

- PERCOCO M. (2014b), "Heterogeneity in the reaction of traffic flows to road pricing: a synthetic control approach applied to Milan", *Transportation*, in corso di pubblicazione.
- PERCOCO M. (2014c), "The effect of road pricing on traffic composition: evidence from a natural experiment in Milan, Italy", *Transport Policy*, 31:55-60.
- PERCOCO M.; (2013); "Is road pricing effective in abating pollution? Evidence from Milan"; working paper.
- PRUD'HOMME R., J.P. BOCAREJO; (2005); "The London Congestion Charge: A Tentative Economic Appraisal"; *Transport Policy*, 12(3).
- QUDDUS M.A., A. CARMEL, M.G.H. BELL; (2007); "The Impact of Congestion Charge on Retail: The London Experience, *Journal of Transport Economics and Policy*"; 41(1)
- ROTARIS, L., R. DANIELIS., E. MARCUCCI, J.MASSIANI; (2010); "The urban road pricing scheme to curb pollution in Milan, Italy: Description, impacts and preliminary cost benefit analysis assessment", *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 44(5).
- SANTOS G., B.SHAFER (2004); "Preliminary Results of the London Congestion Charging Scheme"; *Public Works Management and Policy*, 9:164-181.
- SANTOS G.; (2005); "Urban Congestion Charging: A Comparison Between London and Singapore" *Transport Reviews*, 25(5).
- SANTOS G., J. BHAKAR; (2006); "The Impact of London Congestion Charging Scheme on the Generalised Cost of Car Commuters to the City of London from a Value of Travel Time Savings Perspective"; *Transport Policy*, 13(1).
- SANTOS G., G. FRASER; (2006); "Road Pricing: Lessons from London"; *Economic Policy*, 21(46).
- THISTLEWAITE D.; D. CAMPBELL; (1960); "Regression-Discontinuity Analysis: An alternative to the ex post facto experiment". *Journal of Educational Psychology* 51 (6).
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY; (2013); <http://www.epa.gov/airquality/urbanair/>
- WALTERS, A.; (1961); "The theory and measurement of private and social cost of highway congestion", *Econometrica* 29(4).

11. Al di là del mix energetico: una stima realistica delle emissioni di CO₂ dei veicoli elettrici in base ai comportamenti di ricarica e alla risposta del sistema energetico

Jérôme Massiani, Marco Byloos

11.1. Introduzione: perché i veicoli elettrici potrebbero emettere più di quanto si afferma?

I veicoli elettrici attraggono l'interesse della politica e del grande pubblico per i loro supposti vantaggi in termini di indipendenza energetica, di risposta all'esaurimento delle fonti fossili e di minore impatto ambientale. In particolare, sono generalmente promossi dai media¹, dai costruttori² e dal settore pubblico, non di meno dal senso comune, sensibile all'assenza di emissioni "tailpipe". Tali affermazioni sono supportate da diversi risultati scientifici prodotti in Italia e all'estero e perciò 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 economici che governano lo sviluppo dei veicoli elettrici mette in evidenza una serie di particolarità che producono stime contrarie a queste intuizioni. In Italia, la sostituzione di veicoli convenzionali con EV può aumentare le emissioni di CO₂eq.

¹ Come ad esempio l'Ue, Assoelettrica, CIVES, A.N.V.EL, EURO-ZEV, eV-Now!.

² "100% emissions free, at least the car is", "...yields zero tailpipe emissions without compromising style...", "Zero emissions. Nothing. Not a puff" e molti altri tra i tanti claims pubblicitari dei produttori di autoveicoli presenti in giugno del 2015 sui loro 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/>

Per presentare questi risultati, iniziamo scrutinando le diverse stime attualmente disponibili in ambito scientifico e mettiamo in evidenza la mancata considerazione di aspetti importanti del fenomeno. Successivamente, ci concentriamo sulle emissioni della produzione energetica a monte, considerando la loro natura addizionale (e non media) nonché la loro distribuzione oraria. Anche se altre analisi (Massiani & Byloos, 2015) mostrano che la questione delle emissioni in centrale non è cruciale, pensiamo che sia necessaria, se ci si vuole rispondere, farlo rispettando una serie di criteri che giungono a una stima attorno a 95 g CO₂eq/km, fortemente superiore a quella, errata, basata sul mix energetico.

11.1.1. le emissioni, una questione più complessa di quella del well-to-tank

Le emissioni dei veicoli elettrici sono state oggetto di vari studi (Tabella 9). Queste stime giungono a risultati nell'intervallo 50-70 gCO₂/km e si basano quasi esclusivamente sul mix energetico. Tale approccio, seppure ispirato a un'esplicita necessità di semplificazione, appare debole in quanto trascurando alcuni aspetti che possono influire e, vedremo, influiscono fortemente sui calcoli. In particolare:

1. la natura marginale o addizionale, piuttosto che media, dell'energia richiesta da veicoli elettrici.

2. la distribuzione temporale di tale richiesta in quanto una sollecitazione marginale del sistema elettrico lo impatta diversamente in funzione del livello di attività preesistente, variabile secondo le ore del giorno, i giorni della settimana, e i regimi climatici.

Queste semplificazioni si aggiungono ad altre (emissioni in fase di costruzione, efficienza della ricarica e della distribuzione; effetto delle regolazioni ETS e CAFE) che ricordiamo, pro memoria, nella Tabella 9 e che possono a loro volta cambiare totalmente le quantificazioni del fenomeno e le raccomandazioni di policy che ne possono derivare.

La Tabella 9 mostra come questi elementi spesso non siano presi in considerazione, non per un errore ma perché spesso gli studi scelgono esplicitamente di concentrarsi su un determinato aspetto

della problematica. Abbiamo riferito con “non disponibile” le situazioni dove non è esplicitato la presa in considerazione di questo criterio, una situazione che invita a considerare la stima corrispondente con precauzione.

Tabella 9 – Fattori considerati nei metodi e risultati degli studi sulle emissioni degli EV in Italia.

| Studio | Metodo | 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 | |
| Stima g CO₂eq/km (anno) (fonte) | | | | | | | | | |
| 55g (2010) <i>(Menga e Ceraolo 2008)</i> | Mix energetico | No ^b | No ^b | No ^c | Nd | Si | No ^c | No ^c | |
| 40g (2009) <i>(Perujo e Ciuffo 2009)</i> | | No ^b | No ^b | No ^c | Si | Si | No ^c | No ^c | |
| 170g (2010) <i>(Wilson 2013)</i> | | No ^{ab} | No ^{ab} | Si | Si ^d | Si | No ^c | No ^c | |
| 64g(2013) <i>(Rusich e Danielis 2013)*</i> | | No ^b | No ^b | No ^c | N ^d | N ^d | No ^c | No ^c | |
| 68g (2030) <i>(M. Benini et al. 2010)</i> | 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 citate “perdite indirette” che vengono distinte dalle “perdite di rete”

* La 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.

Appare chiaro che le valutazioni esistenti si basano su una rappresentazione semplificata dei consumi dei veicoli elettrici e neglino aspetti tecnologici impattanti come la costruzione, le perdite

e, infine, omettono gli effetti delle regolazioni vigenti. In questo articolo, proveremo a correggere gli aspetti che riguardano la generazione di elettricità mentre rimandiamo a un altro nostro articolo (Massiani & Byloos, 2015) per gli altri aspetti.

11.2. Le emissioni in centrale sono poco inferiori alle emissioni dei veicoli convenzionali e non sono migliorate da schemi di ricarica ottimizzati

In questa sezione, intendiamo produrre una stima realistica delle emissioni nelle centrali. Presentiamo, per prima cosa, i diversi metodi disponibili, poi presentiamo il modello utilizzato per le nostre stime, infine presentiamo i risultati applicati a una ricarica “libera” e a due ipotetici schemi di ricarica “ottimizzata”.

11.2.1. I diversi metodi di stima delle emissioni

Esistono una serie di metodi per la quantificazione di tali emissioni. Una presentazione è sintetizzata nella Tabella 10.

I metodi più precisi si basano sulla micro-simulazione, la quale richiede ingenti risorse in termini di dati e potenza computazionale, e il metodo pivotale, che produce risultati vicini a quelli di una micro-simulazione ma con impiego di risorse incomparabilmente più ridotto. In questo articolo, presentiamo un ulteriore metodo detto “marginale temporale” che prende in considerazione la natura addizionale della richiesta energetica degli EV e la sua distribuzione temporale, ossia il fatto che l’elettricità è prodotta da un insieme di tecnologie variabile a seconda delle ore del giorno, dei giorni feriali/festivi e dei regimi climatici.

Questo metodo è in condizione di offrire una valutazione affidabile delle emissioni a corto medio termine (ad un orizzonte di qualche anno, probabilmente estendibile nelle situazioni, come quella odierna, dove esiste un basso tasso di utilizzo della capacità produttiva), mentre a lungo termine il metodo pivotale sembra più adatto in quanto considera anche l’espansione della capacità produttiva in risposta a un aumento perenne dei consumi.

Il metodo marginale si basa, infatti, sul confronto fra produzione complessiva e contribuzione delle varie tecnologie per ogni periodo (definiti da : ora, giorno, regime climatico) rappresentativo dei vari regimi di produzione elettrica. Una semplice analisi econometrica consente allora di esprimere **tramite coefficienti d’attivazione** come le varie tecnologie rispondano a variazioni della domanda per ogni periodo. Combinando questi dati con la ripartizione oraria dei consumi per la ricarica di un veicolo elettrico, sarà possibile calcolarne le emissioni.

Tabella 10 – Metodi di calcolo delle emissioni (fonte: Massiani e Weinmann, 2012)

| | |
|--------------------------------------|--|
| Emissioni medie | $\frac{x_i - Min_x}{Max_x - Min_x} * 100$ |
| Emissioni marginali di picco | Emissioni corrispondenti alle tecnologie utilizzate per rispondere alle punte |
| Emissioni marginali storiche | $100 - \left(\frac{x_i - Min_x}{Max_x - Min_x} * 100 \right)$ |
| Emissioni marginali di lungo termine | $\frac{\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I e_{y-i} * \tau_{k,y-i} * K_{k,y-i}}{\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \tau_{k,y-i} * K_{k,y-i}}$ |
| Emissioni pivotali marginali | Le emissioni corrispondenti alla tecnologia utilizzata, per ogni periodo di riferimento (ad esempio, ora del giorno), in base alla richiesta complessiva e alla sequenza d’attivazione delle tecnologie sintetizzata dalla curva di merito |
| Micro simulazione | Rappresentazione dettagliata del funzionamento delle varie centrali energetiche |

k =tecnologia di produzione elettrica

y =anno considerato

$e_{k,y}$ =fattore di emissione della tecnologia k nell’anno y

$Q_{k,y}$ =quantità di energia generata dalla tecnologia k nell’anno y

$K_{k,y}$ =capacità installata della tecnologia k nell’anno y

$\tau_{k,y}$ =tasso d’uso delle infrastrutture della tecnologia k nell’anno y

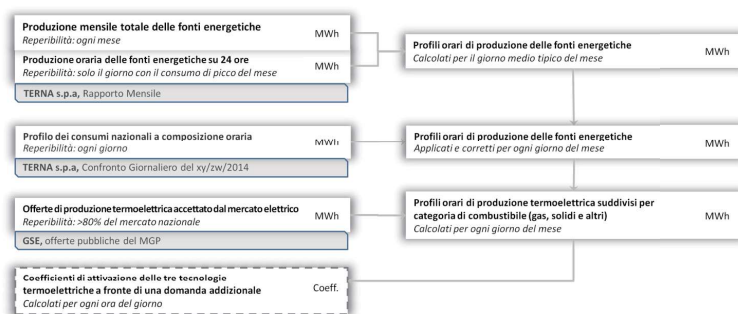
11.2.2. Metodo di calcolo: coefficienti di risposta, profili di ricarica e inefficienze di trasmissione

La Figura 1 rappresenta il flusso dei calcoli effettuati per stimare le emissioni, nonché le fonti dei dati utilizzate come input.

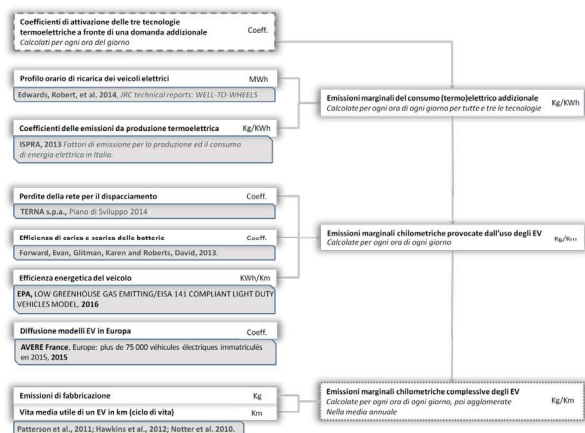
In estrema sintesi, la stima si basa sulla quantificazione di coefficienti di attivazione orari (determinati per quattro regimi climatici) ricavati dall'osservazione di dati reali sul contributo delle varie tecnologie alla produzione elettrica complessiva. Successivamente, considerando la particolare distribuzione dei consumi elettrici legati alla ricarica, si può stimare il contributo di ogni singola tecnologia ai consumi elettrici degli EV. In questo calcolo, sono anche prese in considerazione le perdite della rete di distribuzione e le perdite subite nelle operazioni di carica e scarica delle batterie nonché dell'efficienza energetica media dei veicoli elettrici correntemente venduti.

Figura 1a e 1b- Schema di calcolo delle emissioni

1a) Calcolo dei coefficienti di attivazione



1b) Calcolo delle emissioni a partire dai coefficienti di attivazione



L'elemento cruciale del calcolo è rappresentato dai coefficienti di attivazione delle varie tecnologie di produzione di energia elettrica che esprimono quanto le singole tecnologie rispondano a variazioni della domanda, con debita considerazione della fascia oraria, e di quattro regimi climatici. Tali coefficienti trovano ovviamente il loro senso solo per le tecnologie esogene, il cui livello di produzione risponde a variazioni della domanda, ossia essenzialmente, adoperando la classificazione della società nazionale della trasmissione e dispacciamento dell'energia elettrica, (Terna s.p.a.): la produzione termoelettrica da gas naturale, da prodotti solidi (carbone) e da altri combustibili (categoria eterogenea che comprende i prodotti petroliferi, materiali di scarto, rifiuti e biomasse). Le fonti rinnovabili programmabile ma vincolate da una disponibilità globale sulla risorsa (tipicamente l'idraulico) sono anche escluse dal computo in quanto possono solo spostare la produzione piuttosto che aumentarla.

Per misurare tali coefficienti si procede a una ricostruzione dei profili giornalieri di produzione elettrica a livello orario sfruttando ogni dato messo a disposizione dal gestore della rete TERNA s.p.a. in combinazione alle osservazioni delle offerte sul Mercato del Giorno Prima fornite dal Gestore dei Mercati Energetici GME s.p.a.

I COEFFICIENTI D'ATTIVAZIONE: CONTRIBUTO DELLE VARIE TECNOLOGIE A CONSUMI ADDIZIONALI

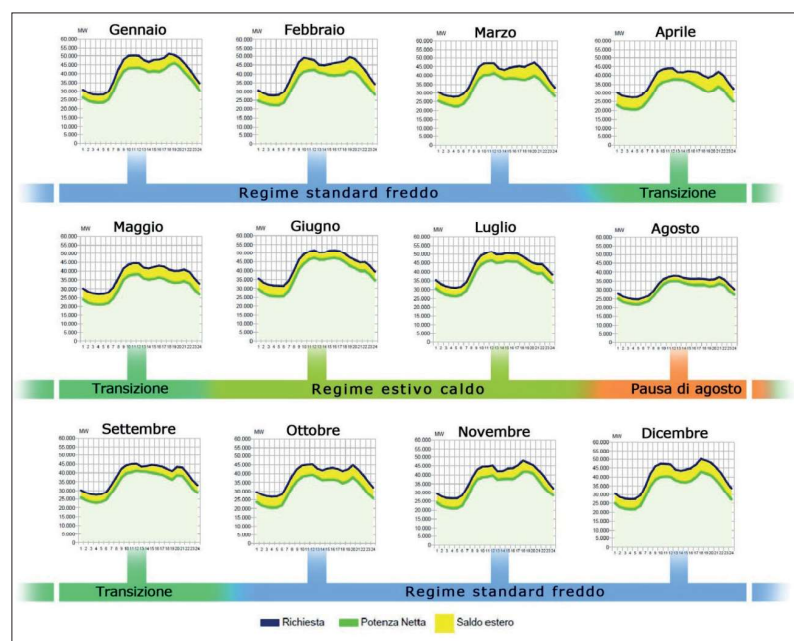
In questo paragrafo mostriamo come l'osservazione del comportamento del sistema energetico consente di calcolare coefficienti d'attivazione.

In un primo momento **abbiamo identificato diversi regimi climatici** corrispondenti a diverse condizioni di attivazione della produzione energetica. Abbiamo partizionato le rilevazioni annuali in quattro diversi regimi climatici che non rispecchiano le stagioni astronomiche, bensì identificano un diverso profilo di carico stagionale tipico, come illustrato in **Errore. L'origine riferimento non**

è stata trovata. L'algoritmo determinante la distinzione si basa sulla preponderanza del picco serale a quello diurno (come nella fase **invernale**), **sulla soglia di picco raggiunta durante la giornata e inoltre, dove possibile, sulla forma stessa del** profilo orario, piuttosto tipico in estate.

Vista l'esigua differenza tra i quattro regimi climatici e la discreta somiglianza degli andamenti tra le settimane è stato scelto di condurre la stima basandosi solo su quattro settimane campione scelte con l'unico vincolo dell'assenza di festività al loro interno. Le settimane considerate sono la ventiquattresima, la trentunesima, la trentasettesima e la quarantottesima del 2014.

Figura 2 – Evidenza grafica della presenza di quattro diversi regimi climatici all'interno dell'anno (nostra elaborazione su base dati TERNA)



Per determinare i coefficienti d'attivazione orari corrispondenti ai quattro regimi identificato abbiamo dovuto **assemblare diverse fonti dati**. I dati sulla produzione energetica complessiva di un

intero anno sono stati ricavati dalla società nazionale della trasmissione e dispacciamento dell'energia elettrica, (Terna s.p.a.). Terna mette a disposizione:

- I così-detti consuntivi a livello orario di ogni singolo giorno (se ne fornisce un esempio in allegato)
- la produzione oraria, per il giorno di picco del mese, per le varie tecnologie
- la produzione mensile cumulata di ogni tecnologia.

In prima istanza, è stato stimato il profilo di carico orario di un giorno medio (per 4 regimi climatici) basandosi sui profili orari di particolari giorni (giorno del mese con picco massimo) resi disponibili da Terna. Successivamente, il profilo di carico (del giorno con punta maggiore) è stato applicato ai consumi di un giorno medio (uno per ogni regime climatico). Abbiamo verificato, con aggiustamenti minimi, che la somma mensile dei consumi così stimati corrispondesse al totale mensile anch'esso disponibile. Questo procedimento fornisce il profilo orario di una serie di tecnologie ma, purtroppo, i dati di TERNA, non offrono una distinzione fra le varie tecnologie all'interno della macro-categoria "termoelettrica". Bisogna dunque ricorrere ad altri dati con maggiore disaggregazione, ci siamo perciò basati sulle offerte del Mercato del Giorno Prima rese disponibili dal Gestore del Mercato Elettrico dove compare invece un'indicazione più precisa della tecnologia utilizzata (carbone, gas, altro).

Abbiamo identificato le offerte delle centrali elettriche accettate sul mercato pubblico che comprende, secondo il gestore della rete, più del 75% delle transazioni nazionali³. Vista la difficoltà nell'identificazione di alcune offerte, in quanto spesso catalogate con un codice anonimo rendendo incerta l'identificazione dell'impianto e della tecnologia coinvolta, si è ritenuto sufficiente identificare almeno 90% delle offerte. Sono stati contabilizzati più di

³ Reperibili su http://www.mercatoelettrico.org/It/download/DownloadData.aspx?val=OfferteFree_Pubbliche, e nelle schede GMGPRReportGiornaliero.pdf disponibili per ogni giorno;

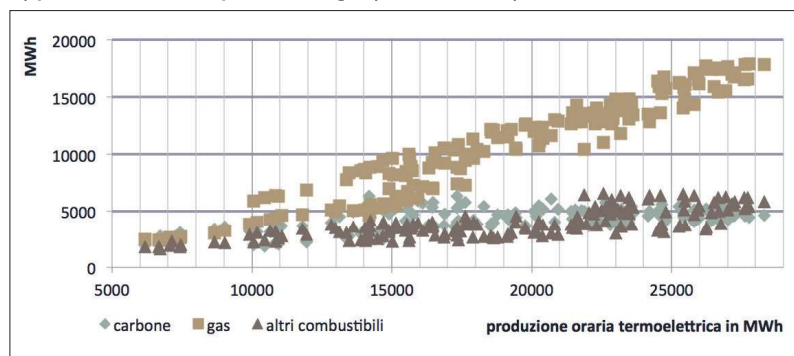
100 000 contratti. In base alle offerte si è quantificato il contributo percentuale di ogni **tecnologia** (per ogni fascia oraria dei giorni dei quattro mesi campione, rappresentanti i quattro regimi climatici), e tale percentuali sono state applicate al totale del termoelettrico fornito da Terna.

Sulla base di questi dati, è possibile **mettere in relazione la produzione termoelettrica complessiva e quella delle varie tipologie di combustibile**. Tale relazione è illustrata sulla Figure 3-a (riunendo tutti le fasce orarie) e 2-b (isolando due fasce orarie, mettendo in evidenza come una decomposizione almeno a questo livello sia necessaria per rendere apparenti meccanismi di attivazione delle varie tecnologie). La relazione osservata fra produzione complessiva e produzione di ogni combustibile viene sintetizzata tramite coefficienti d'attivazione.

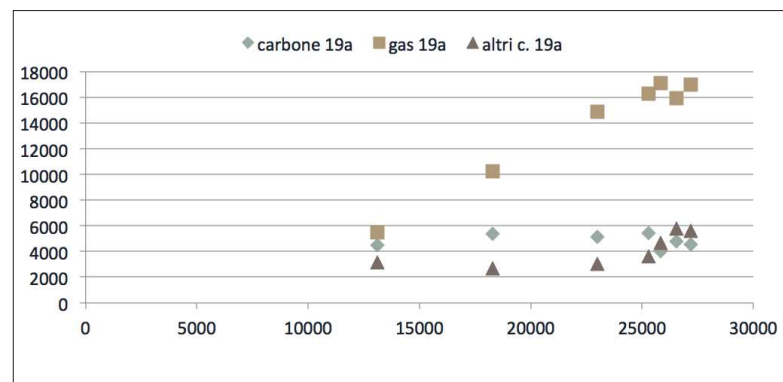
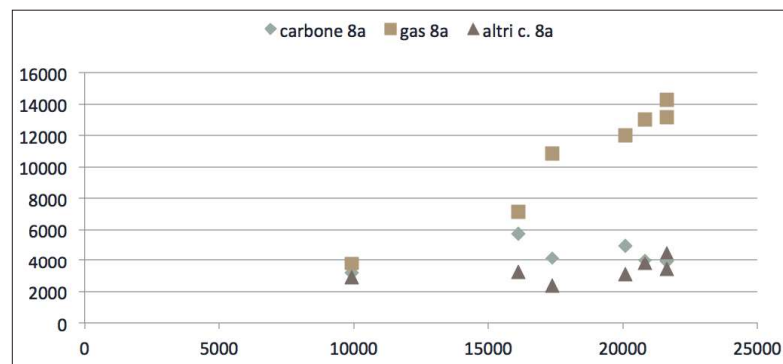
Ovviamente, le energie rinnovabili non devono essere considerate in questo calcolo in quanto sono esogene rispetto alla richiesta: non è l'allacciamento di ulteriori veicoli elettrici che aumenta l'incidenza dei raggi solari o l'intensità del vento. Similare ragionamento deve essere fatto per le tecnologie con risorsa vincolata (tipicamente l'idraulico) dove si può solo spostare la produzione e non aumentarla.

Figure 3a e 2b – Diversa risposta a livello orario delle tre tipologie termoelettriche di produzione energetica al variare della produzione termoelettrica complessiva.

a) produzione oraria per tecnologia (24ª settimana)



b) Particolari delle singole ore all'interno della settimana: 8ª e 19ª ora della settimana 24



Su questa base, si possono stimare coefficienti di attivazione specifici per una data combinazione di regime climatico e fascia oraria, come illustrato nelle seguenti equazioni.

$$\text{Carbone}_{o,g,r} = C1_{o,g,r} + \beta 1_{o,r} * \text{Termoelettrico}_{o,g,r} + u1_{o,g,r}$$

$$\text{Gas}_{o,g,r} = C2_{o,g,r} + \beta 2_{o,r} * \text{Termoelettrico}_{o,g,r} + u2_{o,g,r}$$

$$\text{Altri}_{o,g,r} = C3_{o,g,r} + \beta 3_{o,r} * \text{Termoelettrico}_{o,g,r} + u3_{o,g,r}$$

per ogni o=ora, g=giorno, r=regime climatico

Si verifica ex post che la somma dei coefficienti d'attivazione somma a 1, con minime deviazioni, senza che tale vincolo debba essere esplicitamente imposto ex ante nel processo di stima.

I coefficienti ricavati indicano che il sistema elettrico, soprattutto negli orari di punta, risponde a variazioni della domanda prevalentemente tramite il gas, possibilmente per via della maggiore flessibilità di tale tecnologia mentre, nelle rimanenti fasce orarie, i combustibili solidi assicurano una parte più importante della produzione marginale (grazie alla minore volatilità della richiesta in queste fasce orarie). Inoltre, esistono differenze importanti nella risposta del sistema energetico nei diversi periodi considerati. All'interno della settimana 48, il gas può, secondo l'orario considerato, contribuire fra il 27,8% e il 110,9%⁴ all'aumento della produzione, una variazione notevole. Si evince così che la mancata considerazione della natura addizionale dei consumi e della loro variazione temporale può portare a stime molto errate delle emissioni.

PROFILI ORARI DI RICARICA: LA RICARICA LIBERA

Tale risposta del sistema energetico va incrociata con il profilo orario di ricarica. Per descrivere il profilo orario si è considerato uno studio europeo (Pasaoglu, et al., 2013)⁵ sui comportamenti di mobilità osservati, in condizioni reali, da parte dei possessori di veicoli. Successivamente consideriamo anche due profili di ricarica Smart destinati a ripartire meglio i consumi elettrici nell'arco della giornata.

⁴ Addirittura andando a sostituire le altre tecnologie termoelettriche.

⁵ L'esame del profilo di ricarica considerato fa apparire alcune interrogazioni. Le differenze di profilo fra paesi appaiono molto marcate, come lo sono le variazioni fra periodi successivi della giornata. Inoltre, la richiesta appare annullarsi in poco tempo dopo la punta della sera, già quasi dalle 20:00. Non abbiamo elementi che consentano né di contestare né di validare questi dati. Abbiamo cercato altre fonti di dati, ma nessuna di quelle investigate ci sembrava offrire dati più affidabili. Pensiamo tuttavia che l'analisi di altre fonti d'informazione su questo punto possa costituire un'utile estensione di questo lavoro.

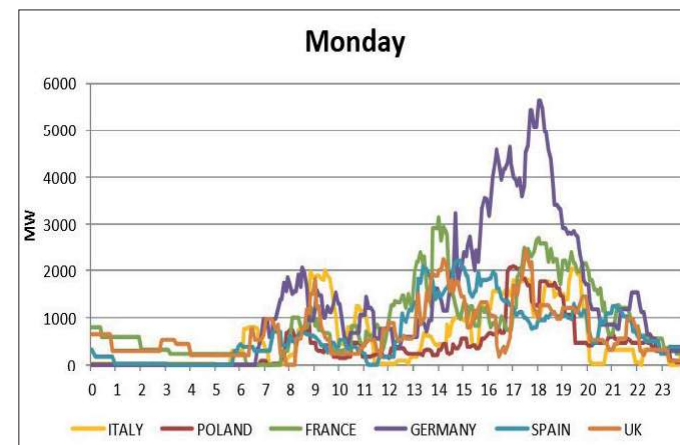


Figura 4 – Profilo di ricarica non vincolato del lunedì per sei paesi europei, fonte (Pasaoglu et al., 2013)

Su questa base, si può calcolare la domanda addizionale di elettricità e distribuirla fra le varie tecnologie in base ai coefficienti d'attivazione. Successivamente, grazie ai coefficienti di emissione (ISPR Ambiente, 2013), si calcolano le emissioni per la produzione elettrica addizionale. Infine, per stimare le emissioni chilometriche si considerano i dati sulle perdite elettriche del sistema (TERNA, 2014), sulla dissipazione delle ricariche a monte e a valle della batteria (Forward, Glitman, & Roberts, 2013)⁶ e sull'efficienza media degli EV (valore non superiore a 4,6 km/kWh nei veicoli venduti in Europa nel 2015⁷). I calcoli sono stati

⁶ L'energia elettrica prodotta per ricaricare i veicoli elettrici è sempre maggiore di quella resa disponibile nelle batterie. Nella trasmissione dall'alternatore alla colonnina di ricarica circa l'8% (fonte: TERNA) di energia viene dispersa, poi, essa deve essere trasformata in corrente continua per essere immessa nelle batterie perdendo un ulteriore 12,2% (Forward, Glitman, & Roberts, 2013) e infine nell'ultimo tratto la corrente ormai continua e non più alternata sarà attenuata da effetti Joule e correnti fantasma per un ammontare proporzionale alla complessità del circuito di ricarica. Ad aggravare la situazione vi sarebbe il fenomeno dell'autoscarica della batteria ma con la tecnologia degli ioni di litio questo è un fenomeno trascurabile.

⁷ Media pesata ottenuta incrociando le vendite delle auto elettriche in Europa nel 2015 fornite da (AVERE France, 2015) e le emissioni attestata da (U.S.

fatti sulla base di una domanda addizionale di 2 GWh a settimana⁸ compatibile con gli scenari di sviluppo spesso considerati in Italia (è equivalente a circa 20.000 veicoli che percorrono in media 50 km al giorno, o, tralasciando alcuni effetti di secondo ordine, a qualunque combinazione equivalente fra numero di veicoli e percorrenza media).

11.2.3. Risultati: le emissioni sono vicine a 95 g CO₂eq/km

Il nostro metodo giunge a una stima di 93,85 CO₂eq g/km. La volatilità tra i giorni della settimana non è marcata mentre quella dei regimi climatici è importante.

Tabella 11– Ridotta volatilità stagionale, ad eccezione di agosto, nelle emissioni orarie medie

| g CO ₂ e/km | settimana 24 (giugno) | settimana 31 (agosto) | settimana 37 (settembre) | settimana 48 (novembre) |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|
| Feriale | 108,8 | 129,9 | 59 | 99,2 |
| Sabato | 115,1 | 135,5 | 73,4 | 99,4 |
| Domenica | 107,6 | 126,7 | 60,8 | 96,4 |

Questi risultati si distaccano da quelli precedentemente pubblicati per l'Italia, avvicinandosi solamente alla stima di (Wilson, 2013). Le emissioni dei veicoli elettrici risultano di poco inferiori a quelle imputabili ai veicoli a combustione interna (ovvero 118 g.CO₂eq/km nel 2014 (Ministero dello sviluppo economico, 2015)). Sulla base di questi dati, aspettative di importanti riduzioni delle emissioni su strada, grazie all'introduzione dei veicoli elettrici, appaiono illusorie. Si potrebbe inoltre che, come suggerito in Massiani e Byloos (2015), la considerazione di altri elementi (emissioni in fase

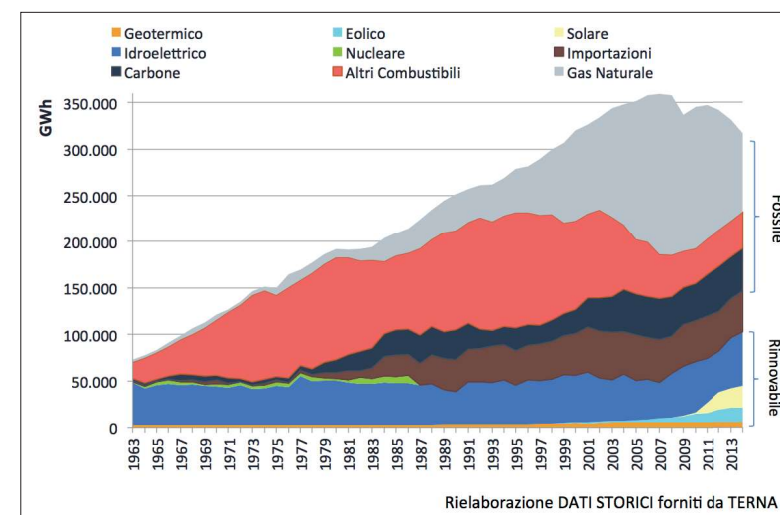
Environmental Protection Agency, 2016), per Renault Zoe è stata considerata un'efficienza pari a 169 MPG.

⁸ Un referee mette in evidenza che questa quantità è molto debole rispetto al livello complessivo di generazione del settore elettrico. Questa notazione ci sembra condivisibile. In ogni caso, appare tuttavia necessario che i consumi abbiano una fonte, anche se a livello microscopico appaiono delle discontinuità nella risposta del sistema energetico a variazioni della domanda.

di fabbricazione, effetti regolatori) possa infine rendere i veicoli elettrici più emissivi dei veicoli convenzionali.

I nostri risultati devono esser confrontati con le recenti evoluzioni del sistema energetico italiano come si può notare in Figura 5. Tra le maggiori: la riduzione dei consumi totali a scapito dei combustibili fossili, l'aumento delle fonti rinnovabili, in particolare l'eolico e il solare (le rinnovabili sono giunte al 40% della produzione elettrica), la riduzione del gas naturale e infine quella ancora più marcata dei prodotti petroliferi.

Figura 5 – Contributo delle varie tecnologie alla produzione elettrica italiana (1963- 2013)



Tale quadro può sembrare contraddittorio con i nostri risultati che indicano un ruolo preponderante del gas e in generale dei combustibili fossili nella domanda addizionale. Ma le fonti rinnovabili sono attivate in modo esogeno rispetto alla domanda, con determinanti essenzialmente di carattere meteorologico: la produzione di energia rinnovabile non è correlata, né a breve termine né, più stranamente, a lungo termine, ad aumenti del consumo. La cosa è un po' più complessa per l'idraulico che può certo rispondere a

una variazione di domanda ma solo spostando la produzione di un periodo a un altro. La produzione termoelettrica a gas, invece, per i suoi ridotti costi di attivazione e spegnimento, è la tecnologia che, in confronto alle altre, maggiormente risponde a variazioni della domanda nel medio e breve periodo.

Tuttavia, recentemente, la produzione termoelettrica ha subito drastiche diminuzioni in termini assoluti per via della recessione economica. Nonostante la miglior attitudine del termoelettrico a soddisfare la domanda addizionale, la forte crescita delle rinnovabili, il loro costo di esercizio virtualmente nullo assieme alla convenienza dell'acquisto di energia estera hanno eroso la quota precedentemente conquistata. In particolare, la produzione a gas naturale ne ha risentito di più per via dei suoi costi di esercizio nettamente maggiori rispetto alle centrali a carbone o anche a quelle con combustibili non ordinari (altri combustibili nella categorizzazione di questo studio) che possono godere di particolari incentivi economici ma anche contestuali nel caso dello smaltimento di rifiuti, prodotti di scarto o anche per l'uso di biomasse.

I nostri risultati appaiono dunque coerenti con le evoluzioni del settore energetico in Italia e sono poco favorevoli ai veicoli elettrici che appaiono inquinanti quasi come quelli convenzionali. Questo è dovuto al contenuto emissivo delle tecnologie utilizzate per rispondere a un aumento dei consumi. La presenza di un parco rinnovabile sempre più sviluppato non evita questa situazione per il motivo che la produzione di tale parco è sostanzialmente esogena (in alcuni casi con solo spostamento da un periodo all'altro) rispetto a variazioni della domanda. Inoltre, la speranza che schemi di ricarica intelligente, o addirittura il Vehicle-to-Grid, consentano di migliorarne ulteriormente le *performance* ambientali. Vediamo ora se tale ipotesi è fondata.

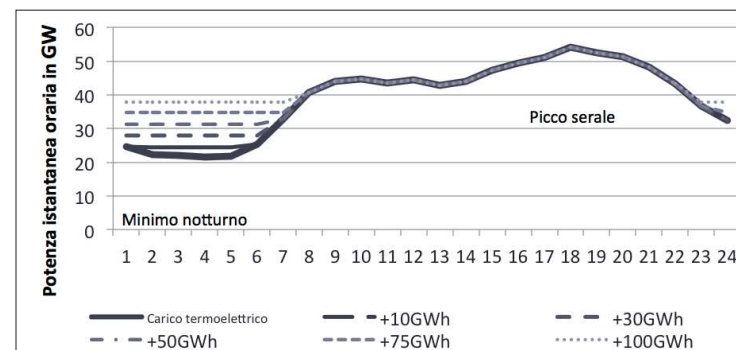
11.2.4. Gli scenari di ricarica intelligente aumentano le emissioni!

Una modalità spesso suggerita per ottimizzare l'impatto della ricarica dei veicoli elettrici riguarda l'adozione di schemi di ricarica destinati a redistribuire la domanda di energia durante la giornata.

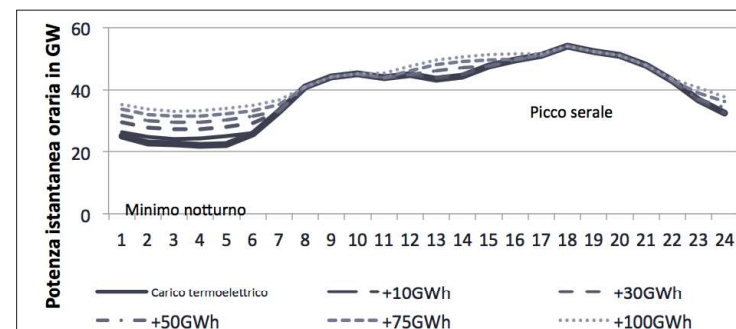
L'ipotesi di fondo è che ridurre l'ampiezza (differenza fra i massimi e i minimi di produzione) e la volatilità (variazioni all'interno di questo intervallo) migliori le performance del sistema. In questa sezione, ci basiamo su due schemi di ricarica ispirati a tali principi. Il primo concentra la ricarica durante la "valle" notturna. Il secondo, evoluzione del primo, smorza le asperità del profilo di carico. I due schemi sono illustrati nella Figura 6. Ad esempio nel primo caso, si considera l'insieme della domanda **addizionale** e si assegna tale domanda alle fasce orarie con livello di domanda più bassa, coinvolgendo un numero crescente di fasce orarie fino a quando la domanda spostata è completamente ripartita nei periodi meno **intensivi**.

Figura 6 – Visualizzazione grafica della trasformazione del profilo di carico termoelettrico italiano con l'utilizzo dei due schemi di ricarica intelligente proposti.

a – Scenario Valley-filling



b – Scenario "Smooth"



Utilizzando il metodo marginale e le richieste energetiche corrispondenti ai due schemi di ricarica coordinata è possibile calcolare le emissioni. La Tabella 12 fornisce i principali risultati e illustra come gli schemi di ricarica porterebbero ad aumenti delle emissioni piuttosto che alla loro diminuzione⁹. Il motivo di questo risultato è nello spostamento della ricarica verso orari dove tecnologie più inquinanti come i combustibili solidi sono più fortemente attivate. Questo avviene inoltre perché durante le ore notturne la domanda è meno volatile e si concentra su impianti con cicli di utilizzo elevati che corrispondono a tecnologie diverse dal più pulito gas.

Tabella 12- Emissioni medie annuali degli EV in base alle tipologie dei giorni e dello schema di ricarica

| Ricarica non coordinata | Valley-filling | Smooth |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 93,9 g CO ₂ eq/km | 116,4 g CO ₂ eq/km | 118,4 g CO ₂ eq/km |

I risultati di questa ricerca dimostrano la difficoltà di abbattere le emissioni di gas serra per quanto riguarda l'uso degli EV poiché, anche in situazioni particolari come il periodo di transizione climatica, non si riesce a scendere sotto ai 58-60 g di CO₂eq /km

Infine, ci possiamo chiedere se il *Vehicle-to-Grid* possa ragionevolmente essere utilizzato per migliorare le performance ambientali dei veicoli ma anche del sistema elettrico stesso. Al proposito è utile ricordare la perdita del 28-29% dell'energia trasmessa per ogni ciclo di carica o scarica, ossia fino al 50 % in un ciclo intero (Forward, Glitman, & Roberts, 2013). La fase di stoccaggio inter-

⁹ Su questo punto, un nostro referee commenta: “se lo smart charging aiuta a contenere la domanda nelle ore di picco, allora contribuisce alla diminuzione della dipendenza del sistema dalle fonti fossili nel suo complesso”. Se per “dipendenza” ci si riferisce all'incidenza delle fonti fossili nella produzione, possiamo rispondere che questo è preso in considerazione nella nostra analisi tramite i coefficienti d'attivazione. Ma la dipendenza potrebbe anche riferirsi a una dipendenza sistemica, vista a più lungo termine. Ad esempio se le mutate condizioni della domanda permettessero di ridurre la dimensione del parco termico, ci potrebbero essere una serie di benefici. Per valutare tali impatti di più lungo termine sarebbe allora necessario utilizzare altri metodi come il metodo “pivotale” presentato in Massiani e Weinmann (2015).

medio imposta dal V2G imputerebbe emissioni più che doppie¹⁰ e in condizioni ottimali per la frazione di energia coinvolta.

In conclusione su questo punto, appare che gli schemi di ottimizzazione non portino ai benefici sperati e tendano ad aumentare le esternalità negative dei veicoli elettrici. Ora, considerando che comportano anche dei costi privati (necessità di differire la ricarica dai momenti in cui è maggiore la necessità, senza che questo sia compensato da altri vantaggi privati), tali scenari appaiono senza beneficio. Questo si aggiunge ai risultati riguardante le emissioni nello scenario “libero” che appaiono solo poco inferiori alle emissioni dei veicoli convenzionali, per rendere ancora meno proficuo, dal punto di vista del cambiamento climatico, la diffusione dei veicoli elettrici.

11.3. Conclusioni

La nostra analisi fa apparire una serie di risultati che sono in contrasto con numerose raccomandazioni presenti nel dibattito e anche in varie analisi scientifiche e che rischiano di portare a politiche dannose.

Il risultato più immediato riguarda l'**inadeguatezza delle valutazioni basate sul mix energetico**. La proposta di un calcolo marginale basato su coefficienti di risposta delle varie tecnologie, distinti per fasce orarie e periodo climatico, appare come un modo parsimonioso e al contempo più realistico di rappresentare la risposta del sistema energetico alla richiesta addizionale dei veicoli elettrici o di qualunque altro nuovo impiego elettrico. Quest'analisi fa emergere il ruolo ancora chiave dei combustibili fossili mentre le energie rinnovabili non contribuiscono a tale produzione, per il semplice ma imprescindibile motivo che sono già completamente assegnate ad altri consumi in assenza di veicoli elettrici oppure, da un altro punto di vista, il loro livello di produzione è esoge-

¹⁰ Attualmente le fonti rinnovabili senza impatto ambientale non sono in grado di generare energia in “avanzo” da immagazzinare nelle batterie. Il V2G impiegherebbe quindi solo energia da fonti fossili.

no rispetto alla domanda d'energia, sia a breve termine, ma anche molto probabilmente a lungo termine in quanto l'evoluzione osservata sugli ultimi anni mostra che il loro sviluppo è disconnesso dell'evoluzione della domanda.

Meno intuitivi appaiono invece i nostri risultati **sul peggioramento delle emissioni in presenza di una ragionevole selezione di schemi di ricarica ottimizzati** nell'intento di ridurre l'impatto. Peggio ancora appare il cosiddetto Vehicle-to-Grid che duplica le inefficienze nelle fasi di carica e scarica. Tali sistemi impongono elevati costi sociali insieme ai costi privati legati alla mancata garanzia per l'utente di poter disporre, nell'ipotesi non coordinata, della massima ricarica nel più breve tempo possibile.

Questi risultati non rappresentano che una parte limitata dell'analisi da effettuare poiché, in un mondo regolato, si creano effetti collaterali molto contro intuitivi. In particolare, la regolazione ETS, impone un tetto delle emissioni nel settore energetico, ossia impedisce l'aumento delle emissioni per la produzione elettrica in presenza di consumi elettrici di un nuovo prodotto. Anzi questi consumi si 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. Potrebbe dunque sembrare inutile calcolare quante emissioni generino i veicoli elettrici se, in virtù della regolazione, non possono emettere CO₂eq addizionale ma solo sostituirsi ad altre emissioni. Tuttavia se continuano a circolare stime basate su metodi criticabili, ci appare preferibile mettere a disposizione della comunità degli studiosi una stima più corretta.

Il quadro generale, troppo esteso per essere esposto in questa sede, è ancora più disorientante in quanto, considerando le emissioni in fase di fabbricazione e le compensazioni fra emissioni di diverse categorie di veicoli, come imposto dal regolamento europeo 443/2009 (Massiani & Byloos, 2015), l'introduzione di veicoli elettrici può portare infine ad un aumento delle emissioni.

11.4. Riferimenti bibliografici

- AVERE France. (2015, 11 27). Europe : plus de 75 000 véhicules électriques immatriculés en 2015. Tratto da www.avere-france.org
- Benini, M., Gelmini, A., Mauri, G., Grillo, S., Massucco, S., & Silvestro, F. (2010). Valutazioni dell'impatto dell'inserimento di veicoli elettrici stradali plug-in sulla rete di distribuzione: analisi di scenario, comportamento di rete, gestione della domanda e aspetti metrologici. Milano: Rapporto ERSE.
- Edwards, R., Hass, H., Larivé, J.-F., Lonza, L., Maas, H., & Rickeard, D. (2014). Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and power-trains in the european context. JRC technical reports.
- European Environment Agency. (2013). Technical Report #19: Monitoring CO2 emissions from passengers cars and vans in 2013.
- Forward, E., Glitman, K., & Roberts, D. (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. Vermont Efficiency.
- Hawkins, T. R., Bhawna, S., & Majeau-Bettez, G. (2012). Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), 53–64.
- ISPRA. (2013). Fattori di emissione per la produzione ed il consumo di energia elettrica in Italia. Tratto da <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni/fattori-di-emissione-per-la-produzione-ed-il-consumo-di-energia-elettrica-in-italia/view>
- 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*, 19-26.
- Massiani, J., & Byloos, M. (2015). I veicoli elettrici, strumento ambiguo di riduzione delle emissioni di CO₂, fra determinanti tecnologiche e paradossi della regolazione. *RIVISTA DI ECONOMIA E POLITICA DEI TRASPORTI*(3).
- Massiani, J., & Weinmann, J. (2012). Electric cars as a means to reduce greenhouse gas emissions: methods, results and policy implications in Germany. Working paper Dipartimento di Economia, Università Ca' Foscari.
- Massiani, J., & Weinmann, J. (2012). Estimating electric car's emissions in Germany: an analysis through a pivotal marginal method and comparison with other methods. *ECONOMICS AND POLICY OF ENERGY AND THE ENVIRONMENT*, 2, 131-155.
- Menga, P., & Ceraolo, M. (2008). An evaluation of global environmental and energy value of vehicle technologies. final conferenza 17 April 2008. Lucca.

Ministero dello sviluppo economico. (2015). Guida sul risparmio di carburanti e sulle emissioni di CO2 delle autovetture. Ministero dello sviluppo economico. Tratto da <http://www.sviluppoeconomico.gov.it/index.php/it/cittadino-e-consumatori/qualita-di-prodotti-e-servizi/auto-ed-emissioni-co2>

Notter D.A., G. M.-J. (2010). Contribution of LiIon Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles. *Environ Sci Technol.*, 44(17), 6550-6556. doi:doi:10.1021/es903729a

Notter, D. A., Gauch, M., Widmer, R., Wäger, P., Stamp, A., Zah, R., & Althaus, H.-J. (2010). 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 technology.

Pasaoglu, G., Fiorello, D., Zani, L., Martino, A., Zubaryeva, A., & Thiel, C. (2013). Projections for Electric Vehicle Load Profiles in Europe Based on Travel Survey Data. JRC scientific and policy reports.

Patterson, J., Alexander, M., & Gurr, A. (2011). Preparing for a Life Cycle CO2Measure. A report to inform the debate by identifying and establishing the viability of assessing a vehicle s life cycle CO2e footprint. Ricardo.

Perujo, A., & Ciuffo, B. (2009). 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., & 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. wp SIET.

TERNA. (2013). Dati generali.

TERNA. (2014). Confronto Giornaliero. Tratto da [terna.it: https://www.terna.it/it-it/sistemaelettrico/dispacciamento/datiesercizio/datigiornalieri/confronto.aspx](https://www.terna.it/it-it/sistemaelettrico/dispacciamento/datiesercizio/datigiornalieri/confronto.aspx)

TERNA. (2014). Piano di sviluppo.

TERNA. (2014). Raporto mensile sul consumo elettrico.

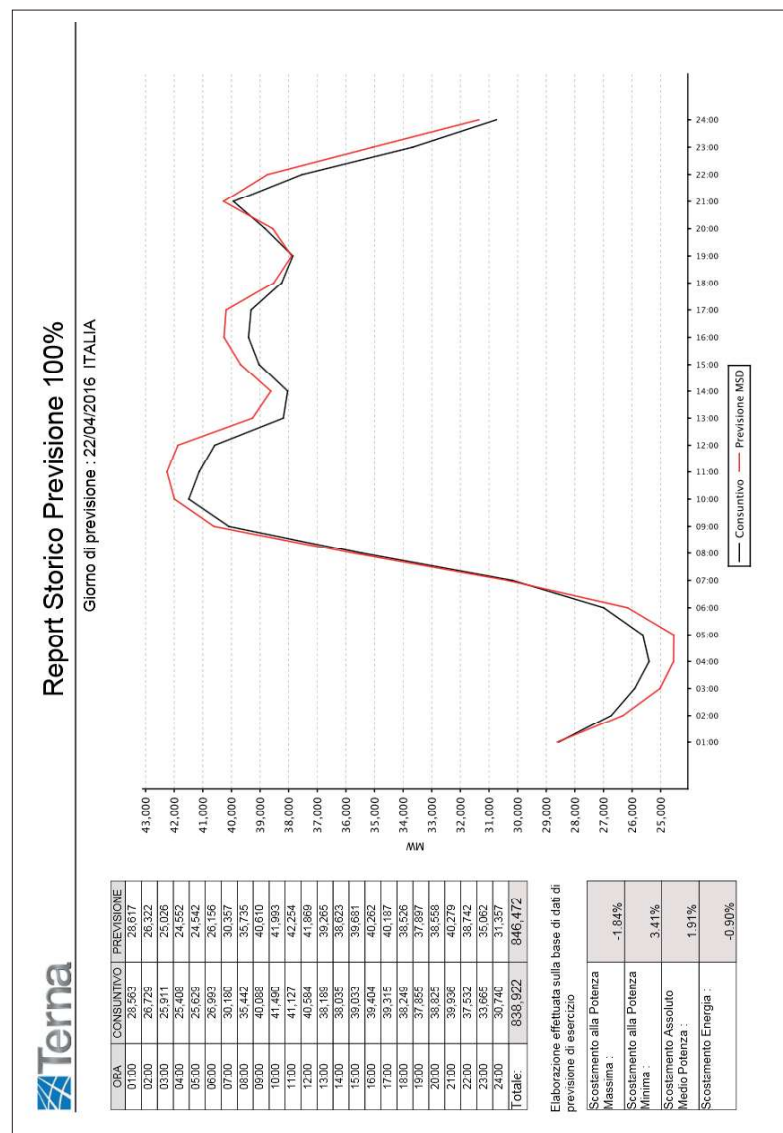
U.S. Environmental Protection Agency. (2016, 04 18). Low greenhouse gas emitting/eisa 141 compliant light duty vehiclesmodel year. Tratto il giorno 04 28, 2016 da <https://www3.epa.gov/otaq/climate/documents/420b16030a.pdf>

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

Zhang, K., Xu, L., Ouyang, M., Hewu, W., Lu, L., Li, J., & Li, Z. (2013). Optimal decentralized valley-filling charging strategy for electric. *Energy Conversion and Management*, 78, 537-550.

11.5. Allegati

11.5.1. Esempio di documento di consuntivo giornaliero fornito da Terna s.p.a.



11.5.2. Coefficienti di attivazione energetica e costanti delle regressioni

Tabella 13 – Coefficienti stimati per quattro settimane campione dei 4 regimi climatici (2014)

$$\text{Carbone}_{o,g,r} = C1_{o,g,r} + \beta1_{o,r} * \text{Termoelettrico}_{o,g,r} + u1_{o,g,r}$$

$$\text{Gas}_{o,g,r} = C2_{o,g,r} + \beta2_{o,r} * \text{Termoelettrico}_{o,g,r} + u2_{o,g,r}$$

$$\text{Altri}_{o,g,r} = C3_{o,g,r} + \beta3_{o,r} * \text{Termoelettrico}_{o,g,r} + u3_{o,g,r}$$

per ogni o=ora,g=giorno,r=regime

| | settimana 24 | | | | | | settimana 31 | | | | | |
|-------|--------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------------|---------|---------|--------|---------|---------|
| | C1 | β1 | C2 | β2 | C3 | β3 | C1 | β1 | C2 | β2 | C3 | β3 |
| 00:00 | 2218,6 | 0,0972 | -4282,5 | 0,8288 | 2063,9 | 0,074 | 3966,4 | 0,0422 | 1380,4 | 0,339 | -5346,8 | 0,6188 |
| 01:00 | -741 | 0,29 | -1555,9 | 0,6457 | 2296,9 | 0,0643 | 5023,3 | -0,0623 | 1273,4 | 0,3514 | -6296,7 | 0,7109 |
| 02:00 | -982,5 | 0,3169 | -438,49 | 0,5609 | 1421 | 0,1222 | 1316,9 | 0,1395 | 3199 | 0,2356 | -4515,9 | 0,625 |
| 03:00 | -608,8 | 0,2911 | -654,25 | 0,5791 | 1263,1 | 0,1298 | 1904,4 | 0,0894 | 2299,8 | 0,3037 | -4204,2 | 0,6068 |
| 04:00 | 1,8756 | 0,2485 | -999,62 | 0,6032 | 997,75 | 0,1483 | 996,3 | 0,1506 | 1833,9 | 0,3366 | -2830,2 | 0,5128 |
| 05:00 | 921,93 | 0,1736 | -2132,8 | 0,6887 | 1210,9 | 0,1377 | 315,34 | 0,2054 | 3275,5 | 0,2365 | -3590,8 | 0,5581 |
| 06:00 | 2769,6 | 0,072 | -4516,7 | 0,8273 | 1747,2 | 0,1007 | -58,81 | 0,2332 | 1621,1 | 0,3627 | -1562,2 | 0,4041 |
| 07:00 | 3541,5 | 0,0404 | -5215,4 | 0,8687 | 1674 | 0,0909 | 17,535 | 0,2167 | 52,522 | 0,4957 | -70,057 | 0,2876 |
| 08:00 | 4076,8 | 0,0075 | -4469 | 0,804 | 392,21 | 0,1885 | 945,15 | 0,1374 | 438,35 | 0,5049 | -1383,5 | 0,3577 |
| 09:00 | 2140,6 | 0,0861 | -2815,5 | 0,7444 | 674,94 | 0,1695 | 557,25 | 0,1505 | -776,39 | 0,5894 | 219,14 | 0,2601 |
| 10:00 | 2566,1 | 0,0868 | -3119,4 | 0,7333 | 553,32 | 0,1798 | 337,32 | 0,1607 | 167,81 | 0,5341 | -505,13 | 0,3052 |
| 11:00 | 2916,7 | 0,0758 | -3015,1 | 0,7128 | 98,397 | 0,2114 | 428,06 | 0,1534 | -390,59 | 0,5694 | -37,468 | 0,2772 |
| 12:00 | 3822 | 0,0376 | -3270,1 | 0,7123 | -551,9 | 0,2501 | -810,15 | 0,2566 | 1471,2 | 0,4238 | -661 | 0,3196 |
| 13:00 | 2649,1 | 0,0907 | -2556,3 | 0,6817 | -92,79 | 0,2276 | -699,27 | 0,2536 | 359,08 | 0,5034 | 340,19 | 0,2431 |
| 14:00 | 1823,2 | 0,1279 | -2024 | 0,6575 | 200,85 | 0,2146 | -351,08 | 0,2342 | 234,08 | 0,5053 | 117 | 0,2605 |
| 15:00 | 2560,6 | 0,1071 | -3009,1 | 0,6983 | 448,48 | 0,1946 | 6,6135 | 0,1972 | -969,42 | 0,5973 | 962,81 | 0,2055 |
| 16:00 | 3137,5 | 0,0801 | -3498,8 | 0,7303 | 361,35 | 0,1896 | -221,74 | 0,2154 | -602,8 | 0,5634 | 824,54 | 0,2212 |
| 17:00 | 3216,1 | 0,07 | -3246,4 | 0,7368 | 30,294 | 0,1932 | -149,18 | 0,2002 | 1366,9 | 0,4627 | -1217,7 | 0,3371 |
| 18:00 | 5067,7 | -0,01 | -5083,7 | 0,8316 | 15,932 | 0,1787 | -1232 | 0,2766 | -251,9 | 0,5583 | 1483,9 | 0,1651 |
| 19:00 | 6995,5 | -0,078 | -8318 | 0,9424 | 1322,5 | 0,136 | 794,75 | 0,1822 | -3346,8 | 0,7138 | 2552,1 | 0,1041 |
| 20:00 | 7521,1 | -0,109 | -8443 | 0,9668 | 921,95 | 0,1426 | 2493,3 | 0,0986 | -2707,6 | 0,6767 | 214,34 | 0,2247 |
| 21:00 | 6830,5 | -0,084 | -8892,5 | 0,9927 | 2062 | 0,091 | 6707,5 | -0,1052 | -4517,8 | 0,7668 | -2189,7 | 0,3385 |
| 22:00 | 8601 | -0,156 | -8634,8 | 0,9627 | 33,849 | 0,1928 | 8057,6 | -0,1692 | -16116 | 1,3423 | 8058,4 | -0,1731 |
| 23:00 | 8195 | -0,165 | -6774,6 | 0,8788 | -1420 | 0,2866 | 7550 | -0,173 | -19469 | 1,5552 | 11919 | -0,3823 |

| | settimana 37 | | | | | | settimana 48 | | | | | |
|-------|--------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | C1 | β1 | C2 | β2 | C3 | β3 | C1 | β1 | C2 | β2 | C3 | β3 |
| 00:00 | 8400,2 | -0,13 | -25601 | 1,6294 | 17201 | -0,499 | 3290,2 | 0,0977 | 411,18 | 0,3446 | -3701,4 | 0,5579 |
| 01:00 | 7739 | -0,112 | -27487 | 1,7733 | 19748 | -0,661 | 2426,7 | 0,115 | -461,88 | 0,4366 | -1964,8 | 0,4485 |
| 02:00 | 7237,1 | -0,091 | -24290 | 1,6862 | 17053 | -0,595 | 1263,1 | 0,1676 | 547,77 | 0,3671 | -1810,9 | 0,4653 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|
| 03:00 | 7986,9 | -0,13 | -24951 | 1,7463 | 16964 | -0,617 | 849,74 | 0,1888 | 375,9 | 0,387 | -1225,6 | 0,4242 |
| 04:00 | 8565,6 | -0,154 | -25466 | 1,7461 | 16900 | -0,592 | 1811,4 | 0,1102 | -922,41 | 0,4852 | -888,99 | 0,4045 |
| 05:00 | 12560 | -0,338 | -28613 | 1,8514 | 16053 | -0,514 | -254,47 | 0,2795 | 2037,5 | 0,2777 | -1783,1 | 0,4428 |
| 06:00 | 13917 | -0,385 | -23561 | 1,5428 | 9644,2 | -0,158 | 1079,4 | 0,2166 | -1356 | 0,5167 | 276,59 | 0,2667 |
| 07:00 | 9517,8 | -0,183 | -18750 | 1,3298 | 9232,5 | -0,147 | 2919,1 | 0,075 | -3898,8 | 0,7347 | 979,74 | 0,1903 |
| 08:00 | 8461,8 | -0,132 | -16999 | 1,2291 | 8536,8 | -0,097 | 3191,6 | 0,0444 | -4435,7 | 0,7834 | 1244,1 | 0,1722 |
| 09:00 | 9246,6 | -0,159 | -16090 | 1,205 | 6843,7 | -0,045 | 3845,1 | 0,0076 | -5436,7 | 0,8519 | 1591,6 | 0,1405 |
| 10:00 | 6267,8 | -0,055 | -14469 | 1,1732 | 8200,7 | -0,118 | 5046,6 | -0,0478 | -5901,4 | 0,8757 | 854,74 | 0,1721 |
| 11:00 | 4289,3 | 0,0123 | -12880 | 1,1245 | 8590,4 | -0,137 | 5837,7 | -0,0734 | -6932,4 | 0,9137 | 1094,7 | 0,1598 |
| 12:00 | 4364,3 | 0,0055 | -13210 | 1,1493 | 8845,1 | -0,155 | 6289,6 | -0,0836 | -8743,2 | 1,0038 | 2453,6 | 0,0799 |
| 13:00 | 3679,4 | 0,0177 | -12612 | 1,1517 | 8932,9 | -0,169 | 3928,1 | 0,0269 | -6682,9 | 0,9005 | 2754,8 | 0,0726 |
| 14:00 | 3335,2 | 0,0353 | -11101 | 1,066 | 7765,9 | -0,101 | 5428,5 | -0,0429 | -7079 | 0,898 | 1650,5 | 0,145 |
| 15:00 | 4187,1 | -0,004 | -12231 | 1,1252 | 8043,7 | -0,121 | 4464,2 | -0,012 | -5633,3 | 0,8499 | 1169,1 | 0,162 |
| 16:00 | 5140,2 | -0,029 | -13149 | 1,1328 | 8008,3 | -0,103 | 4488,5 | -0,0063 | -4852,9 | 0,8134 | 364,45 | 0,1928 |
| 17:00 | 9721,6 | -0,174 | -16076 | 1,2143 | 6354,1 | -0,04 | 6665 | -0,0926 | -6992,2 | 0,9261 | 327,2 | 0,1666 |
| 18:00 | 9587,8 | -0,16 | -23262 | 1,4376 | 13675 | -0,278 | 7414 | -0,1193 | -6616,6 | 0,9153 | -797,37 | 0,2039 |
| 19:00 | 14382 | -0,294 | -29162 | 1,588 | 14780 | -0,294 | 8021,8 | -0,1414 | -9546,6 | 1,0373 | 1524,8 | 0,1041 |
| 20:00 | 16943 | -0,36 | -35267 | 1,7548 | 18324 | -0,395 | 8011,9 | -0,133 | -11138 | 1,1095 | 3125,7 | 0,0236 |
| 21:00 | 13260 | -0,276 | -30732 | 1,6754 | 17472 | -0,4 | 8206,3 | -0,1436 | -9834 | 1,049 | 1627,7 | 0,0946 |
| 22:00 | 17508 | -0,439 | -44811 | 2,2823 | 27304 | -0,843 | 3823,9 | 0,069 | -4601,4 | 0,7418 | 777,49 | 0,1892 |
| 23:00 | 18392 | -0,511 | -36365 | 2,0506 | 17973 | -0,539 | 593,48 | 0,2202 | -2279,1 | 0,6367 | 1685,7 | 0,143 |