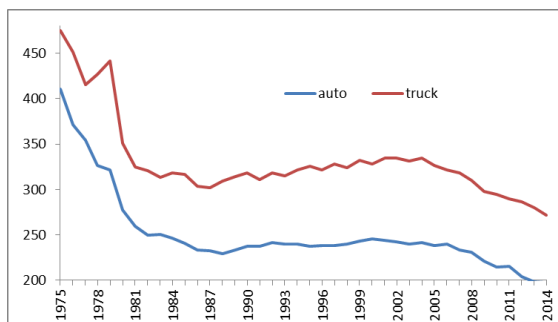


Fig. 7 Emissioni CO₂ (gCO₂/km)
Fonte: EPA (2015)

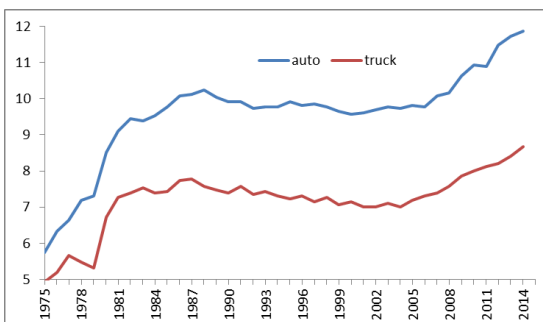


Fig. 8 Efficienza (km/lit)
Fonte: EPA (2015)

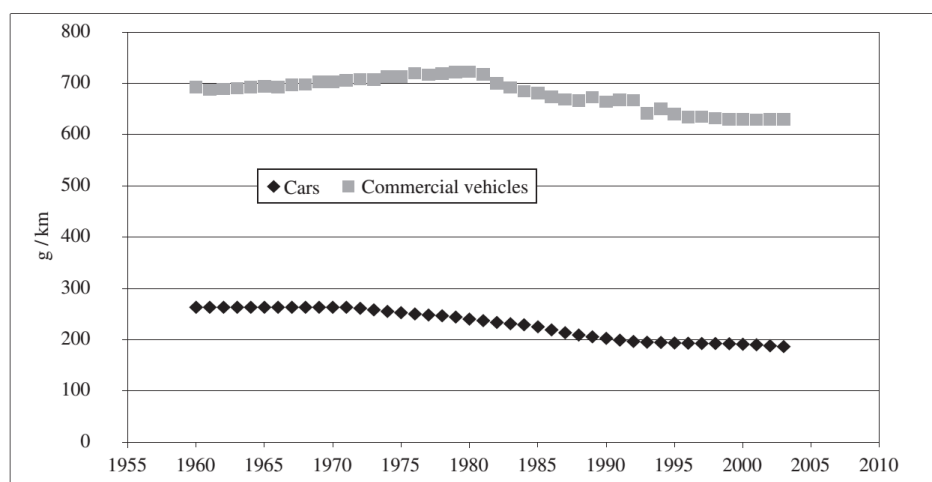
A differenza dell'EEA, che monitora le emissioni esclusivamente per le nuove immatricolazioni, l'EPA produce anche stime delle emissioni medie e del consumo di carburante del parco macchine americano. Per quanto concerne il totale della emissioni, il loro calcolo avviene secondo il seguente schema (EPA, 2008):

- 1) Determinazione delle emissioni di biossido di carbonio prodotto per litro (o gallone) di benzina (anche diesel);
- 2) Stima dei consumi delle automobili (in km o miglia al litro);
- 3) Stima del numero di chilometri (miglia) percorsi all'anno;
- 4) Determinazione delle ulteriori emissioni di gas serra diversi da CO₂;
- 5) Individuazione del parco auto circolante;
- 6) Calcolo del totale delle emissioni di CO₂ e dei gas serra.

Naturalmente, anche altre variabili dovrebbero essere prese in esame, come l'età e le condizioni del veicolo, la manutenzione effettuata ed il numero di chilometri percorsi, lo stile di guida, il tipo di percorso preso in esame, il combustibile utilizzato e le condizioni ambientali. L'Emission Facts (EPA, 2000) afferma che un veicolo standard, con manutenzione adeguata in strada nel luglio 2000, che utilizzasse benzina *regular* in un caldo giorno d'estate con una temperatura compresa tra i 22 e 35 gradi celsius, genera in media 258,1 gCO₂/km se è un'automobile e 324,1 gCO₂/km se è un *light truck*. I consumi ipotizzati nei due casi ammontano rispettivamente a 9,14 e 7,31 km/lit. Ovviamente lo stesso rapporto afferma che *“these emission factors and fuel consumption rates are averages for the entire in-use fleet. Newer cars emit less pollution and use less gasoline; older cars and trucks may emit more pollution and use more gasoline...the total annual emission and fuel consumption are greener for light trucks than was presented in the April 1998 version of this fact sheet. This reflects the increasing trend towards the largest, heaviest light trucks, which currently and in the past have had less stringent emission standards and lower fuel economy than do the lighter light trucks and cars”* (EPA, 2000, p. 2-3). Le discrepanze rispetto ai dati relativi ai nuovi veicoli (245,4 gCO₂/km per le nuove automobili e 328 per i *light trucks*) sono dovute a questi elementi ed alla non perfetta corrispondenza per alcuni gas serra, che non sono considerati nelle nuove immatricolazioni. Per quanto concerne il numero di chilometri percorsi, si ipotizzano circa 20.000 km all'anno per le auto e 22.500 per i *light trucks*. Sulla base di questi dati possiamo affermare che, nel 2000, il contributo alle emissioni di CO₂ è stato pari a più di 5,1 chili per le auto e 7,3 per i *light trucks*.

Le distanze percorse in media dalle automobili europee sono inferiori. Seguendo una copiosa letteratura ed, in particolare Leurent e Windisch (2015), assumiamo che il tipico veicolo europeo percorra 15.000 km all'anno. I consumi medi vanno però rettificati in modo opportuno, poiché il dato esposto nella tabella 1 risente dell'introduzione dei motori che cominciarono a rispettare gli standard Euro 3. Tuttavia, tale standard divenne obbligatorio solo a partire dal 2001, anche se era più permissivo per le emissioni di ossido di carbonio per i motori a benzina (2,3 g/km, anziché i 2,2 precedenti) e più stringente per i motori diesel (0,64 g/km, anziché 1). Abbiamo però visto che, nel 2000, quasi il 30% dei veicoli rispettavano solo l'Euro 1 (2,72 g/km per entrambi i tipi di motorizzazioni) ed altrettanti neppure quella. Per quanto concerne la distribuzione tra i due tipi di motorizzazione, dai dati disponibili si evince che, sempre nel 2000, la quota dei motori diesel era di circa il 34% ovvero del 32,1% per EU15+EFTA secondo Kågeson (2005). Tutto ciò fa capire come sia stato alquanto prudente il Parlamento Europeo che, a supporto della decisione n. 1753/2000/EC, ha affermato *“for 2000, average specific emissions of CO₂ from the current passenger car fleet are estimated at around 186 grams of CO₂ per kilometre (current EC test). Emissions from passenger cars account for around half of all CO₂ emissions in the transport sector, and almost 12 % of total CO₂ emissions in the Union“*.

A questo punto possiamo finalmente vedere quanto incidono le automobili sul totale delle emissioni delle famiglie europee. In primo luogo dobbiamo imputare il numero di auto possedute, che poniamo pari al 70% dei veicoli (in Italia circa il 78% secondo la Fondazione Caracciolo, 2006). Assumendo che le emissioni siano quelle ipotizzate dal Parlamento Europeo, si ricava che il 38,3% della CO₂ generata dalle famiglie sia dovuta al traffico veicolare. Questa quota sale al 41% se, invece, facciamo propria l'analisi riferita alla Germania, in cui le emissioni sono circa 200 g/km come mostra la figura 9 (SRU, 2005). Con tutte le cautele dovute a questo calcolo soggetto ad una notevole approssimazione, risulta però evidente l'importanza del contenimento dell'inquinamento di CO₂ da parte delle automobili possedute dalle famiglie europee. Il punto cruciale è se i veicoli elettrici possano effettivamente modificare una situazione che, dall'analisi di queste pagine, è migliorata in Europa solo in seguito alla recessione del 2009 ed alla crisi dell'Eurozona. Nella prossima sezione vogliamo presentare un semplice esempio che illustra come non sia facile rispondere a questa domanda.



SRU/EA SG 2005/Figure 7.6. Data Source: UBA, written correspondence dated 01.09.2004, Transport Emission Estimation Model (TREMOM), Version 3.1

Fig. 9 Emissioni CO₂ in Germania. Fonte: SRU (2005)

3. L'approccio Input Output per la valutazione degli effetti ambientali

L'approccio Input Output è stato esteso per includere anche le variabili ambientali sin dai primi anni sessanta. All'interno della vasta letteratura sorta in questi ultimi cinquant'anni possiamo enucleare tre filoni. Il primo è quello che analizza gli effetti di una riduzione dell'inquinamento con l'introduzione di un nuovo settore nella matrice delle interrelazioni industriali. Questo modello, introdotto inizialmente dallo stesso Leontief (1970), richiede di esplicitare una tecnologia aggiuntiva relativa a questa nuova industria, nonché i suoi flussi di vendita o, per meglio dire, l'ammontare del nuovo "prodotto" richiesto da tutti gli altri settori e dalle componenti della domanda finale. È evidente che quest'approccio non è appropriato nel nostro caso, in quanto stiamo semplicemente ipotizzando che un nuovo tipo di prodotto (l'auto elettrica) sia parzialmente sostituito ad uno vecchio (l'auto con motore a scoppio).

Un approccio più ampio considera non un solo settore aggiuntivo, ma una vera e propria matrice relative ad un nuovo ecosistema, sfruttando ancora l'ipotesi di linearità tra le variabili economiche e quelle ecologiche (Miller e Blair, 2009). Come si può intuire, si tratta di un modello che può essere molto più dettagliato e completo, ma che richiede uno sforzo notevole per poter essere implementato e fornisce risultati decisamente soggetti ad ampi margini di errore. Per i nostri scopi è sufficiente ipotizzare che, all'interno del modello Input Output tradizionale, si modifichi:

- 1) il bene domandato;
- 2) il bene prodotto;
- 3) il suo impatto ambientale diretto.

Il primo punto non richiede l'introduzione dell'approccio Input Output ma, anzi, ne è in parte il presupposto in quanto coinvolge la domanda finale. Infatti, l'effetto diretto riguarda l'acquisto e l'uso del veicolo e la domanda finale deve esplicitare anche le componenti relative all'impiego dello stesso. Per semplicità, ipotizziamo che siano solo le famiglie a domandare i mezzi di trasporto. Per quanto concerne le componenti del vettore dei consumi, che si modificano in seguito all'utilizzo delle auto elettriche o convenzionali, facciamo ancora riferimento all'analisi di Leurent e Windisch (2015). Il loro studio si basa essenzialmente su dati del 2007 e 2011 riferiti a Renault e Nissan, due dei maggiori player nel mercato automobilistico europeo, soprattutto nelle classi inferiori: *"we have kept base 2007 to evaluate the physical effects and social effects in terms of volume of activity, but have as far as possible used 2011 values for the shift from volumes to values"* (Leurent e Windisch, 2015, p. 55).

La nostra ipotesi di lavoro è proprio relativa ad una modificazione nella domanda delle piccole utilitarie, che più facilmente può traslare da quelle convenzionali (ICV) a quelle elettriche (EV). *"Our standard ICV is a segment B diesel car, with above average annual mileage: the model is inspired by the Renault Clio, with average fuel consumption of 5 litres of diesel per 100 km. The main inspiration for the EV model is the Renault Zoe, assuming consumption of 15.5 kWh per 100 km travelled and losses of 15% during recharging. Energy consumption is valued exclusive of tax at €0.70 per litre of diesel and €0.09 per kWh for electricity. We valued maintenance at €800 per year for the ICV and €500 per year for the EV, exclusive of tax. Insurance is rated at €440 per year for the ICV and €330 per year for the EV, based on recent insurance quotes, again exclusive of VAT"* (Leurent e Windisch, 2015, p. 56). Dai dati esposti nella tabella 2, emerge chiaramente come l'auto elettrica risulti molto più economica

nell'uso, visto che quella alimentata con gasolio comporta un esborso annuo superiore di oltre il 63%, soprattutto a causa del maggior costo del propellente e della manutenzione. Naturalmente, il contraltare è il costo del veicolo, che questi autori individuano in €14.600 per la Renault Clio 3 Diesel e €23.600 per la Zoe, ovvero il 38% in più. Se assumiamo, come fanno Leurent e Windisch, gli usuali dieci anni per l'utilizzo completo del mezzo, *ceteris paribus*, il tasso interno di rendimento è del 4,7%. Tuttavia, questi autori non considerano il differente valore degli esborsi nel tempo e semplicemente moltiplicano per dieci il costo annuo di servizio. Scontando, invece, i pagamenti futuri con un tasso del 3% il costo complessivo attualizzato per l'impiego di questi piccoli mezzi è pari a €15.507 per la Clio e €9.501 per la Zoe.

È anche evidente la necessità di un'accurata analisi di sensitività. Un aumento del prezzo del gasolio che passa, ad esempio, a €1 al litro comporta un incremento di quasi il 43% del costo diretto di viaggio. Questo può alterare di molto la scelta nella decisione d'acquisto se tale variazione è percepita come permanente, in quanto il maggiore esborso è atteso perdurare per tutta la vita del veicolo. Sempre in questo esempio, il costo totale di utilizzo non scontato passa da €17.650 a €19.990, che è quasi il doppio di quello dell'auto elettrica, mentre quello scontato al 3% sale a €17.484 anziché €15.507 con il gasolio a €0,7 come ipotizzato da Leurent e Windisch. Ovviamente anche il tasso di sconto è una variabile rilevante ed un incremento al 6% controbilancia quasi perfettamente l'aumento del costo del carburante, visto che, in questo caso, il valore scontato complessivo si attesta a € 15.525, che è molto simile a quello esposto nella tavola 2.

Tav. 2 Costo utilizzo di un'auto convenzionale (diesel) ed elettrica
Fonte: Leurent and Windisch (2015)

	Diesel	Elettrica	Differenza
Manutenzione	800	500	60.0%
Assicurazione	440	330	33.3%
Chilometraggio (km)	15000	15000	
Consumi per 100 km	5 lit	18 kWh	
Prezzo energia per unità	0.7	0.0931	
Costo energia	525	251	109.1%
Costo gestione anno	1765	1081	63.3%
Costo gestione 10 anni ($i = 0$)	17650	10814	
Costo gestione 10 anni ($i = 3\%$)	15507	9501	
Prezzo acquisto	14600	23600	-38.1%
Costo totale ($i = 0$)	32250	34414	-6.3%
Costo totale ($i = 3\%$)	30107	33101	-9.0%

Nelle nostre simulazioni assumiamo questa specificazione per la domanda finale. L'impatto complessivo può essere rilevante se consideriamo che, secondo l'Accea, nel 2007 le vendite di automobili in Europa sono state, nella classe di appartenenza, poco oltre i 5,5 milioni, di cui 382.000 Clio (i dati del 2011 si attestano rispettivamente a 5,3 milioni e 304.000). Quindi, la domanda finale realizzata in dieci anni è pari a circa 12,3 miliardi di euro per le sole Clio, che sale a 177 miliardi se assumiamo il costo di questa piccola utilitaria come valore rappresentativo dell'intera classe. Un passaggio *tout court*

all'auto elettrica prodotta dalla Renault comporterebbe un impatto superiore del 6,7% ovvero rispettivamente 13,1 e 189 miliardi di euro.

Per quanto concerne l'inquinamento diretto, la situazione è lapalissiana nel caso dell'auto elettrica, in quanto le emissioni sono pressoché nulle. Come abbiamo visto, l'unico impatto atmosferico è quello dovuto al rimescolamento delle polveri presenti a terra tramite il moto del veicolo ed alle perdite dell'impianto di condizionamento. Al contrario, il modello Clio 1.5 dCi ufficialmente emetteva dai 117 ai 123 g/km nel 2007 (la media tra tutte le versioni è 148,2 g/km secondo <http://www.car-emissions.com/cars/model/Renault/Clio/2007>), mentre quattro anni dopo le emissioni del nuovo motore diesel erano scese a 106 g/km per la versione meno inquinante ed erano invariate per le altre (in media 145,9 g/km). Non mancano però versioni più sportive con livelli che toccano i 195 g/km (addirittura 209 g/km nel 2007, ma sempre con un motore a benzina di 2000cc particolarmente grintoso) ed una più ecologica, sempre con motore 1.5 dCi, con soli 94 g/km. Come si può intuire la forbice dei possibili valori dell'inquinamento delle Clio è piuttosto ampia, perché possiamo andare dalla situazione ecologicamente più accettabile, con motori Eco che producono circa 658.793 tonnellate di CO₂ nel 2007, sino al caso estremo con quasi 1,2 milioni di tn per la versione sportiva. In realtà, l'impatto è, in media, di 848.984 tn nel 2007 e di 664.969 tn nel 2009. Questi valori scendono rispettivamente a 704.622 tn e 560.598 tn se ci riferiamo esclusivamente alle motorizzazioni diesel. Queste emissioni incidono poco sul totale europeo. Infatti, le immatricolazioni delle nuove Clio ammontano ad appena lo 0,12% del parco auto nel 2011 (0,16% nel 2007) e, anche se prendiamo questo tipo di vettura come rappresentativo del segmento B, l'inquinamento delle nuove auto di questo segmento pesa solo per l'1,81% su quello di tutti i veicoli in circolazione. Nondimeno, non possiamo non notare l'estrema variabilità di questi risultati, che pone un importante *caveat* alle analisi che vogliono esprimere in un singolo indicatore o numero il confronto tra l'auto elettrica e quella convenzionale. Quindi, nella parte conclusiva di questo lavoro, procediamo al confronto dell'impatto, in termini di emissioni di CO₂, tra la Zoe e la migliore Clio attualmente disponibile sul mercato.

È noto che una metodologia corretta deve tener conto anche della fase di estrazione, produzione e distribuzione dei combustibili necessari per alimentare le automobili con motore a scoppio o produrre e distribuire l'energia per muovere quelle elettriche. Quest'analisi, detta anche *Well-to-Wheel*, deve includere tutte le possibili alimentazioni e fonti di produzione dei combustibili convenzionali e soprattutto il mix elettrico con le diverse fonti energetiche che possono, in realtà, solo spostare l'inquinamento atmosferico (Holland *et al.*, 2015). Ma anche questo è un approccio limitato, poiché non prende in esame la produzione delle componenti del veicolo, il loro assemblaggio, il riciclo di parte di queste e lo smaltimento delle rimanenti (Danielis, 2015b). La *Life Cycle Environmental Impact* (LCA) aggiunge queste fasi all'analisi esplodendo l'automobile nelle sue componenti principali e tracciandone l'impatto complessivo. Si tratta di un aspetto esiziale, in quanto è proprio la produzione e lo smaltimento della batteria il costo differenziale maggiore dell'auto elettrica. In estrema sintesi, una corretta LCA deve esplicitare tutte le fasi che la costituiscono: acquisizione delle risorse naturali, la loro trasformazione, l'assemblaggio delle componenti per la realizzazione del veicolo, l'uso dello stesso, il riciclo delle componenti riutilizzabili, lo smaltimento delle rimanenti. Le cosiddette analisi *Well-to-Wheels* ignorano le ultime due poiché le emissioni da stimare sono soggette ad un'elevata variabilità, ma ciò è un problema proprio per la valutazione dell'impatto delle auto elettriche considerato che la batteria

esausta non è riciclabile. Inoltre, “LCA models in literature are not consistent. As mentioned above, though a comprehensive LCA model should include all five stages, most do not. For example, in addition to “Well-to-Wheels Analyses”, researchers will also refer to a “Pump-to-Wheels Analysis”, also called a “Tank-to-Wheels Analysis”. This also is not a true life cycle analysis and only examines the service life phase. Beginning with the moment fuel is pumped into a vehicle, the emissions are measured and recorded. It is this type of analysis that is currently used when modeling gasoline vehicle emissions” (Walker e Tawfik, 2015, p. 9).

Tuttavia, anche se sono già state individuate numerose *pathways* (oltre un centinaio per i soli combustibili nel noto modello GREET sviluppato dal Dipartimento dell’Energia statunitense e dall’Argonne National Laboratory) si tratta pur sempre di una delimitazione dell’area d’indagine, in quanto si potrebbe continuare a ritroso ed esaminare le fasi ancora più a monte e a valle (Danielis, 2015b). I modelli Input Output ambientali possono prendere in esame tutte queste interrelazioni, anche se devono sviluppare l’analisi in modo meno fine e particolareggiato. Per quanto riguarda la produzione dei veicoli, questo punto è già stato discusso nel dettaglio in Gregori (2015) a cui rimandiamo. Da quello studio traiamo i valori relativi alla struttura dei costi e degli input della Clio diesel (CV) e della Zoe con motore elettrico (EV). Le colonne immediatamente alla destra dei costi, ovvero a_{ic}^{LC} e a_{ic}^{LE} si riferiscono ai coefficienti individuati da Leurent e Windisch (2015).

Table 4 : Struttura costi ed input produttivi: CV vs EV

	CV	a_{ic}^{LC}	EV	a_{ic}^{LE}
Electric vehicle construction			3350	
Manufacture of IC vehicle	4350		0	
Car manufacturing	4350	29.79%	3350	14.19%
Electrical and electronic equip.	321	2.20%	10321	43.73%
Metals and metalworking	1742	11.93%	1742	7.38%
Automotive equipment	1341	9.18%	1341	5.68%
Financial, real estate, rental	1105	7.57%	1105	4.68%
Chemicals, rubber, plastics	1084	7.42%	1084	4.59%
Services to companies	823	5.64%	823	3.49%
Machinery	770	5.27%	770	3.26%
Consumer goods	433	2.97%	433	1.83%
Electrical and electronic comp.	271	1.86%	271	1.15%
other items	879	6.02%	879	3.72%
Value added	1481	10.14%	1481	6.28%
Total	14600		23600	

Fonte: Leurent e Windisch, 2015, Exiobase _1

A questo punto possiamo procedere con le simulazioni, in cui prendiamo in esame i due tipi di autovetture. Le emissioni totali di CO₂ nel caso della Clio ammontano complessivamente a circa 22,8 tn, mentre quelle della Zoe totalizzano 31,8 tn. Di queste ultime il 30% è relativo alla produzione di elettricità utilizzato direttamente dal mezzo per la propulsione (9,8 tn). Ciò implica un mix energetico da 354 g/kWh, non lontano dal valore individuato da Rusich e Danielis (2015). Si tratta però di una quota molto bassa, decisamente distante dalle stime di Next Green Car che applica il modello GREET. Se il valore dell’uso di energia del veicolo è corretto, è evidente che il *Life Cycle Model* dimentica molte interrelazioni presenti all’interno del sistema economico.

Inoltre, come osserva Gregori (2015), la tecnologia presentata da Leurent e Windisch (2015) è discutibile, in quanto assegna troppo peso agli input intermedi e poco all'utilizzo dei fattori primari, visto che la quota del valore aggiunto è appena del 6,28%. Ciò può provocare un aumento eccessivo dell'output in tutti gli altri settori dell'economia e, nel contempo, sovrastimare le emissioni dell'auto elettrica.

Al contrario, appare troppo basso il valore dell'inquinamento del motore a scoppio. Infatti, sulla base dei dati della tavola 2 e dei coefficienti individuati da Exiobase, il contributo diretto dell'uso del gasolio è di appena 3,82 tn, dato ben lontano anche da quello più ottimistico pari a 12,3 tn ottenuto moltiplicando il chilometraggio totale per le emissioni dell'auto con impatto minore (Clio 1.5 dCi Dynamique Nav 90 ECO). Per non parlare delle 22 tn relative alle versioni più inquinanti in commercio nel 2007. Insomma, anche nella migliore delle ipotesi, le circa 8.5 tn che dobbiamo aggiungere per avere un valore più ragionevole delle emissioni del veicolo convenzionale portano quelle totali a livelli pressoché simili. In sintesi, al netto della valutazione del riciclo e dello smaltimento delle componenti inutilizzabili, il confronto sembra essere sostanzialmente pari. Da una parte, dobbiamo ammettere che i costi di smaltimento delle batterie elettriche sono elevati ma, dall'altro, è anche vero che l'inquinamento indotto negli altri settori dalla loro produzione è probabilmente sovrastimato. In sintesi, non è possibile esprimere un giudizio univoco sul maggiore o minore inquinamento di queste piccole utilitarie francesi e tanto meno sull'impatto totale del possibile passaggio *tout court* all'auto elettrica nel segmento B.

5 - Conclusioni

Le conclusioni di questo lavoro non sono molto soddisfacenti. Dalla discussione dei trend presentati in queste pagine è emersa chiaramente la necessità di ridurre le emissioni delle automobili, soprattutto nei paesi europei. Questo è ciò che sta avvenendo con l'introduzione di normative sempre più stringenti, che però talvolta vengono disattese da comportamenti, anche fraudolenti, attuati da alcune case costruttrici. È però innegabile che, negli ultimi quindici anni, c'è stato un sostanziale progresso nelle tecnologie con un abbattimento degli inquinanti per autovettura, soprattutto in Europa. Questo miglioramento è stato controbilanciato da un parco auto crescente, almeno sino alla recessione del 2009 ed alla successiva crisi dell'eurozona. Tuttora il settore dei trasporti è uno di quelli che contribuiscono di più ai gas serra. Ciò giustifica le azioni intraprese dai policy maker europei e pone la questione sulla necessità di decisioni ancora più radicali come un maggior utilizzo di veicoli alternativi. La questione se i veicoli elettrici siano preferibili a quelli convenzionali è molto dibattuta e controversa, come illustra anche questo numero di Repot. In queste pagine abbiamo proposto un confronto che prende spunto da una recente analisi costi benefici relativa a due piccole utilitarie francesi. Questi veicoli sono abbastanza rappresentativi delle automobili del segmento B ed il raffronto può contribuire al dibattito su quale mezzo di trasporto è meno impattante. Le conclusioni sono ben lontane dall'essere univoche. Dai dati tratti da Exiobase è meno inquinante il veicolo con motore a scoppio di quasi il 40%. Questo risultato non sembra dipendere dall'energy mix utilizzato per ricaricare le batterie, che è in linea con quanto individuato da Rusich e Danielis (2015). Al contrario, la tecnologia produttiva specificata da Leurent e Windisch penalizza l'auto elettrica perché attribuisce un peso eccessivo agli input intermedi. Ciò aumenta di molto la produzione indotta dalla domanda finale e produce a cascata un maggiore impatto di

tutti gli altri settori industriali. Infine, non sembra per nulla corretto il valore delle emissioni dirette del motore diesel derivato dalla Extended Input Output Analysis. Questo è appena il 30% di quello calcolato semplicemente moltiplicando il chilometraggio totale per il dato ufficiale delle emissioni. Correggendo opportunamente i risultati, in modo da tener conto di questi fattori, si ottiene un sostanziale pareggio. Inoltre, è sufficiente ritoccare un parametro, come il tasso di sconto dei pagamenti futuri od il prezzo atteso della benzina, per mutare sostanzialmente il quadro e modificare la risposta alla domanda di questo lavoro. È evidente che in questo contesto è essenziale condurre uno studio Monte Carlo per valutare quale autovettura sia preferibile. Ciò sarà oggetto di un successivo lavoro.

Bibliografia

- Danielis, R. (2015a) “La diffusione dell’auto elettrica: uno sguardo a livello mondiale”, in R. Danielis (ed.) *L’auto elettrica come innovazione radicale: scenari di penetrazione di mercato e ricadute economiche e sociali*, EUT, Trieste, 2015.
- Danielis, R. (2015b) “Inquinano maggiormente le auto elettriche o le auto convenzionali? Stime recenti, variabili determinanti e suggerimenti di politica dei trasporti”, *Rivista di Economia e Politica dei Trasporti*, questo numero.
- EEA (2015) “*Monitoring CO₂ emissions from new passenger cars and vans in 2014*”, EEA Technical Report n. 16/2015, Copenhagen, Denmark.
- Gregori, T. (2015) “Environmental impact of electric car production shifts”, in R. Danielis (ed.) *L’auto elettrica come innovazione radicale: scenari di penetrazione di mercato e ricadute economiche e sociali*, EUT, Trieste, 2015.
- EPA (2000) “Emission Facts”, Office of Transportation and Air Quality, Ann Arbor, MI.
- EPA (2008) “*Average Annual Emissions and Fuel Consumption for Gasoline-Fueled Passenger Cars and Light Trucks*”, Office of Transportation and Air Quality, Ann Arbor, MI.
- EPA (2014) “*Light-Duty Automotive Technology, Carbon Dioxide Emissions, and Fuel Economy Trends: 1975 Through 2014*”, Office of Transportation and Air Quality, Ann Arbor, MI.
- EPA (2015) “*Light-Duty Automotive Technology, Carbon Dioxide Emissions, and Fuel Economy Trends: 1975 Through 2015*”, Office of Transportation and Air Quality, Ann Arbor, MI.
- Fondazione Caracciolo (2006) *Mia carissima auto. La spesa delle famiglie per l’automobile*, Centro Studi Fondazione Filippo Caracciolo, Roma.
- Hill, N., Hazeldine, T., von Einem, J., Pridmore, A., Wynn, D., (2009) “*EU transport GHG: Routes to 2050? Alternative Energy Carriers and Powertrains to Reduce GHG from Transport*”, Paper 2 produced as part of contract ENV.C.3/SER/2008/0053 between European Commission Directorate-General Environment and AEA Technology plc; <http://www.eutransportghg2050.eu>.
- Holland, S.P., Mansur, E.T., Muller, N.Z., Yates, A.J. (2015) “*Are There Environmental Benefits from Driving Electric Vehicles? The Importance of Local Factors*”, NBER Working Paper No. 21291, June, <http://www.nber.org/papers/w21291.pdf>
- IEA (2015) “*CO₂ Emissions from fuel combustion Highlights*”, Paris, France.

- ICCT (2014) “*From laboratory to road. A 2014 update of official and “real world fuel consumption and CO₂ values do passengers cars in Europe*”, Berlin, Germany.
- Kågeson, P. (2005) “*Reducing CO₂ Emissions from New Cars. A progress report on the car industry's voluntary agreement and an assessment of the need for policy instruments*”, T&E – European Federation for Transport and Environment, Brussels, Belgium.
- Leurent, F., Windisch, E. (2015) “Benefits and costs of electric vehicles for the public finances: An integrated valuation model based on input e output analysis, with application to France”, *Research in Transportation Economics*, 50(Agosto), pp. 51-62.
- Leontief, W. (1970) “Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach”, *Review of Economics and Statistics*, 52(3), pp. 262–271.
- Messagie, M. Boureima, F. S., Coosemans, T., Macharis, C., Van Mierlo, J. (2014) “A Range-Based Vehicle Life Cycle Assessment Incorporating Variability in the Environmental Assessment of Different Vehicle Technologies and Fuels”, *Energies*, 7(3), pp. 1467-1482.
- Miller, R., Blair, P. (2009) *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- 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(Agosto), pp. 3-16.
- Suh, S. (2009) *Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology*, Springer, Heidelberg.
- SRU (2005) “*Reducing CO₂ Emissions from Cars*”, German Advisory Council on the Environment, Berlin, Germany.
- Tukker, A., de Koning, A., Wood, R., Hawkins, T., Lutter, S., Acosta, J. Rueda Cantuche, J.M., Bouwmeester, M., Oosterhaven, J., Drosdowski, T., Kuenen, J. (2013) “EXIOPOL—Development and illustrative analyses of a detailed global MR EE SUT/IOT”, *Economic Systems Research*, 25(1), pp. 50–70.
- Wood, R., Stadler, K., Bulavskaya, T., Lutter, S., Giljum, S., de Koning, A., Kuenen, J., Schütz, H., Acosta-Fernández, J., Usubiaga, A., Simas, M., Ivanova, O., Weinzettel, J., Schmidt, J.H., Merciai, S., Tukker, A. (2015) “Global sustainability accounting-developing EXIOBASE for multi-regional footprint analysis”, *Sustainability*, 7(1), pp. 138-163.
- Walker C., Tuwfiq, A. (2015) “*Vehicle Emissions and Life Cycle Analysis Models of Gasoline and Electric Vehicles*”, 2015 International Emission Inventory Conference "Air Quality Challenges: Tackling the Changing Face of Emissions", San Diego, California.