

R.E.Po.T.
Rivista di
Economia e
Politica dei
Trasporti

Anno 2015, Numero 3

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



ISSN 2282-6599



I veicoli elettrici, strumento ambiguo di riduzione delle emissioni di CO₂, fra determinanti tecnologiche e paradossi della regolazione

Jérôme Massiani^{1*}

Marco Byloos¹

¹ *Università Ca' Foscari*

Riassunto

I veicoli elettrici sono spesso percepiti come un'opportunità per ridurre le emissioni nel settore dei trasporti. Molti documenti in ambito politico e scientifico affermano l'esistenza di benefici pur tenendo in considerazione le emissioni legate alla produzione elettrica. In questo articolo mettiamo a scrutinio tali affermazioni e giungiamo a una conclusione contrastante.

Prendiamo in considerazione gli elementi di natura tecnologica e regolatoria che portano a una stima decisamente più elevata di quelle generalmente presentate e inoltre superiore a quella dei veicoli convenzionali. Incidono significativamente le emissioni in fase di costruzione e smaltimento e, in maniera meno evidente, l'effetto del regolamento europeo 443 che consente ai costruttori, tramite un meccanismo di compensazione, di aumentare nella stessa misura, le emissioni della flotta dei veicoli convenzionali quando immettono sul mercato veicoli considerati a "zero emissioni". Anche se in una prima fase, transitoria della regolazione, quando i limiti di emissioni sono ancora alti, questi meccanismi non si attivano, a medio lungo termine, invece, la regolazione ha effetti collaterali significativi che fanno più che compensare l'effetto del regolamento sulle emissioni di CO₂, detto European Trading System (ETS), che impedisce emissioni addizionali nelle centrali energetiche.

Tenendo in considerazione questi diversi elementi, si stimano emissioni nell'ordine di grandezza di 140-190 g CO₂eq/km, superiori ai livelli registrati per i veicoli convenzionali. Nel contesto regolatorio e tecnologico in via di formazione, le auto elettriche non appaiono dunque come uno strumento efficace di riduzione delle emissioni di CO₂.

Parole chiave: Veicoli elettrici, Emissioni CO₂, Regolamento 443/2009

* Autore a cui spedire la corrispondenza: Jérôme Massiani (j.massiani@unive.it)

1. Introduzione

I veicoli elettrici attraggono l'interesse della politica e del grande pubblico per i loro supposti vantaggi in termini di autosufficienza energetica, di risposta all'esaurimento delle fonti fossili e di minore impatto ambientale. In particolare, gli E.V. (*Electric Vehicles*) sono generalmente promossi dai media (Massiani 2015b), dai costruttori¹, e dal settore pubblico, nonché dal senso comune, sensibile all'assenza di emissioni "tailpipe". Tali benefici in termini di emissioni sono supportati da diversi risultati scientifici prodotti in Italia e, dunque, una politica a favore dei veicoli elettrici sembrerebbe univocamente favorevole all'ambiente, almeno per quanto riguarda le emissioni di CO₂eq.

Tuttavia, un'analisi più approfondita dei determinanti tecnologici e regolatori che governano lo sviluppo dei veicoli elettrici mette in evidenza una serie di particolarità che producono risultati contrari a queste intuizioni. **In Italia, come in altri paesi europei, quando le regolazioni esistenti producono i loro pieni effetti, la sostituzione di veicoli convenzionali con EV aumenta le emissioni di CO₂eq.**

Per mostrare questi risultati, in una prima sezione, scrutiamo le diverse stime attualmente disponibili e mettiamo in evidenza la frequente omissione di diverse determinanti rilevanti nel calcolo delle emissioni. In una seconda sezione, costruiamo una stima che corregge queste omissioni. Successivamente, utilizziamo stime realistiche delle emissioni in centrale (dettagliate in un altro articolo: Massiani et Byloos, forthcoming) e le restituiamo in un contesto più ampio nel quale, oltre alla considerazione concettualmente triviale, ma empiricamente ardua, delle emissioni in fase di costruzione, si manifestano degli effetti indiretti legati alla regolazione vigente (*European Trading System e Corporate Average Fleet Emissions*) che rovesciano le conclusioni sui benefici attesi dei veicoli elettrici.

2. Dei risultati favorevoli ma che ignorano aspetti fondamentali

I risultati della quasi totalità degli studi riguardanti l'Italia, riportano valori di emissioni esigui e comunque molto inferiori ai valori corrispondenti dei veicoli convenzionali; solo (Wilson 2013), in una pubblicazione non referata, presenta risultati meno ottimistici. Nelle seguenti sottosezioni si esaminano queste quantificazioni e successivamente mettiamo in evidenza le diverse omissioni o semplificazioni ivi presenti.

2.2 I risultati disponibili convergono a stime inferiori alle emissioni dei veicoli tradizionali

La Tabella 1 presenta i risultati disponibili sulle emissioni dei veicoli elettrici in Italia. Sono inoltre indicati anche il metodo utilizzato per valutare le emissioni in centrale (frequentemente il mix energetico nazionale) e la fonte utilizzata per il dato che più

¹ "100% emissions free", "...yields zero tailpipe emissions without compromising style...", "Zero emissions. Nothing. Not a puff" slogan dei produttori di autoveicoli registrati in giugno 2015 sui rispettivi siti internet:
<http://emobility.volkswagen.com/int/en/private/cars/eGolf.html>
<http://www.fiatusa.com/en/500e/>
<http://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/features/>

fondamentalmente determina il risultato (in generale, le emissioni medie del mix energetico nazionale).

Tabella 1 - Emissioni degli EV in Italia : metodi e risultati

Studio	Metodo	Emissioni		
		in centrale g/kWh (fonte)	in fase di uso g CO ₂ eq/km (anno di riferimento)	totali g CO ₂ eq/km (anno di riferimento)
Menga e Ceraolo (2008)	Mix energetico	375 (fonte: ENEL)	55 (2010)	-
Perujo e Ciuffo (2009)		194 (fonte: elaborazione su base dati EEA e TERNA)*	40 (2009)	-
Wilson (2013)**		389,9 (fonte: IEA)	100 (2010)	170 (2010)
Rusich e Danielis (2013)		340 (fonte: EPA)	64 (2013)	-
M. Benini et al. (2010)	Micro simulazione (modelli MATISSE e MTSIM)		68 (2030)	-

“-“ non disponibile

*Elaborazione computata moltiplicando le percentuali di uso annuale delle fonti (TERNA) con i fattori di emissione (EEA), questo dato si discosta enormemente dalle altre stime energetiche fornite da altre fonti come l'IEA.

**Presentiamo la stima di (Wilson 2013) riguardante l'Italia.

Tali risultati indicano emissioni, legate all'uso, **di gran lunga inferiori a quelli dei veicoli convenzionali** (117,8 gCO₂e/km di emissioni tailpipe nel 2014 (ANFIA 2015), ai quali aggiungere circa 20 g. per le emissioni WTT (Edwards, et al. 2014)). Unica eccezione riguarda i risultati di Wilson che comprendono le emissioni dirette e indirette delle centrali, le perdite di rete e le emissioni di fabbricazione (Wilson 2013). La quasi totalità dei risultati appaiono a supporto di politiche a favore dei veicoli elettrici. Vediamo ora perché tali risultati si basano su importanti semplificazioni tali da renderli sostanzialmente fuorvianti.

2.3 Le emissioni, una questione più complessa di quella delle wheel-to-tank

Molte stime presenti nel dibattito pubblico si riferiscono al concetto di zero emissioni, forse valido per un approccio *tank-to-wheel* (dal serbatoio alla ruota). In contrasto molti approcci disponibili in ambito scientifico insistono sugli aspetti *well-to-tank* (dal pozzo al serbatoio). Ora si può mettere in evidenza che tale approccio è a sua volta insufficiente.

Per realizzare una stima realistica e complessiva delle emissioni è necessario rispettare tre tipi di condizioni.

1. Le prime vertono sul **calcolo delle emissioni in centrale** che difficilmente possono basarsi su emissioni medie ma dovrebbero riconoscere:

1.1 la natura marginale oppure addizionale, piuttosto che media, dell'energia richiesta da veicoli elettrici. Le emissioni delle tecnologie "*must run*", la cui attivazione non risponde a variazioni di breve termine della domanda ma a cicli di manutenzione (come, nei paesi dove si applica, il nucleare), o quelle esogene, come il solare o l'eolico, non possono, a corto e medio termine, rispondere a una richiesta energetica addizionale: non aumenta l'esposizione al sole quando macchine elettriche vengono attaccate alla rete. Anche a lungo termine, non è la tecnologia media che è attivata, ma quella costruita al margine (in particolare, il gas naturale nell'ultimo episodio osservato di crescita della domanda nei paesi europei). In ogni caso, si dovrebbe verificare se l'utilizzo dell'elettricità "media" sia un'approssimazione soddisfacente alla vera risposta del sistema energetico.

1.2 la distribuzione temporale della richiesta energetica addizionale dei veicoli elettrici. Una sollecitazione marginale del sistema elettrico lo impatta diversamente in funzione del livello di attività preesistente, che è variabile secondo le ore del giorno, i giorni della settimana, e le stagioni. Aggiungere una domanda di energia in un periodo dove alcune tecnologie sono già saturate, implica che altre tecnologie, secondo regole d'impegno sintetizzate dalla così detta curva di merito, debbano essere attivate. Ora, la mancata considerazione di tale aspetto può portare a risultati ingannevoli, soprattutto considerando il carattere pro-ciclico delle ricariche EV (la domanda massima impatta il sistema nell'ora di punta di fine giornata).

2. Altre condizioni riguardano il **contesto tecnologico**:

2.1 - La considerazione, concettualmente triviale, ma empiricamente complessa delle emissioni in fase di costruzione e di smaltimento dei veicoli. La consultazione di alcune ricerche in materia (Notter, et al. 2010) (Patterson, Alexander e Gurr 2011) (Hawkins, Bhawna e Majeau-Bettez 2013) suggerisce un'incidenza pressoché doppia rispetto ai veicoli convenzionali. Questo è un'aspetto complesso su cui la letteratura sta crescendo.

2.2 - Le perdite di trasmissione (8%)² e di ricarica (12%)³ che riducono il numero di chilometri percorso per ogni chilowattora emesso in centrale. Tale elemento appare assente in diverse stime.

3. Infine si deve considerare il **contesto regolatorio**:

3.1 In primo luogo, il regolamento ETS (European Trading System) impone un cap, ossia un tetto, sulle emissioni di alcuni settori, incluso il settore energetico. In tale

² General data for 2013 available from TERNA website, statistics and forecast section

³With 20°C and full battery recharge, otherwise is up to 20% less, (Forward, Glitman e Roberts 2013)

contesto, i consumi legati a nuovi usi dell'elettricità si devono sostituire ad altri, senza che siano complessivamente aumentate le emissioni di questi ultimi settori.

3.2 Il regolamento EU 443/2009 ispirato ai meccanismi della *Corporate Average Fuel Emissions* fa ormai parte del contesto decisionale prevalente nell'industria automobilistica. In una situazione transitoria, le emissioni possono essere inferiori ai massimi fissati dal regolamento (130 g fino la 2020), e quindi non si producono effetti reali (e, logicamente, nemmeno effetti indiretti). Ma a medio-lungo termine, quando il vincolo diventa stringente (si consideri l'abbassamento del limite a 95g proposto per il 2020) i costruttori devono interiorizzare i meccanismi di compensazione dando luogo a un mercato interno (e non solo) delle emissioni dove si confronta il costo marginale di riduzione delle emissioni regolatorie fra varie tecnologie. Tale meccanismo sembra tuttavia assente in molte analisi pubblicate in diversi ambiti, mentre può provocare effetti potenti e molto contro intuitivi. E così apparso in lavori passati, che i principali beneficiari di alcune politiche di sostegno alle vetture elettriche possono essere i paesi esportatori di petrolio (Massiani 2015)⁴.

Ora, per motivi che non riguardano la qualità dei singoli contributi ma rispecchiano specializzazione delle diverse ricerche e/o si spiegano per l'evoluzione intercorsa della tecnologia o della regolazione, molti studi disponibili si concentrano su alcuni aspetti del fenomeno tralasciandone altri (Tabella 2)⁵. Questi risultati consentono tuttavia di disporre di diversi tasselli del mosaico che si possono assemblare per giungere a un'immagine più complessiva come faremo nelle sezioni successive di questo articolo.

⁴ Questi risultati, elaborati nel modello EMOB, sulla base delle informazioni disponibili nel 2010-11 prevedevano che la regolazione 443 fosse stata vincolante già dal 2015. L'evoluzione successivamente osservata, suggerisce invece che gli effetti sulle importazioni si sarebbero prodotti solo dopo un ulteriore abbassamento del tetto (ad esempio a 95 g. nel 2020). L'effetto previsto sulle esportazioni dei produttori di petrolio, potrebbe, se i dati del modello fossero aggiornati con elementi più recenti, essere di minore entità rispetto a quello anticipato in EMOB.

⁵ In alcuni casi, la compilazione di questa tabella è ostacolata quando gli autori non esplicitano se un fattore sia preso in considerazione. In tale situazione abbiamo considerato se tale considerazione si poteva logicamente dedurre dal testo (ad esempio l'uso del mix energetico è incompatibile con la considerazione della natura addizionale della domanda) e, quando tale deduzione sembrava incerta abbiamo riferito che l'informazione non fosse disponibile.

Tabella 2 - Fattori considerati nei metodi e risultati degli studi sulle emissioni degli EV in Italia

Stima g CO ₂ eq/km (anno) (fonte)	Studio	Produzione di energia		Fattori tecnologici			Regolamento	
		Natura addizionale del consumo	Distribuzione oraria dei consumi	Manif. del veicolo	Efficienza di ricarica	Perdite di rete	ETS	443
55g (2010) (Menga e Ceraolo 2008)	Mix energetico	No ^b	No ^b	No ^c	Nd	Si	No ^c	No ^c
40g (2009) (Perujo e Ciuffo 2009)		No ^b	No ^b	No ^c	Si	Si	No ^c	No ^c
170g (2010) (Wilson 2013)		No ^{ab}	No ^{ab}	Si	Si ^d	Si	No ^c	No ^c
64g (2013) (Rusich e Danielis 2013) ⁶		No ^b	No ^b	No ^c	N ^d	N ^d	No ^c	No ^c
68g (2030) (M. Benini et al. 2010)	Micro simulazione	Si	Si	No ^a	Si ^a	Si ^a	No ^c	No ^c

^a Non esplicitato da parte degli autori ma dedotto logicamente

^b Per scelta metodologica

^c Fuori degli obiettivi dello studio

^d Potrebbe essere compreso nelle "perdite indirette" che vengono distinte dalle "perdite di rete", tuttavia non specificandone precisamente la natura.

Alla luce di questi elementi, appare necessario basarsi su una rappresentazione più complessiva dei consumi dei veicoli elettrici e considerare aspetti tecnologici impattanti come la costruzione o le perdite e, infine, gli effetti delle regolazioni vigenti, quando quest'ultime possono, come vedremo, avere importanti effetti contro-intuitivi.

Ora quantificheremo **come questi elementi siano tali da cambiare radicalmente le conclusioni sulle emissioni dei veicoli elettrici**. Per motivi di spazio, rimandiamo il lettore a un altro nostro articolo (Massiani e Byloos, forthcoming) per quanto riguarda le emissioni in centrale, mentre gli altri aspetti sono discussi nelle sezioni seguenti.

3. Un quadro realistico delle emissioni: regolazione e tecnologia implicano emissioni superiori ai veicoli convenzionali

In questa sezione, mettiamo in evidenza come la considerazione di aspetti tecnologici (costruzione e smaltimento dei veicoli) e regolatori (diminuzione del tetto sulle emissioni imposti dall'ETS e compensazione introdotte dalla 443) portino nel

⁶La stima delle emissioni è largamente basata su: Torchio e Santarelli, Energy, environmental and economic comparison of different powertrain/fuel options using well-to-wheels assessment, energy and external costs – European market analysis, Energy, Volume 35, Issue 10, October 2010, Pages 4156-4171.

complesso ad aumentare le emissioni stimate dei veicoli fino a livelli fortemente superiori ai veicoli convenzionali.

3.2 Le emissioni prodotte durante la costruzione e lo smaltimento dei veicoli elettrici

Vari studi analizzano le emissioni in fase di costruzione (e, per i valori più elevati anche lo smaltimento) per giungere a stime, rapportate alle distanze percorse, comprese fra 45 e 95 g CO₂eq/km (Notter, et al. 2010) (Patterson, Alexander e Gurr 2011) (Hawkins, Bhawna e Majeau-Bettez 2013). Lo smaltimento in particolare, facilmente ignorato nelle stime trattandosi questa di una categoria di veicoli poco diffusa, può incidere anche pesantemente nelle emissioni, tenendo conto anche del limite minimo teorico di riciclo dei materiali (Direttiva End-of-Life-Cycle) del 85% risultante in un circa 15% dei materiali totali utilizzati destinati allo smaltimento. Per la maggior parte di tratta di rifiuti elettronici e speciali difficili da gestire (Patterson, Alexander e Gurr 2011).

Le emissioni da ciclo di vita dei veicoli elettrici risultano in ogni caso maggiori dei circa 34 - 95 g CO₂eq/km generalmente imputati ai veicoli tradizionali⁷ (Notter, et al. 2010) (Patterson, Alexander e Gurr 2011) (Hawkins, Bhawna e Majeau-Bettez 2013) (Aguirre, et al. 2012) (Wilson 2013). Tali emissioni devono dunque essere incluse nella valutazione complessiva. Se dovesse essere considerato solo questo aspetto, in aggiunta alle emissioni su strada, si giungerebbe a emissioni complessive nell'intervallo di 120-190 g CO₂e/km⁸.

3.3 Gli effetti contro intuitivi della regolazione

Alle emissioni in fase di costruzione (e di smaltimento) si aggiungono, almeno per i paesi dove tali regolazioni sono in atto (paesi comunitari, più, per quanto riguarda l'ETS: Islanda, Lichtenstein e Norvegia) effetti indiretti indotti dalla regolazione. Questo comporta due categorie di effetti.

I primi si **collegano al regolamento ETS** (Emission Trading Directive, EU Directive 2003/87/EC) che impone un tetto sulle emissioni di alcuni settori tra i quali quello energetico. In questo contesto, lo sviluppo di una tecnologia che trasferisce richiesta energetica da settori non sottomessi a un tetto di emissioni (come i carburanti) verso quelli "cappati" (come la produzione elettrica) ha come effetto meccanico di azzerare le emissioni corrispondenti. Molto semplicemente, ricaricare un numero maggiore di veicoli elettrici non aumenta la quantità di certificati o diritti ad emissioni disponibili per l'industria. Invece di aumentare le emissioni di CO₂eq, i consumi elettrici dei veicoli a batteria possono portare alla sostituzione di altri consumi per i quali la disponibilità a pagare degli utenti è inferiore. Di conseguenza, le emissioni in centrale generate dai veicoli elettrici sono logicamente nulle⁹. Quanto alla prospettiva che il settore energetico potesse ottenere un aumento dei permessi in presenza di nuovi bisogni per

⁷ la notevole discrepanza dei valori dipende dalle assunzioni degli autori proponenti le stime in fatto di emissioni di produzione considerate e non ultimo il diverso ciclo di vita utile considerato compreso tra i 150.000 e i 300.000km

⁸ dati circa 95 g CO₂/km di emissioni provocate dall'uso del veicolo abbiamo aggiunto gli estremi delle stime delle emissioni di fabbricazione, da 34 a 95 g CO₂/km

⁹ Ma non lo è il loro costo sociale in quanto esiste un'externalità negativa sui consumi elettrici sostituiti.

rispondere all'emergenza di nuovi bisogni, questa sembra contraria alla logica intrinseca dell'ETS. Su questo punto, l'evoluzione storica dei tetti di emissioni esclude sostanzialmente una funzione di risposta del cap a l'evoluzione della domanda di elettricità¹⁰.

I secondi effetti si collegano **alla regolamento 443/2009** (aggiornata nei regolamenti 397/2013e 333/2014) ispirata alla CAFE (*Corporate Average Fleet Emissions*) che impone ai costruttori, o consorzi di essi, di rispettare un livello medio di emissioni di CO₂eq per l'insieme dei veicoli venduti nei diversi paesi europei. In questo calcolo, i veicoli elettrici sono contabilizzati come "zero emissioni"¹¹. Quando la regolamentazione è effettivamente vincolante per i costruttori (ossia quando questi ultimi vorrebbero immettere sul mercato veicoli con emissioni medie superiori al massimo, 130g/km poi 95g/km) la riduzione delle emissioni medie, consentita dall'introduzione di veicoli elettrici, consente un aumento di quelle dei veicoli convenzionali. Questo punto richiede una spiegazione supplementare come illustrato nella sezione successiva.

3.4 Emissioni ottimali e compensazioni in presenza del regolamento 443/2009

Presentiamo prima il quadro nel quale i costruttori scelgono il livello di emissioni dei veicoli in assenza di regolazione, poi analizziamo l'impatto della regolazione.

La situazione pre-443

Il quadro operativo, nel quale i costruttori automobili devono intervenire, è rappresentato dalla Figura 2. Il costruttore deve considerare due aspetti:

1 – la disponibilità a pagare degli acquirenti per una macchina più efficiente. Un veicolo che risparmia un g/km risparmia 0,00042 litro al kilometro, per la durata di vita del veicolo si può stimare un risparmio di circa 100 euro sui consumi ($1 \text{ g/km} * (\frac{1}{2340}) \text{ l/g} * 150\,000 \text{ km} * 1,50 \text{ €/l}$). Sulla base di una meta analisi di studi di Preferenze Dichiarate (Massiani 2012) si può valutare la disponibilità a pagare dell'acquirente a un terzo del risparmio futuro consentito dal veicolo, ossia in questo caso 33 euro¹².

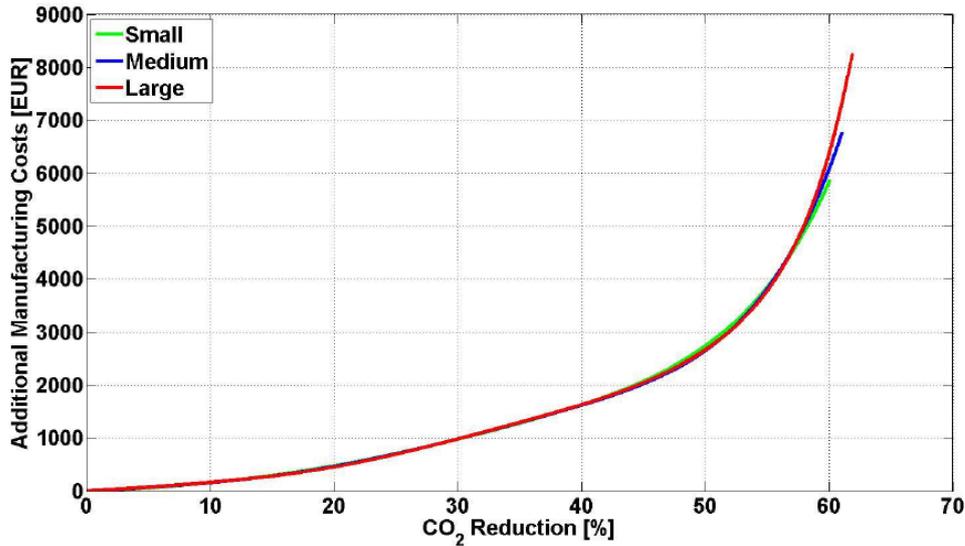
2 – la variazione dei costi di produzione in funzione dei consumi-emissioni dei motori. Produrre un veicolo che emette di meno costa più caro. Inoltre i costi marginali di miglioramenti sono crescenti, come illustrato dalla Figura 1.

¹⁰ Nel primo periodo la somma delle allowance dei diversi paesi era 2298 milioni di tonnellate, 2 080 nel periodo 2008-2012; mentre il terzo periodo prevede una riduzione annua del 1,74% fra il 2013 e il 2020 (Carbon Market Report, 2015).

¹¹ In un primo periodo di applicazione del regolamento questi veicoli contano più degli altri nel calcolo della media, con il sistema dei così detti "super bonus".

¹² Su questo punto esistono risultati divergenti in letteratura (Goldberg, 1998; Knittel et al., 2013) trovano evidenze deboli sulla miopia dei consumatori, mentre (Allcott and Wozny, 2012) suggeriscono coefficienti di attualizzazione intermedi: un dollaro di economia equivale a 76 centesimi sul prezzo di acquisto del veicolo.

Figura 1 – Costi marginali di miglioramento rispetto alle emissioni del 2002 (veicoli a benzina)



Fonte: figura 7 in (TNO 2011)

Se l'asse orizzontale di tale grafico è reimpostato in modo da avere le emissioni crescenti su tale asse, appare una curva decrescente convessa dei costi di produzione in funzione delle emissioni.

Con riferimento ad esempio a uno studio di (TNO 2011) si può fornire un'espressione matematica alla curva $c(e)$. Si parte da una funzione che indica l'aumento dei costi in funzione dei miglioramenti rispetto a un valore di riferimento di 160 g.km.

$$\text{costo}(Imp) = 0,0067(Imp)^3 + 0,1485(Imp)^2 + 11,122(Imp) \quad (1)$$

Sostituendo $e = 160 - Imp$ ossia $Imp = 160 - e$ si ottiene:

$$c(160 - e) = 0,0067(160 - e)^3 + 0,1485(160 - e)^2 + 11,122(160 - e) \quad (2)$$

Ossia,

$$c(e) = c(160) - 31424,32 + 0,0067e^3 - 3,3645e^2 + 573,202e \quad (3)$$

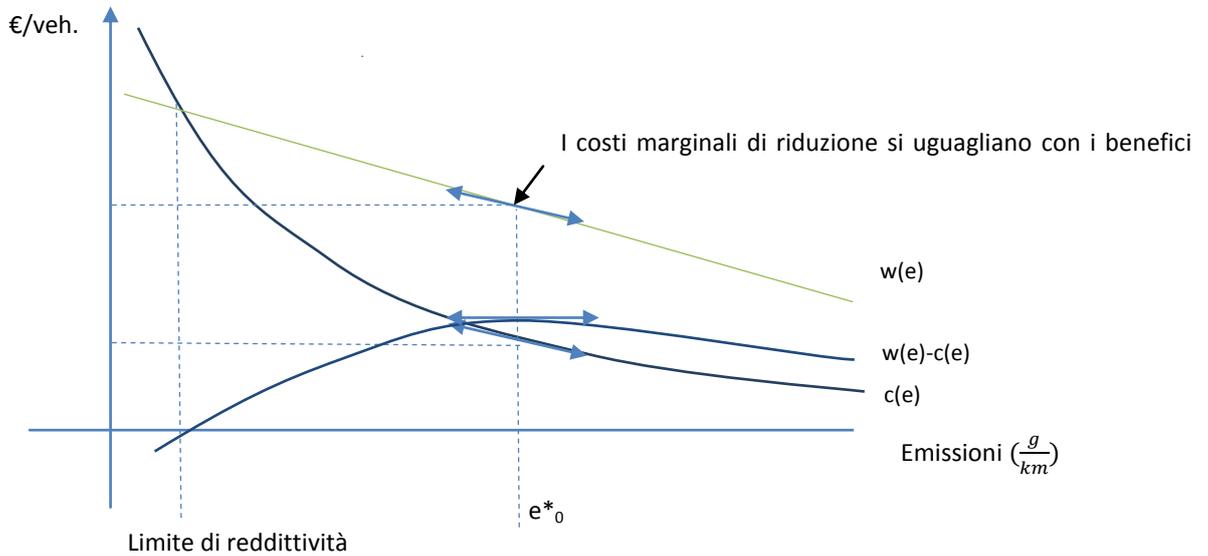
I costi marginali di costruzione dei veicoli in funzione delle emissioni si esprimono come:

$$c'(e) = 0,0201e^2 - 6,729e + 573,202 \quad (4)$$

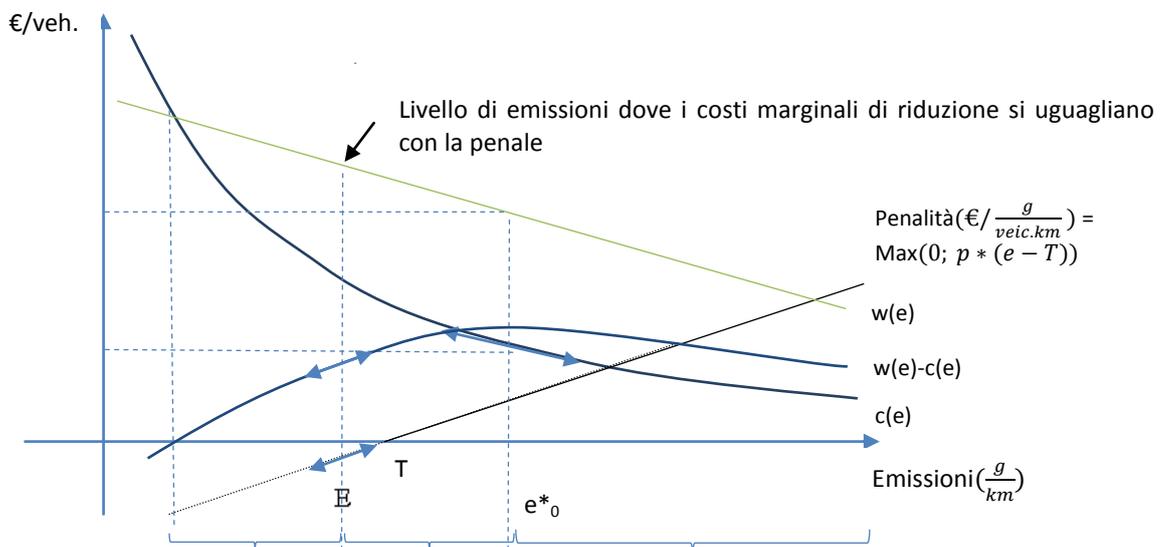
In questo quadro, il livello ottimale di consumi-emissioni è quello che **uguaglia il costo marginale di riduzione delle emissioni al beneficio marginale**. La **Figura 2-a** rappresenta questa situazione nell'ipotesi dove la disponibilità a pagare dei consumatori per un risparmio di carburante sia lineare (ossia la disponibilità *marginale* a pagare è costante: risparmiare un grammo di CO₂eq è lo stesso qualunque sia il livello di emissioni considerato).

Figura 2 – ottimizzazione delle emissioni con o senza soglia di emissioni massime

a – senza penalità



b - con regolazione (penalità di p € per ogni gramma sopra la soglia T)



Secondo i valori di T

Strategia ottimale	Pagare	Rispettare	Non cambiare
Emissioni	E	T	e^*
Penali pagate	$p.(E-T)$	0	0

Introduzione della regolazione

In questa sezione esaminiamo l'impatto della regolazione, distinguendo due situazioni, quella di lungo termine, dove la regolazione produce effetti vincolanti, e quella a breve termine, dove le emissioni correnti sono inferiori alla soglia.

La situazione di lungo termine, è illustrata sulla Figura 2-b. Ora le cose sarebbero abbastanza semplici se la regolazione avesse solo un parametro, tipicamente una penale per ogni grammo di CO₂eq. Ma la regolazione attiva tale massimo solo al di sopra di una certa soglia. In estrema sintesi, la regolazione spinge i costruttori ad uguagliare i costi marginali di miglioramento con i benefici marginali, solo che ora tali benefici comprendono anche la diminuzione delle penali. Ma tale meccanismo vale solo fino al punto dove si riducono le emissioni al livello della soglia.

Si creano allora diversi regimi in base ai diversi valori del target di emissioni T e della penale unitaria p.

1 - Se il nuovo livello ottimale di emissioni è superiore alla soglia, esso è determinato dall'uguaglianza fra costi marginali e benefici marginali di una variazione delle emissioni: le emissioni sono ridotte fino al punto dove un abbassamento ulteriore costerebbe di più (maggiori costi di produzione) rispetto a quanto rapporterebbe (minore penalità + maggiore valore della macchina per l'acquirente).

2 - Se invece questi meccanismi portassero a un livello di emissioni inferiore alla soglia T, partendo da emissioni ottimali superiori a T, allora è inutile per il costruttore (o per il gruppo formato da diversi costruttori)¹³ diminuire le emissioni al di sotto della soglia (perché la regolamentazione non premia un'ulteriore riduzione delle emissioni).

L'osservazione del comportamento delle case automobilistiche permette di escludere il caso 1. I produttori, non pagano multe sulle emissioni (questo esclude il caso 1), ma si aggiustano alla soglia. Il regime normale di determinazione delle emissioni è quello definito all'intorno della soglia regolamentare.

Oltre alla rappresentazione grafica, il regime di ottimizzazione all'intorno della soglia può essere illustrato con un modello analitico. Il rasoio di Occam ci spinge ad adottare una serie di ipotesi per non oscurare i meccanismi fondamentali all'opera in questa situazione. Nella formulazione più parsimoniosa, i produttori scelgono le emissioni ottimali delle loro auto per due di tecnologie: una inquinante, l'altra contabilizzata come zero emissioni. Si considerano i diversi costi e benefici (Figura 2): costi di produzione e disponibilità a pagare decrescenti quando le emissioni/i consumi aumentano^{14,15}.

¹³ In caso di raggruppamento di costruttori, il ragionamento va fatto a livello di tale raggruppamento. Può essere che una marca del raggruppamento riduca le emissioni al di sotto della soglia, ma non esiste interesse a farlo per l'insieme delle marche del raggruppamento.

¹⁴ Per semplificazione non si considera l'effetto dell'efficienza sulle quantità vendute: ossia nel nostro modello, una macchina più efficiente è una macchina che si vende più caro, *ceteris paribus*. Nella realtà si potrebbe anche pensare che una macchina più efficiente si vende anche in maggiore quantità. In realtà, tale effetto quantità implica solo un'ulteriore incentivo a vendere veicoli efficienti, e non è diverso del premio attribuito dai consumatori a veicoli più efficienti. Matematicamente, il termine che rappresenta questo effetto potrebbe allora diventare un polinomio di grado superiore, rispetto alla situazione da noi presentata, ma i meccanismi essenziali del modello sono sempre gli stessi

Nella situazione considerata, dove una tecnologia è considerata “0 emissioni”, i costi marginali della tecnologia a zero emissioni spariscono dal calcolo delle emissioni ottimali (ad esempio i costi di produzione sono insensibili alle emissioni in quanto quest’ultime valgono sempre 0). I costi marginali delle emissioni diventano perciò nulli. Stessa cosa succede per la disponibilità a pagare del consumatore, che è definita solo per il valore $w(0)$, in quanto è l’unico valore possibile delle emissioni. Il produttore deve ora scegliere unicamente il livello di emissioni dei veicoli della tecnologia inquinante.

$$\max_{e_1} \Pi = \bar{Q}_1(\bar{p}_1 + w(e_1) - c_1(e_1)) + \bar{Q}_2(\bar{p}_2 + w(0) - c_2(0))$$

$$st \left(\frac{e_1 \bar{Q}_1}{\bar{Q}_1 + \bar{Q}_2} < T \right)$$

Ossia, con lagrangiano:

$$\max_{e_1} L(e_1; \lambda) = \bar{Q}_1(\bar{p}_1 + w(e_1) - c_1(e_1)) + \bar{Q}_2(\bar{p}_2 + w(0) - c_2(0)) - \lambda \left(\frac{e_1 \bar{Q}_1}{\bar{Q}_1 + \bar{Q}_2} - T \right)$$

$$\frac{\partial L(e_1; \lambda)}{\partial e_1} = 0 \Rightarrow \bar{Q}_1(w'(e_1^*) - c_1'(e_1^*)) - \lambda \left(\frac{\bar{Q}_1}{\bar{Q}_1 + \bar{Q}_2} \right) = 0 \Rightarrow \lambda = (w'(e_1^*) - c_1'(e_1^*)) \quad (5)$$

$$\frac{\partial L(e_1; \lambda)}{\partial e_1} = 0 \Rightarrow \frac{e_1^* \bar{Q}_1}{\bar{Q}_1 + \bar{Q}_2} = T \Rightarrow e_1^* = T \frac{\bar{Q}_1 + \bar{Q}_2}{\bar{Q}_1} \quad (6)$$

Appare così analiticamente, che un aumento della proporzione di veicoli considerati a zero emissioni implica un aumento delle emissioni per la tecnologia inquinante (se aumenta $\frac{\bar{Q}_2}{\bar{Q}_1 + \bar{Q}_2}$, allora aumenta l’inverso della proporzione di veicoli di tipo 1, ossia $\frac{\bar{Q}_1 + \bar{Q}_2}{\bar{Q}_1}$).

¹⁵ Per un’ulteriore semplificazione si trascurava l’eventuale utilizzo da parte dei costruttori di politiche di mark-up responsive agli obiettivi di emissione (abbassare i profitti unitari sui modelli poco inquinanti per permetterne di maggiori su modelli più inquinanti)

Le emissioni medie per l'insieme dei veicoli sono $\frac{\bar{Q}_1 \left(T \frac{\bar{Q}_1 + \bar{Q}_2}{\bar{Q}_1} \right) + \bar{Q}_2 * 0}{(\bar{Q}_1 + \bar{Q}_2)} = T$, e sono invarianti rispetto alla sostituzione di veicoli cd "zero emissioni" a veicoli convenzionali. Dunque l'impatto sulle emissioni della vendita di un veicolo considerato a zero emissioni deve comportare l'aumento delle emissioni sulla flotta convenzionale venduta nello stesso periodo regolatorio (in realtà l'azienda si basa su previsioni di vendite realistiche, non è la vendita di una singola macchina che fa scattare questo meccanismo ma la previsione di vendita di tale tecnologia). L'invarianza delle emissioni medie, implica che il risparmio T sulle emissioni del veicolo sostituito sia compensato da un aumento T su l'insieme dei veicoli convenzionali rimanenti ($Q_1 - 1$), le emissioni veicolari possono essere aumentate da $\frac{T}{Q_1 - 1}$ e per l'insieme dei veicoli convenzionali aumenta da $(Q_1 - 1) \frac{T}{(Q_1 - 1)} = T$. La sostituzione di un veicolo convenzionale con un veicolo elettrico non diminuisce le emissioni ed è matematicamente equivalente a attribuire al veicolo elettrico le stesse emissioni T dei veicoli convenzionali. Allorché l'aumento delle emissioni ottimali è minimo a livello di un singolo veicolo, impatta su un alto numero di questi. Ne risulta che l'introduzione di veicoli elettrici non diminuisce le emissioni "su strada" e che a tali veicoli può essere associata l'emissione media di un veicolo convenzionale.

La situazione è tuttavia diversa nel caso dove il livello ottimale di emissioni e^* è inferiore alla soglia T. Tale situazione sembra **prevalere negli primi anni di implementazione della regolazione** come illustrato sulla (secondo l'EEA¹⁶, nel 2014 le emissioni medie nell'EU sono state 123.4g/km e dunque inferiori al massimo di 130 g/km previsto dal 2015 in poi). Tale scenario è coerente con alcuni determinanti del mercato automobile: trend comunque decrescente delle emissioni, crisi economica che premia la scelta a favore di veicoli più piccoli e aumenta la sensibilità degli utenti per veicoli economici. Il primo di questi due fenomeni non è rappresentato esplicitamente nei nostri grafici, ma si può facilmente introdurre: la vendita di veicoli che per loro caratteristiche emettono meno della soglia (pur scontando per l'integrazione di un fattore peso nei meccanismi attuativi della 443) producono lo stesso effetto che un aumento di T per i segmenti che invece superano tale soglia. Invece la maggiore sensibilità ai consumi si traduce per una maggiore pendenza della curva rappresentante la disponibilità a pagare per l'efficienza energetica delle macchine. Rispetto a un contro-fattuale dove la crisi, e il progresso tecnologico, non avesse impattato sull'equilibrio del mercato, il livello di e^* si trova diminuito e può essere inferiore alla soglia T. Ora i documentati proclami sul fatto che gli obiettivi di emissioni sono stati raggiunti con due anni di anticipo rispetto alle scadenze devono essere chiariti: difficilmente possono essere messi a credito della regolazione quando invece il trend preesistente e la crisi hanno contribuito massicciamente a tale risultato.

Ora, in una situazione transitoria, come quella osservata negli ultimi anni¹⁷, dove il massimo non è vincolante, si possono introdurre veicoli elettrici senza attivare i meccanismi indiretti che abbiamo identificato. Tale situazione rappresenta tuttavia una situazione temporanea. Più strutturalmente è lecito affermare invece che l'introduzione di veicoli elettrici non riduce le emissioni su strada.

¹⁶ EEA New cars' CO2 emissions well below Europe's 2015 target. Highlight Published 15 Apr 2015.

¹⁷ Transitoria nell'ipotesi di un'uscita della crisi e perché una riduzione ulteriore del massimo di emissioni è già approvata.

Pur di natura contro intuitiva questo risultato consente di completare il quadro degli effetti emissivi dei veicoli elettrici. Nella sezione successiva componiamo un quadro d'insieme.

Figura 3 – Evoluzione storica delle emissioni, nuove immatricolazioni UE (2005-14)

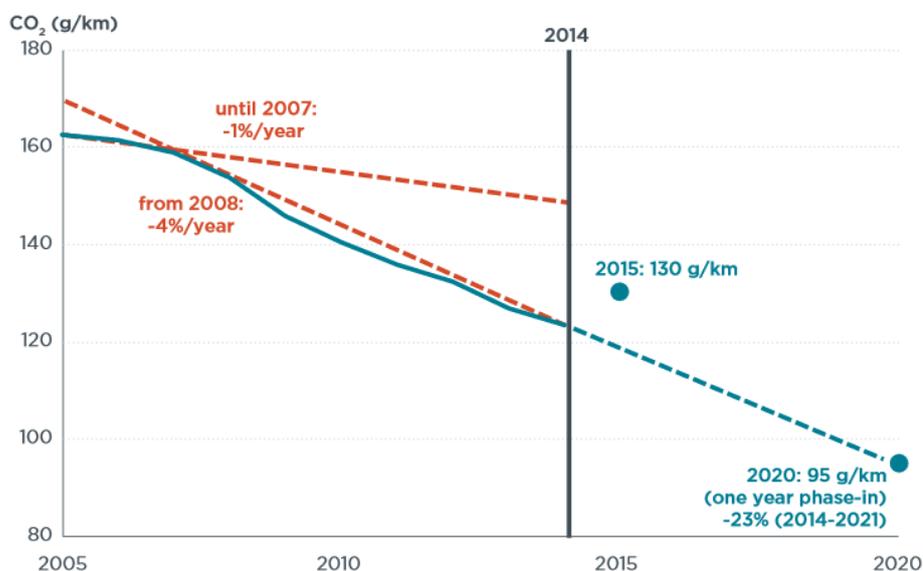


Figure 1: Historical development and future targets for CO₂ emission levels of new passenger cars in the EU. Effects of phase-in, super-credits and eco-innovations not shown here.

Fonte: figure 1 in (ICCT International Council of Clean Transportation 2015)

3.5 Riepilogo

In questa sezione, si assemblano i pezzi del puzzle per poter confrontare le emissioni dei veicoli elettrici con le emissioni dei veicoli convenzionali. Riepilogando gli effetti considerati, si giunge alla valutazione presentata in Tabella 3. La prima colonna indica l'approccio standard alla questione basato sulle emissioni (medie) del sistema energetico. La seconda colonna presenta la stima delle emissioni (cf. Massiani e Byloos, *forthcoming*) che deriva dalla natura marginale e temporalmente variabile delle ricariche, una stima che mette in evidenza il carattere fuorviante delle stime basate sul "mix energetico". La terza colonna propone una valutazione che riconosca pienamente l'effetto delle regolazioni vigenti. Le due colonne successive danno un confronto con i veicoli convenzionali. Infine, l'ultima colonna riporta l'effetto della sostituzione di un veicolo elettrico a un veicolo convenzionale.

Tabella 3 - Emissioni dei veicoli convenzionali ed elettrici, confronto tra risultati esistenti e risultati di questo studio (g CO₂eq/km)

Categoria emissioni	Veicoli elettrici			Veicoli convenzionali	Differenza
	Visione dominante	Stima tecnica ^a	Emissioni considerando regolazioni (ETS e 443)	Stime disponibili	Effetto sostituzione 1 VC con 1 EV
W2T	40-100 S.C. [†] = 65	95 ^c	0 (effetti dell'ETS)	(18-21 ¹⁸) S.C. = 20	-20
T2W	0	0	trans. ^{††} (e* < T) = 0 regime (e* > T) = VC	min = (e*; T) trans. = 118 ¹⁹ regime = T	trans. = -118 regime = 0
Fabbricazione ^b	Di solito omesso	34-95 ²⁰ S.C. = 65	34-95 S.C. = 65	28-31,5 ²¹ S.C. = 30	+35
Effetto sulla dimensione della flotta automobile	0	0	A regime: ξ (non quantificato) ^d	Non applicabile	regime: ξ (non quantificato)
Totale	40-100 S.C. = 65	95	trans. (e* < T) = 65 regime (e* > T) = 65+T+ξ	trans = 168 regime = 50+T	trans. = -103 regime = 15+ξ

[†] "S.C.": stima centrale

^{††} "trans.": situazione di transizione.

a – senza considerare gli effetti della regolazione.

b - su km totale percorsi.

c - stima in Massiani e Byloos, forthcoming.

d - La riduzione delle emissioni nel parco convenzionale consente una riduzione del costo di produzione del veicolo portando a una maggiore diffusione delle automobili, e a un aumento delle emissioni.

Nella situazione transitoria attuale, la sostituzione di veicoli elettrici, permette di ridurre le emissioni, ma la logica a medio lungo termine della regolazione implica che, **nel complesso, la sostituzione di veicoli convenzionali con veicoli elettrici aumenta le emissioni di CO₂.**

La nostra analisi fa apparire una serie di risultati che sono in contrasto con numerose raccomandazioni presenti nel dibattito pubblico e anche in varie analisi scientifiche e che rischiano di portare a politiche dannose. Risulta ancora più difficile convincersi degli effetti contro-intuitivi generati dalla regolazione europea. I suoi parametri permettono comportamenti decisamente opposti all'intento originario del regolatore. In estrema sintesi, il tetto dell'ETS impedisce l'aumento delle emissioni per la produzione elettrica in presenza di consumi elettrici di un nuovo prodotto. Anzi questi consumi si

¹⁸ (Edwards, et al. 2014) Rispettivamente il 15% delle emissioni totali per la benzina e il 17% per il diesel.

¹⁹ Dato tratto dal Ministero dello sviluppo per il 2015

²⁰(Notter, et al. 2010) (Patterson, Alexander e Gurr 2011)(Hawkins, Bhawna e Majeau-Bettez 2013) (Aguirre, et al. 2012) (Wilson 2013)

²¹ (Patterson, Alexander e Gurr 2011)

sostituiscono ad altri usi per i quali esiste una disponibilità a pagare minore, un costo sociale ovviamente, ma di natura diversa di un aumento delle emissioni. Da un'altra parte, il regolamento 443/2009 consente ai costruttori di aumentare le emissioni dei veicoli convenzionali immessi sul mercato e implica che un veicolo elettrico inserito nella flotta abbia lo stesso impatto sulle emissioni che un veicolo convenzionale.

Mettendo insieme questi diversi elementi emerge che l'introduzione di veicoli elettrici porta ad un aumento delle emissioni di CO₂eq. E' tuttavia vero che la mobilità elettrica potrebbe aprire nuovi scenari, in quanto si creerebbe un'occasione di sfruttare maggiormente le risorse energetiche rinnovabili. Vediamo ora più in dettaglio se esiste questo vantaggio.

3.6 Scenari di utilizzo di energie rinnovabili

Esistono infatti possibili benefici sistemici dei veicoli elettrici dovuti alle sinergie con la produzione di energia rinnovabile. L'elettrificazione della mobilità potrebbe consentire una maggiore sostenibilità ambientale della mobilità. Ci sono tuttavia motivi di pensare che tale auspicio sia in gran parte illusorio, sia a breve che a lungo termine.

A breve termine (con un parco di produzione elettrica fisso), le regole d'impiego delle varie tecnologie, sintetizzate nella così detta curva di merito, **precludono una risposta delle energie rinnovabili a una richiesta addizionale d'elettricità** da parte dei veicoli elettrici. Per quanto riguarda il solare, l'eolico e il geotermico, sono tecnologie "esogene" la cui produzione è determinata dal parco installato e di fenomeni fisici non modificabili. Quando un utente attacca un dispositivo, non aumenta, ad esempio, l'insolazione e la produzione di energia fotovoltaica. Considerazioni non molto diverse si devono fare per l'idroelettrico (e probabilmente le centrali alimentate dai rifiuti urbani) che è in grado di rispondere a una domanda addizionale, ma solo riducendo la risorsa disponibile per i periodi successivi. Appare dunque che, a breve termine, la domanda addizionale di veicoli elettrici non è in grado di aumentare l'incidenza delle rinnovabili

A lungo termine (considerando possibili variazioni del parco energetico installato) possono le conclusioni essere diverse? Ne possiamo dubitare. In effetti la storia recente del settore energetico in Italia suggerisce che lo sviluppo delle fonti rinnovabili non è legata all'aumento della domanda, ma a motivazioni politiche. In particolare, lo sviluppo massiccio del parco solare e eolico negli anni recenti (negli ultimi cinque anni sono cresciute in media del 31%²²) succede in un momento di calo importante della domanda (negli ultimi cinque anni la domanda è calata del -1,4% anche se nel 2015 ha avuto una leggera ripresa, +1,5%)²³. **Non appare dunque che uno sviluppo maggiore dei veicoli elettrici debba portare a un aumento della quota delle energie rinnovabili.**

E' vero che si potrebbe ipotizzare una forma di integrazione più pronunciata fra veicoli elettrici e energia rinnovabile. Si potrebbe ad esempio considerare lo sviluppo di **un parco fotovoltaico dedicato** alla mobilità elettrica. Tale ipotesi porterebbe tuttavia a una perdita sociale in quanto crea un vincolo di destinazione e, per una funzione di benessere collettivo ben definita, porta a livelli di benessere inferiori rispetto a quella raggiungibile senza questo vincolo di destinazione. In altre parole, lo sviluppo di un

²² Nostra elaborazione sulla base di TERN, Dati Provvisori di Esercizio del Sistema Elettrico Nazionale, anno 2011-2015

²³ idem

parco fotovoltaico può produrre una variazione di benessere w_1 , le misure a favore dei veicoli elettrici possono portare a una variazione di benessere w_2 . Se questi due strumenti sono sviluppati contemporaneamente, si può, in caso di sinergie positive fra le due tecnologie, ottenere una variazione di benessere complessivo $w \geq w_1 + w_2$. Tuttavia se si sviluppa un parco fotovoltaico “vincolato” si ottiene un guadagno inferiore a w , per il semplice motivo che un ottimo vincolato è inferiore a un ottimo non vincolato²⁴. Vincolare l’uso dell’elettricità fotovoltaica alle macchine elettriche deteriora le performance del sistema, a meno che non si dimostri una maggiore utilità nel ricaricare una batteria piuttosto che utilizzare l’energia per altre applicazioni.

Infine, anche ipotesi di ulteriori interventi a favore di una decarbonizzazione della mobilità elettrica, come schemi di ricarica ottimizzati oppure sistemi *Vehicle to Grid*, possono essere deludenti. Nel caso italiano, abbiamo (Massiani e Byloos, forthcoming) stimato che una ricarica coordinata spostata sulle ore notturne, attiva tecnologie maggiormente inquinanti (combustibili fossili solidi o liquidi) rispetto alla produzione elettrica non coordinata. Nello stesso modo, il *Vehicle-to-Grid*, nel quale si pongono molte speranze, comporta importanti perdite nelle fasi di carica- scarica (quasi metà dell’energia è dispersa in un ciclo) penalizzando fortemente questa tecnologia.

Appare dunque che la generica speranza nella capacità della mobilità elettrica di trarre il massimo beneficio delle energie rinnovabili potrebbe non corrispondere alla realtà.

4. Conclusioni

In questo articolo, abbiamo analizzato le emissioni di CO₂eq legate ai veicoli elettrici e messo sotto prova la percezione generale secondo la quale la diffusione di questi veicoli contribuisce alla riduzione delle emissioni. L’aspetto più ovvio, trattato in un companion paper (Massiani e Byloos Forthcoming), riguarda le emissioni in centrale elettriche, stimate attorno al 95 g/km; e che comunque non possono essere basate sul mix energetico, almeno di incorrere in importanti errori.

Oltre a questo aspetto ovvio, la sostituzione di veicoli elettrici a quelli convenzionali, mette in gioco una serie di meccanismi. Quelli, concettualmente triviali, delle emissioni in fase di costruzione e smaltimento del veicolo, che penalizza fortemente i veicoli a batterie, e i meccanismi, molto meno facili da carpire, legate agli effetti indiretti e contro-intuitivi della regolazione. Essi azzerano, per la concezione stessa dell’*European Trading System*, le emissioni in centrale. Questo riduce l’impatto sulle emissioni. Ma questo è più che compensato dal regolamento 443/2009 che consente, a regime, di compensare emissioni fra varie tecnologie: la sostituzione di veicoli elettrici a veicoli convenzionali consente di aumentare le emissioni di quest’ultimi. In tale contesto, l’impatto di un veicolo elettrico sulle emissioni tailpipe deve essere quantificato come quello di un veicolo convenzionale medio.

Mettendo insieme i diversi pezzi del puzzle, si giunge a una valutazione sfavorevole alle politiche di supporto agli EV. Si possono così trovare spiegazioni a risultati presentati in letteratura, dove i benefici delle politiche a favore dei Veicoli Elettrici in Germania avevano come primo beneficiario i paesi esportatori di petrolio: l’aumento delle emissioni unitarie della flotta convenzionale, consente di abbassare il prezzo dei veicoli convenzionali immessi sul mercato, favorisce il loro acquisto e il loro uso, e

²⁴ Almeno, come ricorda il paradosso di Braess (dove un’equilibrio decentralizzato vincolato raggiunge un massimo superiore a quello di una situazione non vincolata), che esistano particolari esternalità positive, cioè che l’uso dell’energia solare nelle batterie dei veicoli elettrici comporti vantaggi rispetto ad altri usi della stessa energia. Non ci sono stati portati elementi a favore di questo

dunque l'importazione di risorse fossile. Questo effetto potrebbe essere in se di impatto limitato, ma la valutazione procede in modo comparativo. Diventa allora possibile capire che tale effetto può rappresentare una parte importante delle *differenze* di costo e di beneficio fra scenari. In contrasto, i benefici ambientali appaiono limitati e, a regime, rappresentano anzi un costo, almeno per le emissioni di CO₂eq. I nostri risultati suggeriscono inoltre che tali risultati valgono, *mutatis mutandis*, per la maggiore parte dei paesi EU anche quelli che, come la Francia, hanno un mix energetico con forte componente nucleare.

Tali risultati sono in parte legati ai parametri attuali del regolamento 443/2009. La diminuzione del target di emissioni, oppure l'aumento della penalità per g. CO₂eq in eccesso del target, potrebbe spostare la soluzione ottimale in altri "regimi" dove i meccanismi di compensazione non avverrebbero. Su questo punto, una possibile riforma del regolamento potrebbe consistere in un calcolo unificato delle emissioni sull'insieme delle tecnologie, con il vantaggio di consentire di ripartire i costi di riduzione delle emissioni su diverse tecnologie, oppure quella di estrarre i veicoli elettrici del target di emissioni.

Ma più che la cucina regolatoria, quello che sembra il messaggio più importante della nostra analisi riguarda l'impossibilità, in un modo complesso dal punto di vista tecnologico e regolamentario, di basarsi su risultati di buon senso o sull'intuizione.

Riferimenti bibliografici

Aguirre, K., Eisenhardt L., Lim C., Nelson B. Norring A. Slowik P. Tu N. . (2012) *Lifecycle Analysis Comparison of a Battery Electric Vehicle and a Conventional Gasoline Vehicle*. UCLA Institute of the environment and sustainability. A report for California Air Resource Board.

ANFIA (2015) *Focus Unione Europea - Emissioni CO2 delle nuove auto immatricolate - Riduzione delle emissioni di CO2 delle nuove autovetture vendute in UE nel 2014*. Associazione Nazionale Filiera Industria Automobilistica.

Edwards, R., H. Hass, J.-F. Larivé, L. Lonza, H. Maas, and D. Rickeard (2014) *Well-to-Wheels Report - Well-to-wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context*. JRC technical reports. European Commission Joint Research Centre, Institute for Energy.

Forward, E., K. Glitman, and D. Roberts (2013) *An Assessment of Level 1 and Level 2 Electric Vehicle Charging Efficiency: to investigate potential applications of efficiency measures to various electric vehicles and their supply equipment*. Prepared by Vermont Energy Investment Corporation Transportation Efficiency Group.

Hawkins, T. R., S. Bhawna, and G. Majeau-Bettez (2013) "Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles." *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), 53-64.

ICCT International Council of Clean Transportation (2015) *CO2 emissions from new passenger cars in the EU: Car manufacturers' performance in 2014*. Briefing. Berlin, Brussels, San Francisco, Washington, July 2015.

Massiani, J. (2012) "Using Stated Preferences to forecast alternative fuel vehicles market diffusion." *Scienze Regionali*, 11: 93-122.

Massiani, J. (2015) "Cost-Benefit Analysis of policies for the development of electric vehicles in Germany: Methods and results." *Transport Policy*, 38, 19-26.

Massiani, J. (2015b) "The elusive foundations of Electric Vehicle supporting policy: a study of claims in the public debate in Italy." In: Danielis R. (eds) *L'auto elettrica come innovazione radicale: scenari di penetrazione di mercato e ricadute economiche e sociali*, 77-89. Trieste: EUT.

Massiani, J., and M. Byloos. (forthcoming) "Al di là del mix energetico : le emissioni dei veicoli elettrici in base ai comportamenti di ricarica." (titolo provvisorio) In Eduardo Marcucci (eds).

Menga, P., and M. Ceraolo (2008) "An evaluation of global environmental and energy value of vehicle technologies." Presentato alla conferenza *CEDM*. Lucca, 17 Aprile 2008.

Notter D.A., Gauch M., Widmer R., Waeger P., Stamp A., Zah R., Althaus H.-J. (2010a) "Contribution of LiIon Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles". *Environ Sci Technol.* 44(17):6550-6556. doi:10.1021/es903729a

Notter D.A., Gauch M., Widmer R., Waeger P., Stamp A., Zah R., Althaus H.-J (2010b) "Supporting Information to the manuscript entitled Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles". EMPA - The Swiss Federal Laboratories for Materials Science and

Patterson J., Alexander M., and Gurr A. (2011) "Preparing for a Life Cycle CO2 Measure. A report to inform the debate by identifying and establishing the viability of assessing a vehicle's life cycle CO2e footprint." Ricardo Consulting.

Perujo, A., and B. Ciuffo (2008) "The introduction of electric vehicles in the private fleet: Potential impact on the electric supply system and on the environment. A case study for the Province of Milan, Italy", *Energy Policy*, 38(8), 4549-4561.

Rusich, A., and Danielis R. (2013) "The private and social monetary costs and the energy consumption of a car. An estimate for seven cars with different vehicle technologies on sale in Italy." Working Papers SIET n. 1301

Rusich, A., and Danielis R. (2015) "Total cost of ownership, social lifecycle cost and energy consumption of various automotive technologies in Italy." *Research in Transportation Economics*, 50, 3-16.

TNO, AEA, CE DELFT, RICARDO, IHS Global insight, Okopol, Transport & Mobility Leuven (2011) "Support for the revision of Regulation (EC) No 443/2009 on CO2 emissions from cars, Final Report." Service request #1 for Framework Contract on Vehicle Emissions, Framework Contract No ENV.C.3./FRA/2009/0043.

Wilson, L. (2013) *Shades of Green: Electric Cars' Carbon Emissions Around the Globe*. A report for Shrinkthatfootprint.