

# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica & Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

Il passaggio a soluzioni plug-in per autoveicoli in Piemonte: gli impatti sul sistema elettrico e sull'ambiente che ne derivano.



## **Relatore**

Prof. Ing. Bruno Dalla Chiara

## **Correlatori**

Dott.ssa Raffaella Gerboni

Dott.ssa Sylvie Occelli (IRES Piemonte)

Dott. Simone Landini (IRES Piemonte)

## **Candidato**

Alberto Dusnasio

Anno accademico 2020/2021

## Indice

Glossario .....	4
Abstract.....	5
1 Introduzione.....	7
2 Le emissioni in ambiente causate dal trasporto veicolare e le normative legate al trasporto .....	10
2.1 Il contributo ai diversi inquinanti del trasporto stradale .....	10
2.2 Parco veicolare piemontese .....	13
2.3 Normative per il trasporto .....	14
3 Le architetture dei veicoli elettrici e le modalità di ricarica .....	17
3.1 Classificazione dei veicoli elettrici .....	17
3.2 Panoramica sulle batterie .....	20
3.3 La ricarica dei veicoli elettrici.....	21
4 Stato dell'arte del sistema elettrico piemontese.....	25
4.1 Centrali termoelettriche piemontesi .....	28
5 Rete elettrica domestica: possibilità di ricarica per i veicoli PHEV e BEV .....	36
6 Scenari di impatto dei veicoli PHEV e BEV al 2030 sul carico elettrico piemontese .....	41
6.1 Stima dei chilometri percorsi .....	41
6.2 Scenario di Programma .....	45
6.3 Scenario Tecnologico accelerato.....	49
7 Scenari di ricarica per il parco circolante piemontese 2030 .....	53
7.1 Ricarica domestica dei veicoli PHEV-BEV, con contratto da 3 kW .....	53
7.2 Ricarica domestica dei veicoli PHEV-BEV, con contratto da 4,5 kW .....	56
8 Evoluzione delle emissioni di CO <sub>2</sub> del parco circolante piemontese al 2030 .....	58
8.1 Emissioni di CO <sub>2</sub> delle immatricolazioni nel territorio piemontese.....	58
8.2 Emissioni di CO <sub>2</sub> del parco circolante piemontese .....	64
9 Analisi WTW.....	69

Conclusioni.....	76
Allegati .....	78
Allegato 1 .....	78
Indice figure.....	80
Indice tabelle.....	81
Bibliografia.....	83

## Glossario

**AC** Alternate Current

**BEV** Battery Electric Vehicle

**DC** Direct Current

**NEDC** New European Driving Cycle

**PEV** Plug-in Hybrid Electric Vehicle

**TTW** Tank to Wheel

**V2G** Vehicle to Grid

**WLTP** World harmonized Light vehicles Test Procedure

**WTT** Well to Rank

**WTW** Well to Wheel

## Abstract

Negli ultimi anni stiamo assistendo a una comparsa graduale sulle nostre strade di veicoli a propulsione ibrida (PHEV, HEV) o a completa propulsione elettrica (BEV).

In Europa, la diffusione dei veicoli elettrici è stata incentivata dal fatto che l'Unione Europea si è posta dei limiti relativi alla CO<sub>2</sub> emessa dai gas di scarico degli autoveicoli; tali provvedimenti si collocano all'interno di un più ampio obiettivo di riduzione della CO<sub>2</sub> complessiva emessa nell'atmosfera.

Questa tesi si propone di analizzare l'impatto che può avere un aumento dei veicoli elettrici ed elettrificati nel parco veicolare della regione Piemonte.

Il progressivo passaggio all'elettrificazione del parco circolante piemontese avrà diversi effetti fra i quali i principali sono:

- la riduzione delle emissioni in atmosfera
- l'aumento della domanda di energia elettrica

Partendo dall'analisi del parco circolante attuale, si propongono degli scenari sulla situazione del parco veicoli nel 2030.

Sulla base di questi scenari viene effettuata una stima della domanda aggiuntiva di energia elettrica e come essa sarà suddivisa fra rinnovabile e non.

Viene individuato un limite di potenza oraria prelevabile in rete, ipotizzando di aumentare la produttività degli impianti esistenti.

Viene condotta una stima di quanti veicoli potranno essere ricaricati contemporaneamente nelle diverse ore del giorno, con quali modalità, senza superare il limite di potenza.

Viene valutata la variazione della curva di carico domestica con la ricarica di un veicolo plug-in<sup>1</sup>, ponendo come limite la potenza resa disponibile dal contratto di fornitura.

Differenti soluzioni di ricarica, lenta-rapida-veloce, per differenti architetture di PHEV o BHEV vengono analizzati.

Viene altresì condotto un confronto fra la CO<sub>2</sub> emessa attualmente e in futuro, tenendo conto non solo delle emissioni dovute all'energia spesa dal veicolo per muoversi (TTW), ma anche dell'energia necessaria per produrre quest'ultima (WTT), dato particolarmente importante per i veicoli elettrici.

---

<sup>1</sup> Veicolo plug-in : veicolo che può ricaricarsi da una fonte esterna di energia elettrica: BEV/PHEV.

L'analisi delle emissioni WTW e la possibilità di soddisfare la nuova domanda di energia elettrica divengono i punti chiave da analizzare per studiare le effettive conseguenze (costi e benefici) di un reale e concreto incremento di veicoli elettrici nel parco circolante piemontese.

# 1 Introduzione

Il tema del surriscaldamento globale causato dall'emissione di gas serra è stato affrontato con fermezza dall'UE solo negli ultimi anni.

Esiste però un altro inquinante molto importante da tenere sotto controllo per salvaguardare la salute umana: il PM10.

L'OMS ha fornito un valore di concentrazione di PM10 medio annuale da non superare,  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

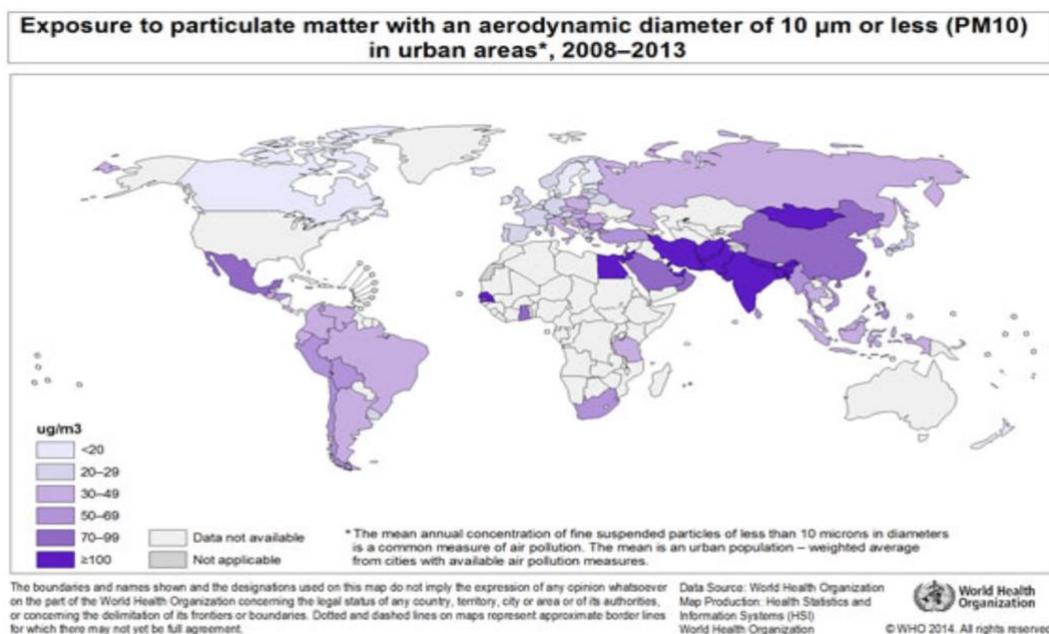


Figura 1: Concentrazione media annuale di PM10 in 91 paesi [1].

Tra il 2008 e il 2013 l'OMS ha raccolto i dati relativi alla concentrazione media annuale di 1600 città in 91 paesi di tutto il mondo e circa la metà delle città presenta un valore di inquinamento superiore di 2.5 volte al livello che raccomanda l'OMS.

Arpa Piemonte con il Dipartimento di Epidemiologia e Salute Ambientale, ha preso parte al progetto VIAS, concluso e presentato al Ministero della Salute nel 2014, che presentava delle stime di impatto per alcuni inquinanti a livello nazionale e regionale.

Secondo il progetto VIAS, l'inquinamento atmosferico da particolato fine (PM 2.5) è responsabile ogni anno di circa 30 mila decessi in Italia e 2473 decessi in Piemonte per il particolato fine [2].

Nell'accordo di Parigi del 2015, 190 Stati compresa l'UE e quindi l'Italia, si sono posti l'obiettivo di contenere l'aumento della temperatura media globale al di sotto di 1.5 °C [3].

Tra il 1880 e il 2017, la temperatura media globale è aumentata di 0.85 °C, mentre per quanto riguarda la regione Piemonte negli ultimi 60 anni le temperature massime hanno avuto un aumento di 1.5°C, e quelle minime di 2 °C [4].

Per contenere l'emissione di CO<sub>2</sub> in atmosfera, l'UE ha imposto alle case automobilistiche dei limiti, via via più stringenti, per la CO<sub>2</sub> emessa dai veicoli in termini g/km, ponderati sul numero dei veicoli venduti.

Il limite imposto per il 2015 per i veicoli era di 130 g/km, mentre per il 2020 è di 95 g/km, inoltre dal 2020 i target futuri di emissione non utilizzeranno più come riferimento il ciclo di omologazione NEDC ma il WLTP, il nuovo ciclo sarà più rappresentativo della situazione di guida reale [5].

Per soddisfare questi standard, le case automobilistiche hanno cercato inizialmente di rendere più efficiente la tecnologia predominante (ciclo Otto e ciclo Diesel).

Le tecnologie per limitare il consumo di carburante e quindi la CO<sub>2</sub> emessa, sono: lo Start&Stop, la disattivazione di una parte dei cilindri, il "Downsizing" e l'utilizzo di motori turbocompressi sulla maggior parte dei veicoli [6]. Nello specifico:

- Il "Downsizing" consiste nella riduzione della cilindrata dei nuovi motori senza però ridurre la potenza, ciò accade grazie all'ausilio del turbocompressore.
- Il turbocompressore permette di recuperare l'energia dei gas di scarico e utilizzarla per comprimere l'aria immessa nel cilindro e quindi verranno inseriti più aria e più combustibile in modo tale da aumentare il lavoro utile del ciclo.
- Lo Start&Stop fa sì che il motore si spenga tutte quelle volte che il veicolo è fermo, ma con il motore acceso.
- La disattivazione dei cilindri consiste nella disattivazione di uno o più cilindri quando la centralina valuta che il motore richiede una potenza sufficientemente bassa.

I miglioramenti descritti sopra non sono sufficienti per raggiungere gli obiettivi imposti dall'UE per il 2020, 2025 e 2030, perciò le case automobilistiche hanno inserito nella produzione veicoli elettrificati e forniti di batteria.

I veicoli elettrificati e forniti di batterie si dividono in: BEV, PHEV E HEV.

I BEV e i PHEV sono caratterizzati dall'aver uno o più motori elettrici alimentati da batterie ricaricabili tramite alimentazione esterna e frenata rigenerativa.

Nella fase di percorrenza (TTW) a trazione puramente elettrica, questi veicoli hanno la peculiarità di azzerare le emissioni di inquinanti e di CO<sub>2</sub> prodotte.

Le emissioni prodotte durante la produzione di energia elettrica (WTT) dipendono invece dal mix energetico nazionale o regionale, in questa tesi si analizzerà in particolare la produzione di energia elettrica della regione Piemonte.

Si osserva che le emissioni WTT saranno tanto più basse quanto più alta sarà la componente di energia rinnovabile o nucleare all'interno del mix energetico.

La presenza sempre più consistente di veicoli plug-in nel parco circolante piemontese porta a dover fare delle considerazioni sulla nuova domanda annua di energia elettrica all'interno della rete regionale.

Più importante della domanda di energia è la domanda di potenza nell'istante della ricarica dei veicoli plug-in; la potenza richiesta dipende dalle modalità di ricarica che dovranno essere analizzate singolarmente.

Gli obiettivi della tesi saranno quindi quelli di analizzare se la transizione verso la motorizzazione plug-in in ambito piemontese sarà sostenibile a livello di produzione elettrica e stimare le emissioni WTW del parco circolante piemontese del 2019 e del 2030.

Per la previsione del futuro parco circolante piemontese (2030), saranno utilizzati gli scenari proposti dalla Fondazione Caracciolo.

Le emissioni stimate per il 2030 saranno confrontate con gli obiettivi imposti dalla Commissione europea.

## 2 Le emissioni in ambiente causate dal trasporto veicolare e le normative legate al trasporto

Gli autoveicoli durante il loro utilizzo rilasciano nell' ambiente molte sostanze inquinanti, le principali sono i gas climalteranti (GHG) e il PM10.

Le policies dell'Unione Europea hanno posto dei limiti riguardo alle emissioni prodotte dalle auto vendute. Tali limitazioni sono sempre più restrittive con il passare degli anni (2020-2025-2030) e molte città hanno limitato il traffico per controllare lo "Smog".

### 2.1 Il contributo ai diversi inquinanti del trasporto stradale

Una delle cause principali dell'inquinamento atmosferico nei centri urbani è il trasporto stradale, con le emissioni di PM10 e NOx.

La Figura 2 rappresenta, per la regione Piemonte, l'incidenza percentuale dei settori sulle quantità di inquinanti.

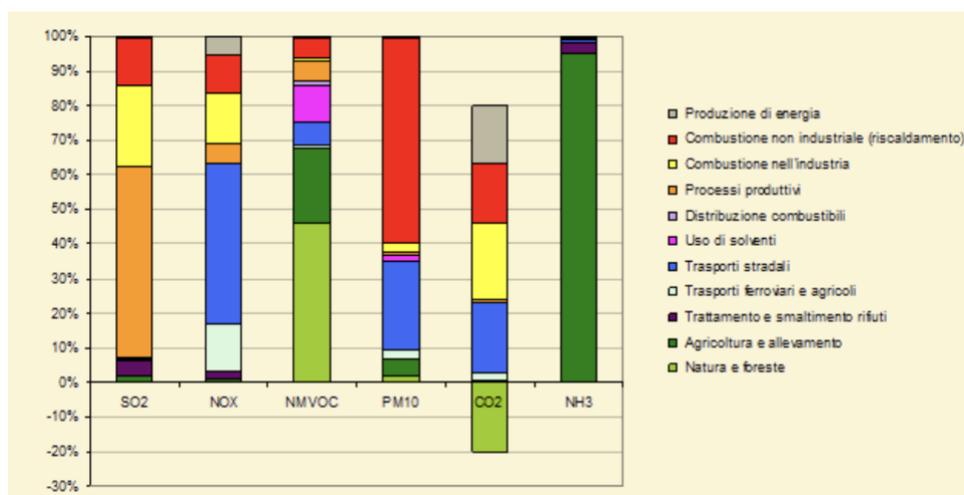


Figura 2: Contributo dei settori alla produzione dei diversi inquinanti per comparto emissivo, nelle aree urbane del Piemonte, 2019 [7].

La CO<sub>2</sub> non provoca danni diretti alla salute umana, ma è la principale causa dell'effetto serra e quindi del surriscaldamento globale; gli autoveicoli sono causa per il 34% dell'emissione di CO<sub>2</sub>.

Per le emissioni di PM10, il maggior responsabile è il riscaldamento degli edifici (59%), mentre il trasporto stradale è responsabile per il 25%.

Il maggior contributo per le emissioni di NOx è il trasporto stradale (47%) [7].

Il PM10, se inalato, raggiunge il tratto superiore dell'apparato respiratorio (naso-laringe); Il PM2.5, particolato ancora più fine, può penetrare fino al tratto inferiore dell'apparato respiratorio (alveoli polmonari), entrambi provocano danno all'apparato respiratorio (asma, bronchiti e allergia).

L'NO viene prodotto ad alte temperature, in caso di combustione con eccesso di ossigeno, non è tossico, ma giunto in ambiente si ossida in NO2; l'NO2 è tossico e irritante e provoca asfissia.

La Pianura Padana per la sua conformazione, è chiusa dalle montagne e poco ventilata; per lo più d'inverno quando si forma uno strato d'aria fredda al suolo, dove ristagnano le sostanze inquinanti, il limite giornaliero per il Pm10 viene spesso superato.

La concentrazione di pm10 nell'aria non deve superare il valore di 50 µg/m<sup>3</sup> per più di 35 giorni l'anno, limite suggerito dall'OMS e imposto dall'UE.

A Torino, durante il 2018, sono stati registrati come massimo 87 giorni e come minimo 33 giorni di superamento del limite giornaliero consentito, il primo dalla stazione di monitoraggio Torino-Rebaudengo e il secondo dalla stazione di monitoraggio Torino-Rubino.

I veicoli diesel, a causa dell'imperfetta combustione, emettono molto particolato, per questo motivo molte città europee (compresa Torino) hanno deciso di limitarne la circolazione.

I veicoli elettrici producono del particolato, seppur minimo, dall'usura del battistrada degli pneumatici e dei ferodi dei freni durante la frenata.

I metodi più comuni per valutare le emissioni di polveri sottili che non provengono dai gas di scarico sono [15]:

- Stima: si basa sui dati statistici, presi a livello nazionale (UK), riguardanti il consumo medio degli pneumatici, dei ferodi dei freni e i chilometri percorsi prima delle sostituzioni di queste componenti. Alcune case costruttrici forniscono i valori sulla velocità di usura, molto utili per stimarne le emissioni.
- Misurazioni in laboratorio: Con un simulatore di strada circolare, si possono fare dei test per misurare l'usura degli pneumatici, dei ferodi dei freni e del manto stradale.

Esistono poi dei rilevatori per le polveri sottili in aria che vengono posti a lato della strada o in prossimità delle gallerie e confrontando tali valori con quelli rilevati lontano dal traffico, si può dedurre l'inquinamento dovuto al fattore traffico.

Altre tipologie di rilevatori vengono installate direttamente sul veicolo o su un rimorchio dietro al veicolo.

L'agenzia europea dell'ambiente (EEA) e altre agenzie di tutto il mondo hanno riportato i propri risultati delle emissioni relative al particolato non provenienti dai gas di scarico:

Reference	Emission source	PM <sub>10</sub> (mg/vkm)	PM <sub>2.5</sub> (mg/vkm)
EEA (Ntziachristos and Boulter, 2013)	Tyres	6.4	4.5
	Brakes	7.4	2.9
	Road	7.5	4.1
US EPA (2014)	Tyres	6.1	0.9
	Brakes	18.5	2.3
Dutch PRTR (Klein et al., 2014)	Tyres	5	1
	Brakes	4.3	0.6
Dutch PRTR (Denier van der Gon et al., 2008)	Road	7	1.1
UK NAEI (Brown and Pang, 2014)	Tyres	7	5
	Brakes	7	3
	Road	8	4
	Resuspension	40	12
<b>Average</b>	<b>Tyres</b>	<b>6.1</b>	<b>2.9</b>
	<b>Brakes</b>	<b>9.3</b>	<b>2.2</b>
	<b>Road</b>	<b>7.5</b>	<b>3.1</b>
	<b>Resuspension</b>	<b>40</b>	<b>12</b>

Figura 3: Risultati delle emissioni causate dall'usura degli pneumatici, dei ferodi dei freni, del manto stradale e i valori di polveri sottili sollevati dalle auto[15].

Il Regno Unito, attraverso i suoi esperti, ha redatto un report sull'emissioni del traffico non provenienti dai gas di scarico.

I dati raccolti dal "UK National Atmospheric Emissions Inventory (NAEI)" indicano che nel 2016 le emissioni di PM10 provenienti dall'usura degli pneumatici, dell'asfalto e dei ferodi dei freni superano le emissioni provenienti dai gas di scarico: le prime sono il 73% e le seconde il 27% del totale delle emissioni dovute all'attività veicolare [16].

Secondo le previsioni al 2030 la forbice si allargherà, arrivando ad attribuire il 90% alle emissioni di PM10 non provenienti ai gas di scarico.

A partire dal 1992 sono stati fissati degli standard europei sulle emissioni inquinanti e su tutti i veicoli è stato installato il catalizzatore nella marmitta; questo componente trasforma gli idrocarburi incombusti, il CO e gli NOx in CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e N<sub>2</sub>.

A partire dal 2000 molti veicoli diesel sono stati dotati di filtro anti-particolato (DPF/FAP) per limitare le polveri sottili emesse e dall'omologazione Euro 4 tutte le motorizzazioni diesel ne sono dotate, inoltre dall'Euro 6c sono stati datati anche i veicoli benzina (GPF).

## 2.2 Parco veicolare piemontese

I nuovi veicoli prodotti dovranno inquinare meno per rispettare il limite europeo per la CO<sub>2</sub> emessa; i veicoli diesel, poiché emettono più particolato di quelli a benzina, sono già sottoposti a limitazioni nella circolazione urbana di molte città e comuni piemontesi.

Per questi motivi nel 2020 sono presenti in commercio molti veicoli sia elettrificati che elettrici, in particolare una trentina di BEV.

In Italia nel 2019 sono state immatricolate 93.070 autovetture ibride e 10.612 autovetture elettriche, con un incremento globale del 39,2% rispetto ai veicoli elettrici/ibridi venduti nel 2018.

Per quanto riguarda il Piemonte, si rileva una crescita che rispecchia quella nazionale, con un incremento del 39,5% delle immatricolazioni dei veicoli elettrici/ibridi rispetto al 2018 [8].

Il parco veicolare piemontese, aggiornato al 2019, è composto da 26.865 veicoli ibridi e 1.374 elettrici.

2019		
Alimentazione	N.Veicoli	%
BENZINA	1.423.421	48,45%
DIESEL	1.186.556	40,39%
HEV +PHEV (B)	25.601	0,87%
HEV +PHEV (D)	1.264	0,04%
BEV	1.374	0,05%
METANO	34.418	1,17%
GPL	265.250	9,03%
Totale	2.938.022	100%

Tabella 1: Parco circolante piemontese, elaborazione dati Aci 2019 [17].

I veicoli elettrici/elettrificati in Piemonte rappresentano ancora una minima parte del parco circolante, circa l'1%.

Nonostante il mercato dell'elettrico sia in continua crescita e i governi sostengano questa transizione con apposite politiche di incentivazione, sono state sollevate alcune critiche nei confronti dei veicoli a trazione puramente elettrica.

Le critiche sono legate alla produzione e smaltimento delle batterie, alla rete di infrastrutture per la ricarica ancora insufficiente e al costo elevato di tali veicoli; tali limiti hanno orientato il mercato verso i veicoli ibridi o plug-in, perché possiedono entrambe le trazioni e hanno un costo inferiore rispetto a quelli solo elettrici.

In Italia, a fine gennaio 2020, erano presenti 13721 punti di ricarica in 7203 stazioni, di cui il 73% su suolo pubblico e il 27% su suolo privato a uso pubblico [9].

Le infrastrutture di ricarica hanno avuto una crescita media del 33% rispetto a fine settembre 2019.

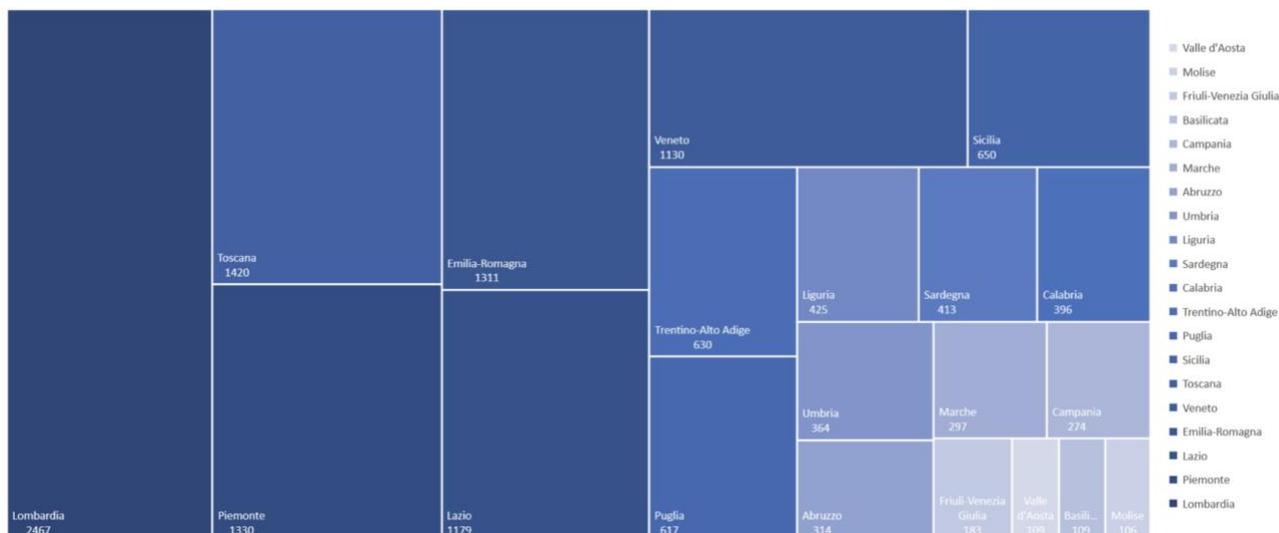


Figura 4: Distribuzione territoriale punti di ricarica [9].

Cinque regioni del centro-nord (Emilia-Romagna, Piemonte, Lombardia, Trentino-Alto Adige e Veneto) coprono complessivamente il 50% delle infrastrutture di ricarica in Italia, la Lombardia possiede il 18% delle stazioni di ricarica.

### 2.3 Normative per il trasporto

La Commissione europea negli ultimi anni si è posta degli obiettivi per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> e ridurre la dipendenza dal petrolio.

Nel Libro Bianco sui trasporti del 2011, la Commissione europea afferma che è necessaria una riduzione dell'emissione di gas serra da parte dei trasporti di almeno il 60% entro il 2050, rispetto ai livelli del 1990. Per il 2030 l'obiettivo del settore dei trasporti è la riduzione di emissione di gas serra del 20% rispetto ai livelli del 2008 [10].

L'Unione Europea ha posto dei limiti sull'emissione di CO<sub>2</sub> per i nuovi veicoli venduti:

- 95 g CO<sub>2</sub>/km per il 95% delle immatricolazioni di ogni casa automobilistica nel 2020, nel 2021 per il 100% delle immatricolazioni.
- 2025: -15% rispetto al 2021
- 2030: -37,5 rispetto al 2021

Dal 2018, le auto nuove devono essere sottoposte al ciclo di omologazione WLTP, invece del NEDC. Il ciclo WLTP simula in maniera più realistica l'utilizzo dell'automobile, perciò le emissioni saranno più alte e per questo motivo i limiti imposti dall'UE vengono aumentati del 20% (114 g CO<sub>2</sub>/km) [26].

Le case costruttrici di automobili per rispettare i limiti sulle emissioni hanno dapprima reso più efficienti i classici motori a combustione interna, rendendoli sovralimentati e utilizzando motori di cilindrata inferiore; quando poi i limiti sono diventati più stringenti sono entrati nel mercato veicoli ibridi ed elettrici.

I vari stati membri dell'UE hanno il compito di redigere delle normative per favorire la diffusione dei veicoli elettrici.

Per favorire la mobilità elettrica, il governo italiano ha previsto una serie di incentivi nella Legge di Bilancio 2019 e nel Decreto Rilancio del Luglio 2020.

Gli incentivi previsti nella Legge di Bilancio (Ecobonus) includono i veicoli nuovi di fabbrica appartenenti alla categoria M1, immatricolati tra il 1° Marzo 2019 e il 31 Dicembre 2021.

Il contributo aumenta se all'atto dell'acquisto viene consegnato un veicolo della stessa categoria omologato alle classi Euro 1,2,3 e 4 intestato al proprietario, o ad un suo familiare, da almeno 12 mesi.

CO <sub>2</sub> emessa [g/km]	Con Rottamazione	Senza Rottamazione
0-20	6.000 €	4.000€
21-60	2.500€	1.500€

Tabella 2: Contributi Legge di Bilancio 2019 [10].

Gli incentivi previsti dal Decreto Rilancio si sommano agli incentivi previsti nella Legge di Bilancio, valgono per i veicoli nuovi, immatricolati tra il 1° Agosto 2020 e il 31 Dicembre 2020; il contributo dipende dalla quantità di CO<sub>2</sub> emessa e dall'eventuale rottamazione di un veicolo omologato Euro 1,2,3 e 4 immatricolato da almeno 10 anni intestato al proprietario, o ad un suo familiare, da almeno 12 mesi.

La legge stabilisce che per poter erogare l'incentivo il venditore deve applicare uno sconto almeno pari ad euro 2.000,00 con rottamazione ed euro 1.000,00 senza rottamazione.

CO <sub>2</sub> emessa [g/km]	Con Rottamazione	Senza Rottamazione
0-20	2.000 €	1.000€
21-60	2.000€	1.000€
61-90	1.750€	1.000€
91-110	1.500€	750€

Tabella 3: contributi Decreto Rilancio Luglio 2020 [10].

Per favorire la mobilità elettrica, ogni regione ha emanato delle linee guida per l'installazione di infrastrutture per la ricarica nelle nuove stazioni di servizio e ha previsto l'esenzione permanente o temporanea del pagamento del bollo per i veicoli elettrici/elettrificati.

La regione Piemonte elargisce degli incentivi aggiuntivi oltre a quelli stabiliti dalla Legge di Bilancio statale, che arrivano fino a 20.000€ per l'acquisto di veicoli elettrici e fino a 16.000€ per l'acquisto di veicoli ibridi, tuttavia i contributi richiedono una contestuale rottamazione di un veicolo fino a Euro 3 benzina o Euro 5 diesel e sono destinati solo alle imprese.

In Piemonte i veicoli elettrici sono esenti dal pagare il bollo in modo permanente, mentre i veicoli ibridi hanno tale esenzione solo per 5 anni; entrambe le tipologie di veicoli possono circolare nella ZTL e quando vi è il blocco del traffico.

### 3 Le architetture dei veicoli elettrici e le modalità di ricarica

Nel mercato automobilistico sono presenti veicoli ibridi ed elettrici: si differenziano per la possibilità o meno di ricaricarsi da una presa di ricarica, di percorrere un tratto di strada solo in elettrico e per la capacità maggiore o minore della batteria.

Un altro termine di paragone è il contributo in termini di coppia/potenza che il motore elettrico può fornire per il movimento del veicolo.

#### 3.1 Classificazione dei veicoli elettrici

I veicoli elettrici si dividono in:

-**Micro hybrid**: hanno una batteria tra 12 V e 42 V collegata a un motore elettrico, che eroga una potenza compresa tra 2 kW e 3 kW.

Il motore elettrico svolge sia la funzione di motorino di avviamento, sia quella di alternatore, perciò ha il compito di accendere e spegnere il motore al semaforo come i sistemi start&stop e di ricaricare la batteria in fase di decelerazione.

Questo sistema permette di risparmiare il 5-10 % nella guida urbana rispetto ad un'auto tradizionale.

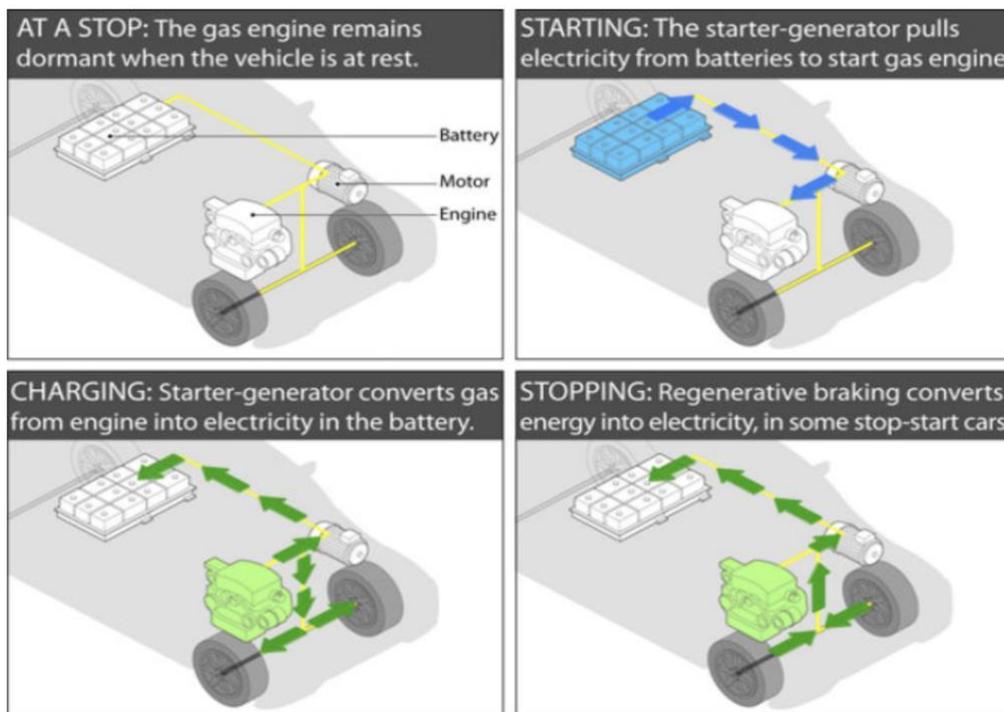


Figura 5: Sistema Start&Stop (MHEV) [18].

**-Mild Hybrid:** Presenta un motore elettrico che eroga una potenza di 10-15 kW e svolge anche la funzione di motorino di avviamento e generatore di corrente; esso è collegato a una batteria dedicata che immagazzina energia in fase di frenata e la restituisce al sistema quando il motore elettrico entra in funzione parallelamente a quello termico.

Il sistema Mild-Hybrid utilizza un impianto a 48 V con batterie a ioni di litio di capacità ridotta ( $C < 1$  kWh) ed un software dedicato per la gestione.

Questa tecnologia interviene nella fase di partenza (poche centinaia di metri in modalità completamente elettrica) e quando il motore richiede piena potenza, per esempio in fase di accelerazione.

**-Full Hybrid:** questi veicoli, al contrario delle tecnologie precedenti, possono percorrere brevi tratti di strada in modalità puramente elettrica.

Possono percorrere in elettrico fino a 5 km, poiché possiedono batterie più prestazionali: fino a 50 kW di potenza e 2 kWh di energia.

I veicoli full hybrid possono raggiungere e mantenere la velocità di 50 km/h in modalità elettrica pura; i consumi e le emissioni si riducono drasticamente e per questo motivo tali veicoli possono circolare all'interno delle ZTL.

La batteria si ricarica prevalentemente grazie alla frenata rigenerativa, ma nei sistemi serie/parallelo il motore endotermico è collegato al motore elettrico e perciò può ricaricarne la batteria.

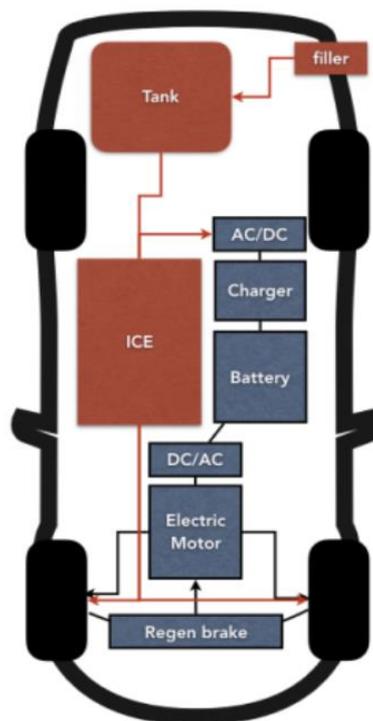


Figura 6: architettura HEV [11].

**-Plug-in Hybrid:** è un a tecnologia molto simile alla Full-Hybrid ma le batterie presentano una capacità di 8-18 kWh , con un'autonomia di 40-70 km.

I veicoli Plug-in possono essere collegati ad una presa domestica o ad una colonnina ed essere ricaricati in AC; il tempo di ricarica varia tra 4-5 ore nel caso domestico e qualche ora nel caso di colonnine ad accesso pubblico.

Questi veicoli, grazie al loro basso inquinamento (60g CO<sub>2</sub>/km), beneficiano di molti incentivi come l'ecobonus e non pagano il bollo.

I PHEV hanno una bassa autonomia in elettrico rispetto ai BEV, ma quando la batteria si scarica o serve una potenza aggiuntiva, si attiva il motore endotermico.

**-Battery Electric Vehicle:** in questi veicoli non è più presente il motore a combustione interna e il relativo serbatoio; lo spazio risparmiato viene occupato da pacchi di batterie con capacità di circa 16 kWh a 100kWh, come nel caso di alcuni modelli Tesla.

L'autonomia di questi veicoli va da 150 km a 600 km, dopodiché vanno collegati a una presa di ricarica.

La ricarica può essere di tipo lento-rapido-veloce ( $P \leq 43$  kW) in AC, oppure veloce ( $43 < P < 150$  kW) in CC.

I BEV sono composti da 1/2 motori elettrici, le batterie, l'inverter per trasferire potenza dalle batterie ai motori e i convertitori per trasferire potenza dalla presa alle batterie.

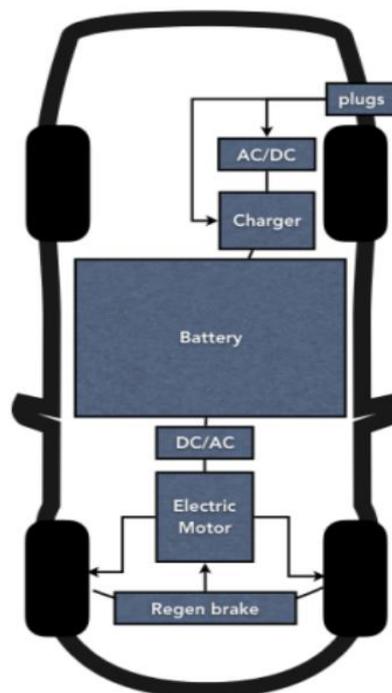


Figura 7: architettura BEV [11].

## 3.2 Panoramica sulle batterie

Le batterie sono uno dei componenti fondamentali dei veicoli elettrici, perché ne determinano l'autonomia e la potenza; devono essere resistenti a condizioni critiche come i sovraccarichi, l'esposizione alle fiamme, gli shock meccanici e le vibrazioni.

Le batterie sono formate da celle elementari; ogni cella è composta da un anodo e un catodo.

L'anodo (elettrodo negativo) e il catodo (elettrodo positivo) sono immersi in un liquido elettrolita, separati da una membrana e collegati alle estremità da un collettore che permette il flusso degli elettroni tra i due elettrodi.

All'interno della cella avviene la reazione di ossidoriduzione, che permette di trasformare l'energia chimica in elettrica in fase di scarica e viceversa nella fase di carica.

Gli elementi principali per la classificazione per le batterie sono:

- Energia specifica (Wh/kg): rappresenta l'energia contenuta nella batteria rispetto al peso.
- Densità di potenza (W/kg): rappresenta la potenza erogabile dalla batteria rispetto al peso.
- Durata di vita: ci dà il numero di cicli di carica e scarica che può sopportare prima di ridurre drasticamente le sue prestazioni.

	Tensione di una cella (V)	Potenza specifica (W/kg)	Energia specifica (Wh/kg)	Cicli (numero)
Pb-acido	2,4	250	30-50	200-300
Ni-Cd	1,25	200	40-60	1500
Ni-Zn	1,6	300	48-80	300
Ni-MH	1,32	350	60-120	500
Zn-aria	1,4	70	200	Refueling
Na/NiCl <sub>2</sub>	2,58	150-250	90-120	1000
Li-ion	3,7	250-340	110-160	500-1000
Li-pol	3,7	250-340	130-200	1000

Tabella 4: Caratteristiche tecniche delle batterie [19].

Le batterie al litio sono le più utilizzate nella trazione elettrica, in quanto sono le più performanti sia dal punto di vista dei cicli vita sia dell'energia specifica.

Esiste la configurazione litio-ioni e litio-polimero, la prima è composta da un catodo in sale di litio, un anodo a base di carbonio e l'elettrolita è un sale di litio in solvente organico (infiammabile); la seconda presenta caratteristiche simili, ma utilizza un elettrolita solido polimerico (non infiammabile)[12].

La produzione delle batterie al litio è in continua crescita, il prezzo è passato da 1.100\$/kWh nel 2010 a 156\$/kWh nel 2019; secondo le stime della Bloomberg New Energy Finance (BNEF) il costo scenderà a 100 \$/kWh entro il 2030 [20].

### 3.3 La ricarica dei veicoli elettrici

I veicoli elettrici (PHEV/BEV) sono dotati di un motore elettrico reversibile che permette la ricarica parziale della batteria in fase di decelerazione e frenata, tuttavia la ricarica completa avviene collegando il veicolo a una fonte di energia esterna, che può essere una colonnina di ricarica pubblica oppure una semplice presa domestica.

Vi sono diversi modi per la ricarica, caratterizzati da diversi parametri legati alla tipologia di corrente passante nel circuito e ai diversi connettori.

La standard IEC 62196-1 definisce quattro modi di ricarica:

	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4
Tipologia				
Sistema di regolazione	Assente	Nel cavo di collegamento	Nella colonnina	Nella colonnina
Tipo di corrente	Monofase	Monofase/Trifase	Monofase/Trifase	Continua
Ambito prevalente	Privato	Privato	Pubblico	Pubblico
A/V	Max 16A/230V	Max 32A/ 230V	Max 64A/400V	Max200A/400V
Presca veicolo	 Tipo 1  Tipo 2	 Tipo 1  Tipo 2	 Tipo 1  Tipo 2	 ccs  CHAdeMO
Presca colonnina	Domestica	Domestica/ Industriale	 Tipo 2	—

Tabella 5: Le caratteristiche della ricarica [14].

**Modo 1:** Il veicolo viene caricato a 230V con corrente fino a 16A, la presa generalmente è del formato schuko, perciò può essere utilizzata in ambito domestico.

Questa tipologia di ricarica non presenta strumenti di sicurezza nel circuito, infatti è vietata in alcuni Paesi (come gli USA).

La potenza di ricarica normalmente è limitata a 3 kW dalle prestazioni delle prese domestiche e dalla potenza disponibile in ambito residenziale.

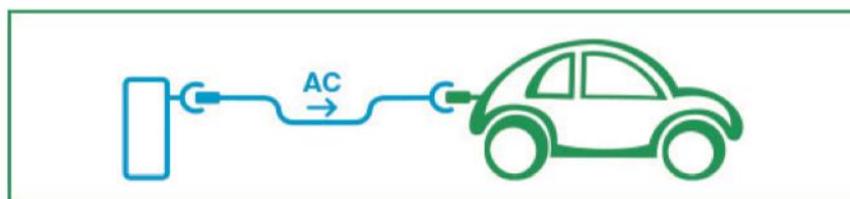


Figura 8: modalità di ricarica I [13].

**Modo 2:** Il veicolo viene caricato a 230V monofase con corrente fino a 32A, la presa lato veicolo la Tipo 2, talvolta la Tipo 1, mentre lato colonnina è generalmente domestica o industriale.

Sul cavo di alimentazione del veicolo è presente un dispositivo denominato Control Box (sistema di controllo PWM) che garantisce la sicurezza delle operazioni durante la ricarica e permette di regolare la potenza di ricarica.

Per ricaricare il veicolo fino a 7kW in ambiente domestico è necessario fare richiesta per una maggiore potenza disponibile al proprio fornitore di energia elettrica ed è altresì necessaria l'installazione di una Wall Box o di una presa dedicata (industriale).

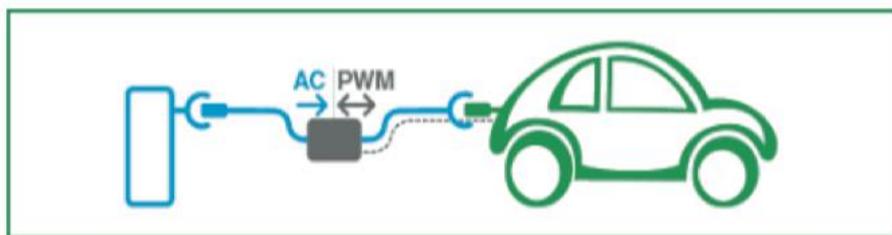


Figura 9: modalità di ricarica II [13].

**Modo 3:** Il veicolo viene caricato a 230V monofase o 380V trifase con corrente fino a 64A, la presa lato veicolo e lato colonnina è la Tipo 2 (Mennekes).

Sono presenti gli stessi sistemi di sicurezza del modo 2, all'interno della colonnina, e una comunicazione attiva tra il veicolo e la linea.

Il Modo 3 permette sia la ricarica lenta (3,7-7,4kW) sia accelerata (11-22kW) sia veloce (43kW), sarà il caricatore a bordo dell'auto a richiedere la potenza per cui è stato progettato.

Poche auto possono ricaricarsi a 43kW AC (Renault Zoe, Tesla Model s), perché la ricarica veloce nelle restanti auto elettriche avviene a corrente continua.

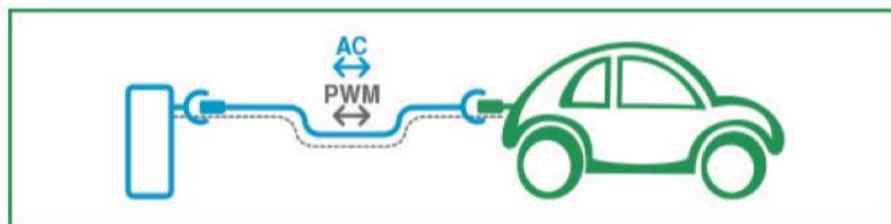


Figura 10: modalità di ricarica III [13].

**Modo 4:** Il veicolo viene caricato in corrente continua fino a 400V, 200A, la presa lato veicolo è la CCS Combo 2 (standard americano-europeo), CHAdeMO (standard asiatico).

Il cavo è sempre solidale alla colonnina per via delle alte tensioni e il caricabatteria si trova all'interno della colonnina.

La ricarica avviene a 50kW, talvolta fino a 100kW. La Tesla ha installato dei caricatori riservati ai propri clienti (Supercharger) che permettono la ricarica a 150kW.

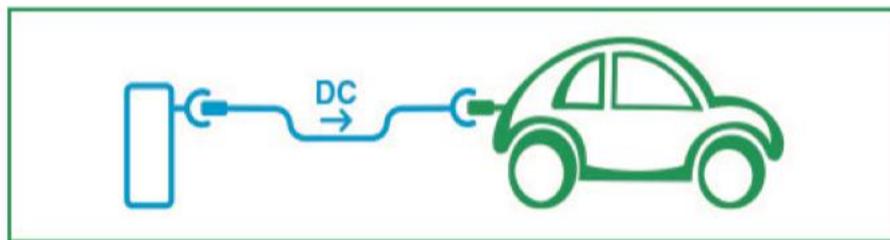


Figura 11: modalità di ricarica IV [13].

In base al grado di elettrificazione del veicolo alcuni Modi di ricarica possono essere utilizzati, altri no; per esempio i PHEV non sono predisposti alla ricarica veloce (Modo 4), perché le batterie di cui sono dotati tali veicoli hanno una capacità ridotta e vengono ricaricate velocemente con corrente alternata.

Per ricaricare un veicolo elettrico (PHEV/BEV) ci sono tre fattori da tenere in considerazione:

- Tempo: in base alla potenza disponibile alla colonnina o presa domestica e alla potenza che può assorbire l'auto, posso determinare il tempo necessario per la ricarica (notevolmente superiore al rifornimento tradizionale).
- Spazio: servono numerose prese, perciò colonnine e postazioni adiacenti ad esse per fare stazionare i veicoli durante la ricarica.
- Modo: in base alla ricarica che si vuole effettuare (lenta-accelerata-veloce) e alle tipologie di prese disponibili sul veicolo, occorre cercare la colonnina più adatta.

Per determinare correttamente questi fattori ci vengono in aiuto delle applicazioni che contengono la mappa con la posizione delle colonnine, la tipologia di prese, la potenza erogata e permettono inoltre di prenotare la ricarica.

Possiamo citare due applicazioni, una è Juicepass di Enel X che permette di controllare l'energia erogata, di effettuare il pagamento con l'app e di programmare la durata di ricarica; l'altra è plugShare che permette di trovare oltre trecentomila stazioni di ricarica delle principali reti di tutto il mondo.

## 4 Stato dell'arte del sistema elettrico piemontese

In questo capitolo verranno analizzate la produzione e il consumo di energia elettrica in Piemonte e la potenza installata nelle centrali elettriche piemontesi.

Si troverà un limite di potenza oraria prelevabile in rete, ipotizzando un aumento della produttività degli impianti esistenti.

Il calcolo della massima energia prodotta dagli impianti esistenti terrà conto dei vincoli di produzione (es: manutenzione, impatto sull'ambiente).

La suddivisione per fonti energetiche della produzione di energia elettrica ricoprirà un ruolo fondamentale nell'analisi delle emissioni WTT dei gas serra dovute all'energia consumata dai veicoli plug-in negli spostamenti.

Nella figura seguente viene illustrata la produzione netta e lorda di energia elettrica suddivisa per fonti.

**Bilancio dell'energia elettrica**

GWh		2018		
		Operatori del mercato elettrico <sup>2</sup>	Autoproduttori	Piemonte
<b>Produzione lorda</b>				
- idroelettrica		8.368,8	49,3	8.418,1
- termoelettrica tradizionale		16.902,7	3.442,1	20.344,8
- geotermoelettrica		-	-	-
- eolica		29,1	-	29,1
- fotovoltaica		1.695,2	-	1.695,2
<b>Totale produzione lorda</b>		<b>26.995,8</b>	<b>3.491,4</b>	<b>30.487,2</b>
		-	-	-
<b>Servizi ausiliari della Produzione</b>		<b>654,0</b>	<b>100,5</b>	<b>754,4</b>
		=	=	=
<b>Produzione netta</b>				
- idroelettrica		8.265,6	48,4	8.314,1
- termoelettrica tradizionale		16.381,2	3.342,5	19.723,6
- geotermoelettrica		-	-	-
- eolica		28,7	-	28,7
- fotovoltaica		1.666,3	-	1.666,3
<b>Totale produzione netta</b>		<b>26.341,9</b>	<b>3.390,9</b>	<b>29.732,8</b>
		-	-	-
<b>Energia destinata ai pompaggi</b>		<b>618,1</b>	-	<b>618,1</b>
		=	=	=
<b>Produzione destinata al consumo</b>		<b>25.723,8</b>	<b>3.390,9</b>	<b>29.114,7</b>
		+	+	+
<b>Cessioni degli Autoproduttori agli Operatori</b>		<b>+581,8</b>	<b>-581,8</b>	-
		+	+	+
<b>Saldo import/export con l'estero</b>		<b>+13.990,3</b>	-	<b>+13.990,3</b>
		+	+	+
<b>Saldo con le altre regioni</b>		<b>-17.284,7</b>	-	<b>-17.284,7</b>
		=	=	=
<b>Energia richiesta</b>		<b>23.011,2</b>	<b>2.809,1</b>	<b>25.820,3</b>
		-	-	-
<b>Perdite</b>		<b>1.394,5</b>	<b>19,8</b>	<b>1.414,3</b>
		=	=	=
<b>Consumi</b>	Autoconsumo	763,8	2.789,3	3.553,2
	Mercato libero <sup>3</sup>	18.158,1	-	18.158,1
	Mercato tutelato	2.694,7	-	2.694,7
	<b>Totale Consumi</b>	<b>21.616,6</b>	<b>2.789,3</b>	<b>24.406,0</b>

Figura 12: Bilancio energetico regione Piemonte, 2018 [45].

Il consumo totale di energia elettrica per la regione Piemonte nel 2018 è stato di 24,4 TWh; la produzione proveniente da fonti fossili (termoelettrica) rappresenta il 66,3% della totale produzione netta.

L'idroelettrico è la fonte rinnovabile più rappresentativa, garantisce il 27,6% della produzione di energia elettrica totale annua, grazie anche alla morfologia del territorio piemontese.

Il saldo positivo con l'estero di 13,99 TWh e il saldo negativo con le altre regioni di 17,3 TWh sottolineano che il Piemonte con la propria produzione di energia elettrica è in grado di soddisfare il proprio fabbisogno e può esportare una parte dell'energia prodotta.

Questo non significa però che il Piemonte non necessiti di importazioni di energia dall'estero: l'energia elettrica è difficile da accumulare e in alcuni momenti quando il carico richiesto è troppo elevato diventa necessaria l'importazione di energia.

Inoltre, l'energia elettrica ha un costo di produzione che talvolta può essere più alto del costo dell'energia importata.

Si suppone che l'energia esportata dal Piemonte in altre regioni sia composta in parte dalla produzione regionale e in parte dall'importazione estera, suddivisa in maniera proporzionale; perciò l'export avrà la stessa composizione percentuale del consumo energetico piemontese.

Fonti energetiche	Consumo netto [GWh]	%
Geotermica	0	0%
Idrica	4.877	19%
Termica	11.569	45%
Eolica	17	~0%
Fotovoltaica	977	4%
Import	8.380	32%
Totale	25.820	100%

Tabella 6: Consumo energetico regione Piemonte, per fonte energetica 2018.

Per comprendere se e quanto il consumo energetico piemontese possa aumentare senza mandare in crisi le centrali produttive regionali, bisogna calcolare il fattore di carico degli impianti presi in considerazione, a partire dalla potenza installata e dall'energia prodotta.

Il fattore di carico è il rapporto tra l'energia effettiva prodotta da una centrale durante un certo periodo e l'energia prodotta nel caso di produzione a pieno carico durante lo stesso periodo.

Il fotovoltaico ha un fattore di carico basso per via della sua dipendenza dai dati meteorologici e dalla rotazione terrestre: quando i pannelli solari possono produrre, la loro energia viene sempre utilizzata per intero perché nel mercato dell'energia le fonti rinnovabili hanno la precedenza sulle fonti termiche.

Un impianto idroelettrico è dotato normalmente di un bacino di accumulo che permette di immagazzinare energia potenziale, che viene successivamente trasformata in energia meccanica dalla turbina e in energia elettrica dall'alternatore.

L'energia accumulata svolge un ruolo fondamentale durante i picchi di carico presenti sulla rete.

L'impianto idroelettrico deve garantire il deflusso<sup>2</sup> minimo vitale e le turbine lavorano tra una portata massima e una minima [29].

La produzione di energia da fonti rinnovabili è sottoposta a molti vincoli, quindi tali fonti non possono essere sfruttate più di quanto già fatto, se non ampliando il parco produttivo.

In Piemonte, gli impianti termoelettrici rappresentano la fonte più importante per la produzione di energia e su queste si concentra l'attenzione.

Nel prossimo paragrafo verrà analizzata la produzione elettrica delle centrali termoelettriche piemontesi.

## 4.1 Centrali termoelettriche piemontesi

Gli impianti termoelettrici piemontesi hanno una potenza netta efficiente installata di 4,13 GW, escludendo gli autoproduttori [28].

Si può calcolare la produzione teorica annua di energia di questi impianti, ipotizzando che lavorino a pieno carico per 24 ore al giorno per 365 giorni; conoscendo la produzione reale annua dei medesimi, riportata in Tabella 6, si può calcolare il fattore di carico.

Il fattore di carico risulta quindi uguale a 0,45: il valore così basso è giustificato in parte dalle ore annue di manutenzione in cui l'impianto è spento, che di norma non superano il 10% del tempo, ma soprattutto dal fatto che gli impianti non lavorano a pieno carico per soddisfare la domanda di energia, in modo particolare il carico si riduce notevolmente nelle ore notturne, quando le attività commerciali sono chiuse e anche la richiesta domestica è molto bassa.

Molte centrali piemontesi sono cogenerative a ciclo combinato, cioè producono calore a discapito dell'energia elettrica: ciò porta a ridurre ulteriormente il fattore di carico elettrico.

Il fabbisogno di risorse idriche, per la condensazione del vapore e per ripristinare le perdite del GVR<sup>3</sup>, è un parametro che determina la produttività della centrale.

I limiti, imposti dalle autorità, sulle emissioni degli impianti, possono ridurre la produttività.

Nella tabella seguente vengono elencate le centrali termoelettriche piemontesi prese in esame.

---

<sup>2</sup> Deflusso minimo vitale: portata minima istantanea che deve essere presente in alveo immediatamente a valle di prelievi o derivazioni.

<sup>3</sup> GVR: generatore di vapore a recupero.

Centrali	Sola produzione elettrica	Cogenerazione	
	Potenza elettrica	Potenza elettrica	Potenza termica
Centrale termoelettrica di Livorno Ferraris	809 MW	-	-
Centrale termoelettrica di Chivasso	1.177 MW	-	-
Centrale termoelettrica Torino Nord	390 MW	340 MW	220 MW
Centrale termoelettrica Moncalieri	778 MW	658 MW	520 MW
Totale	3.154 MW	998 MW	740 MW

Tabella 7: Dati di Targa di alcune centrali termoelettriche piemontesi [30] [31] [32] [33].

La potenza elettrica installata nelle 4 centrale citate nella tabella 7 è uguale a circa il 75% di tutta la potenza termoelettrica installata in Piemonte.

Ora verranno calcolate le ore equivalenti di funzionamento a pieno carico e i fattori di carico massimi reali delle centrali sopracitate, poi calcolando la media dei fattori di carico, si troverà un valore unico valido per tutti gli impianti termoelettrici.

I dati relativi al funzionamento degli impianti vengono presi dai parametri inseriti nella domanda di Autorizzazione integrata ambientale (AIA) delle centrali [12].

Per il calcolo dei fattori di carico vengono presi i valori “alla capacità produttiva”, cioè i parametri massimi di funzionamento delle centrali nei limiti delle autorizzazioni.

$P_e$  = potenza elettrica nominale.

$P_{ec}$  = potenza elettrica in cogenerazione.

$E_e$  = energia elettrica utile (ceduta a terzi).

$E_{ec}$  = energia elettrica prodotta in cogenerazione.

$N_e$  = numero ore equivalenti di funzionamento alla potenza elettrica nominale (sola produzione elettrica).

$F$  = fattore di carico.

$N_a$  = ore annue 8760.

$E_t$  = energia termica utile (cogenerazione).

$N_c$  = numero di ore equivalenti di funzionamento cogenerativo.

## Centrale Termoelettrica di Livorno Ferraris:

B.3.2 Produzione di energia (alla capacità produttiva)									
Fase	Unità	Apparecchiatura o parte di unità (forno, caldaia ecc.)	Combustibil e utilizzato	ENERGIA TERMICA			ENERGIA ELETTRICA		
				Potenza termica di combustione (kW)	Energia prodotta (MWh)	Quota ceduta a terzi (MWh)	Potenza elettrica nominale (kVA)	Energia prodotta (MWh)	Quota ceduta a terzi (MWh)
<b>Fasi 2/1, 2/2, 3/1, 3/2, 4</b>	TG 11, TG 12, GVR 11, GVR 12, TV	Turbine a gas 11 e 12, Generatore di Vapore a Recupero 11 e 12, Turbina a Vapore	Gas Naturale	1.419.100	11.330.184	0	896.000 <sup>(b)</sup>	6.568.000 <sup>(c)</sup>	6.475.200 <sup>(c)</sup>
<b>Fase 8</b>	Caldaia ausiliaria	Caldaia ausiliaria	Gas Naturale	9.000	3.640	0	0	0	0
<b>TOTALE</b>				1.428.100 <sup>(a)</sup>	10.523.149	0	896.000 <sup>(b)</sup>	6.568.000 <sup>(c)</sup>	6.475.200 <sup>(c)</sup>

**Note:**

a) Dato caratteristico dell'impianto, verificato al collaudo del 18/06/2008, riportato a condizioni ISO.

b) Il valore risulta dalla somma della potenza nominale elettrica per i 3 generatori elettrici.

c) Il dato di potenza elettrica lorda è di 821 MW e quello di potenza elettrica netta è di 809,4 MW; tali dati sono stati verificati al collaudo del 18/06/0008 e corretti alle condizioni ISO (temperatura 15 °C, pressione 1013 mbar, umidità 60%).

Tabella 8: Produzione alla capacità produttiva centrale termoelettrica di Livorno Ferraris [12].

Numero ore equivalenti di funzionamento alla capacità produttiva e fattore di carico:

$$N_e = \frac{E_e}{P_e} = \frac{6.475.200 MWh}{809 MW} = 8004 h$$

Il fattore di carico viene calcolato come il numero di ore annuali di funzionamento alla capacità produttiva diviso le ore totali in un anno (8760h).

$$F = \frac{N_e}{N_a} = \frac{8004}{8760} = 0,91$$

## Centrale Termoelettrica di Chivasso:

B.3.2 Produzione di energia (alla capacità produttiva)									
Fase	Unità	Apparecchiatura o parte di unità	Combustibile utilizzato	ENERGIA TERMICA			ENERGIA ELETTRICA		
				Potenza termica di combustione (MWt)	Energia prodotta (MWh/anno) <sup>(1)</sup>	Quota ceduta a terzi (MWh/anno) <sup>(1)</sup>	Potenza elettrica nominale (MWe)	Energia prodotta (MWh/anno) <sup>(2)</sup>	Quota ceduta a terzi (MWh/anno) <sup>(3)</sup>
F1	Modulo 1	Ciclo combinato	Gas Naturale	1.385,6	-	-	790	6.920.400	6.806.520
	Modulo 2	Ciclo combinato	Gas Naturale	692,8	-	-	387	3.390.120	3.337.560
<b>TOTALE</b>				<b>2.078,4</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1.177</b>	<b>10.310.520</b>	<b>10.144.080</b>

**Note**  
 (1) La Centrale è del tipo a ciclo combinato per la produzione esclusiva di energia elettrica.  
 (2) Energia elettrica lorda, determinata come prodotto tra la potenza elettrica nominale lorda e le ore di funzionamento dell'installazione alla massima capacità produttiva (8.760 h/anno).  
 (3) Energia elettrica immessa in rete determinata come prodotto tra la potenza elettrica netta (pari a 777 MWe per il Modulo 1 e 381 MWe per il Modulo 2) e le ore di funzionamento dell'installazione alla massima capacità produttiva (8.760 h/anno).

Tabella 9: Produzione alla capacità produttiva centrale termoelettrica di Chivasso [12].

Numero ore equivalenti di funzionamento alla capacità produttiva e fattore di carico:

La nota 3 afferma che l'energia alla capacità produttiva è equivalente alla potenza nominale per 8760h:

$$N_e = \frac{E_e}{P_e} = \frac{6.806.520 MWh + 3.337.560 MWh}{777 MW + 381 MW} = 8760 h$$

Fattore di carico:

$$F = \frac{N_e}{N_a} = \frac{8760}{8760} = 1$$

Il fattore di carico “alla capacità produttiva” della centrale di Chivasso non tiene conto di eventuali manutenzioni che ridurrebbero il fattore di carico.

L'impianto di Chivasso è molto simile a quello di Livorno Ferraris, si tratta di due impianti a ciclo combinato.

## Centrale Termoelettrica Torino Nord:

B.3.2 Produzione di energia (alla capacità produttiva)									
Fase	Unità	Apparecchiatura o parte di unità (forno, caldaia ecc.)	Combustibile utilizzato	ENERGIA TERMICA			ENERGIA ELETTRICA		
				Potenza termica di combustione (kW)	Energia prodotta (MWh)	Quota ceduta a terzi (MWh)	Potenza elettrica nominale (kVA)	Energia prodotta (MWh)	Quota ceduta a terzi (MWh)
A.25.1	Ciclo combinato	TG e GVR	Gas naturale	690.000	880.000 *	880.000	459.000 (390.000 kW / cos $\Phi$ 0,85)	2.145.000	2.027.000
A.25.2	Caldaie integrazione e riserva	Caldaie	Gas naturale	375.000	145.000	145.000	-	-	-
TOTALE				1.065.000	1.025.000	1.025.000	459.000	2.145.000	2.027.000

Tabella 10: Produzione alla capacità produttiva centrale termoelettrica Torino Nord [12].

Numero ore equivalenti di funzionamento alla capacità produttiva:

Cogenerazione:

$$N_c = \frac{E_t}{P_t} = \frac{880.000 MWh}{220 MW} = 4000 h$$

Sola produzione elettrica:

$$N_e = \frac{E_e - N_c * P_{ec}}{P_e} = \frac{2.027.000 MWh - 4000 h * 340 MW}{390 MW} = 1710 h$$

Il fattore di carico viene calcolato come il numero di ore annuali di funzionamento alla capacità produttiva (cogenerazione + sola produzione elettrica) diviso le ore totali in un anno (8760h).

$$F = \frac{N_e + N_c}{N_a} = \frac{1710 + 4000}{8760} = 0,65$$

## Centrale Termoelettrica di Moncalieri:

La centrale termoelettrica di Moncalieri presenta due impianti cogenerativi a ciclo combinato con caratteristiche molto simili.

B.3.2 Produzione di energia (alla capacità produttiva)									
Fase	Unità	Apparecchiatura o parte di unità (forno, caldaia ecc.)	Combustibile utilizzato	ENERGIA TERMICA			ENERGIA ELETTRICA		
				Potenza termica di combustione (kW)	Energia prodotta (MWh)	Quota ceduta a terzi (MWh)	Potenza elettrica nominale (kVA)	Energia prodotta (MWh)	Quota ceduta a terzi (MWh)
A.25.1	Ciclo combinato 3° GT	TG	Gas naturale	666.000	834.000	834.000	435.000	2.456.000	2.391.000
A.25.2	Ciclo combinato RPW 2° GT	TG	Gas naturale	689.000	810.000	810.000	470.000	2.366.000	2.303.000

Tabella 11: Produzione alla capacità produttiva centrale termoelettrica di Moncalieri [12].

Numero ore equivalenti di funzionamento alla capacità produttiva:

Cogenerazione:

$$N_c = \frac{E_t}{P_t} = \frac{834.000 MWh + 810.000 MWh}{520 MW} = 3162 h$$

Sola produzione elettrica:

$$N_e = \frac{E_e - N_c * P_{ec}}{P_e} = \frac{(2.391.000 MWh + 2.303.000 MWh) - 3162 h * 658 MW}{778 MW} = 3359 h$$

Il fattore di carico viene calcolato come il numero di ore annuali di funzionamento alla capacità produttiva (cogenerazione + sola produzione elettrica) diviso le ore totali in un anno (8760h).

$$F = \frac{N_e + N_c}{N_a} = \frac{3162 + 3359}{8760} = 0,74$$

Ora, per quantificare il possibile aumento annuale di produzione termoelettrica delle centrali piemontesi prese in esame, si sottrae la produzione annuale “parte storica”, riportata nell’allegato 1, alla produzione annuale massima “capacità produttiva”.

Nella tabella sottostante vengono riportati i valori della produzione elettrica degli impianti piemontesi.

Centrali	Produzione elettrica, ceduta a terzi		Surplus di produzione elettrica
	“parte storica”	“alla capacità produttiva”	
Centrale termoelettrica di Livorno Ferraris	4.389.158 MWh	6.475.200 MWh	2.086.0442 MWh
Centrale termoelettrica di Chivasso	2.076.205 MWh	10.144.080 MWh	8.067.875 MWh
Centrale termoelettrica Torino Nord	1.997.591 MWh	2.027.000 MWh	29.409 MWh
Centrale termoelettrica Moncalieri	3.333.250 MWh	4.694.000 MWh	1.360.750 MWh
Totale	11.796.204 MWh	23.340.280 MWh	11.544.076 MWh

Tabella 12: Sintesi dati di funzionamento degli impianti termoelettrici presi in esame [12].

La produzione annuale di energia elettrica può aumentare di 11.544 GWh/anno, tabella 12.

Il profilo di carico giornaliero piemontese può essere ottenuto prendendo quello nazionale (fonte: Terna) e moltiplicandolo per il rapporto fra la popolazione regionale e quella nazionale.

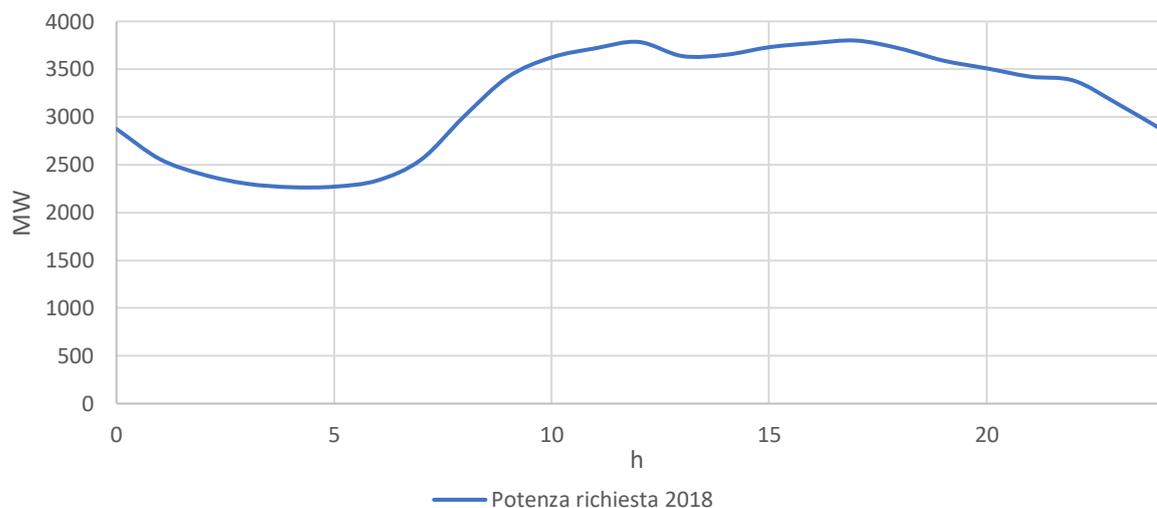


Figura 13: Diagramma dell'energia elettrica richiesta sulla rete piemontese nel 2018 [28].

Supponendo di portare la produzione elettrica degli impianti termoelettrici da 16.381 GWh (Figura 11) a 27.925 GWh, nel successivo grafico viene riportato il nuovo limite di carico giornaliero che potrebbe essere prelevato sulla rete elettrica piemontese.

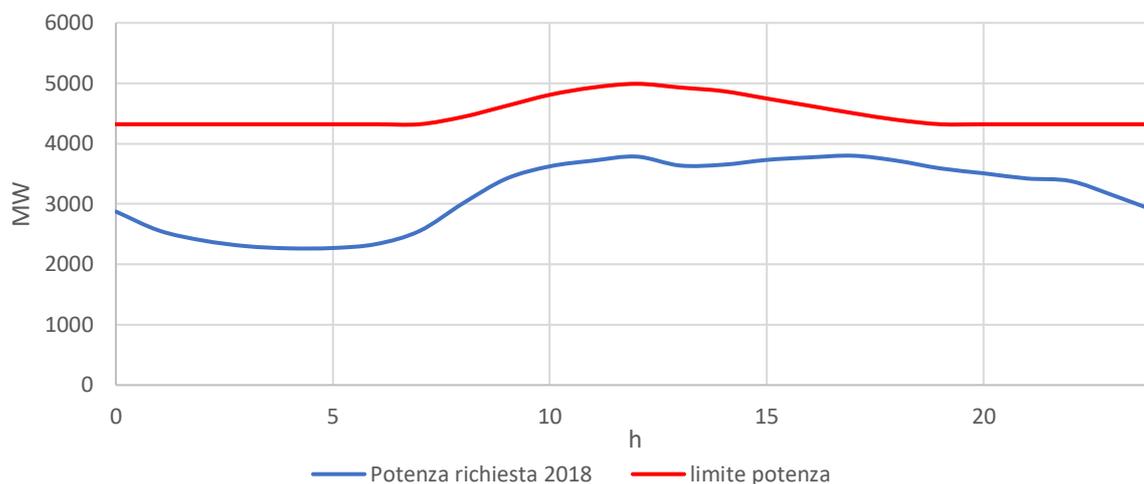


Figura 14: Diagramma di carico piemontese 2018 e limite di potenza prelevabile nel caso che le centrali termoelettriche lavorino alla capacità produttiva.

Il limite di potenza, ottenuto ipotizzando l'aumento della produzione di energia delle centrali termoelettriche, viene rappresentato come una costante con un lieve picco diurno, intorno alle 12:30, dovuto alla presenza degli impianti fotovoltaici.

Il nuovo carico elettrico si discosta molto da quello del 2018 soprattutto nelle ore notturne, poiché in quelle ore il fattore di carico della produzione termoelettrica era particolarmente basso.

## 5 Rete elettrica domestica: possibilità di ricarica per i veicoli PHEV e BEV

In Italia la maggioranza delle famiglie (89%) ha un contratto di fornitura dell'energia elettrica di potenza compresa fra 1,5 e 3 kW, il 9% una potenza superiore a 3 kW e solo il 2% una potenza inferiore a 1,5 kW [22].

Il possesso di un'auto plug-in può implicare la necessità di ricaricare la batteria presso la propria abitazione. Le tariffe residenziali della corrente elettrica restano infatti ad oggi quelle più economiche e quindi convenienti anche per la ricarica delle batterie di una vettura.

La ricarica presso la propria abitazione rende necessaria l'installazione di una wallbox, cioè una presa professionale in grado di fornire molta potenza (fino a 7kW) e regolare la potenza stessa.

Il Decreto Rilancio del 20 maggio 2020 ha reso possibile la detrazione fiscale del 110%, in 5 anni, delle spese sostenute per l'acquisto e l'installazione di una stazione di ricarica per veicoli elettrici ad uso privato nel periodo dal 1°luglio 2020 al 31 dicembre 2021 [10].

Nel momento in cui il veicolo tramite la wallbox viene collegato al contatore domestico, si aggiunge un carico elettrico molto energivoro, di conseguenza la potenza fornita da contratto (generalmente 3 kW) può non essere sufficiente.

Dal 1° gennaio 2017 è possibile aumentare/diminuire la potenza a scaglioni di 0,5 kW, con un massimo di 6 kW (prelievo massimo di 6,6 kW poiché è prevista una tolleranza del 10%).

L'ARERA (Autorità di regolazione per Energia, Reti e Ambiente) ha introdotto delle agevolazioni per la richiesta di aumento potenza per i contratti residenziali; dal 1° aprile 2017 fino al 31 dicembre 2023 viene eliminato il contributo fisso amministrativo e viene ridotto di circa il 20% il contributo per ogni kW di potenza aggiuntiva [21].

	Contributo richiesta di potenza aggiuntiva	Contributo oneri amministrativi	Costo annuo in bolletta
Da 3 a 4,5 kW	83,49 €/una tantum	-	34,50 €/anno
Da 3 a 6 kW	166,98 €/una tantum	-	69,00 €/anno

Tabella 13: Costi per la variazione di potenza da 3 a 4,5 kW e da 3 a 6 kW [21].

Ora per comprendere meglio quale potenza elettrica necessita un'utenza domestica per far fronte all'aggiunta di un nuovo carico (il veicolo elettrico), è necessario conoscere la curva di carico senza veicolo elettrico e poi fare una valutazione sui picchi orari di carico.

A partire dai dati forniti da IREN Mercato sull'energia media consumata ogni quarto d'ora (in kWh) da 2306 utenti domestici piemontesi, si è prima ottenuta la potenza media quart'oraria e poi la curva giornaliera di carico domestico per un utente piemontese medio.

Per ottenere la potenza media quart'oraria (in kW) richiesta da un'utenza domestica, si divide per 1/4 h l'energia media consumata ogni quarto d'ora.

Nella tabella seguente vengono riportate le caratteristiche dei contratti di fornitura per i 2306 utenti domestici piemontesi analizzati.

Potenza contatori	Numero Utenti	
	Residenti	Non Residenti
1 kW	-	1
1,5 kW	2	5
2 kW	9	-
2,5 kW	1	-
3 kW	1.993	153
3,5 kW	1	-
4 kW	3	-
4,5 kW	89	7
5 kW	2	1
6 kW	34	2
7 kW	1	-
10 kW	1	1

Tabella 14: Classificazione della fornitura di 2306 utenti domestici.

I dati riportati in tabella 14 ci dicono che 1993 utenti su 2306, cioè l'86,4%, sono contratti di fornitura domestica residenziale a 3 kW.

Nel grafico seguente vengono riportate le curve di carico domestico nel periodo invernale e in quello estivo.

La curva di carico estiva è stata tracciata per il giorno giovedì 27/06/2019, mentre per la curva invernale è stato preso come riferimento il giorno giovedì 23/01/2020; entrambi i giorni scelti sono infrasettimanali e lontani dalle festività.

I diagrammi di carico sono stati costruiti con le potenze medie quart'orarie e le relative deviazioni standard: valor medio +/- deviazione standard (sdv).

Poiché i valori di sdv sono più grandi dei valori di potenza, è stato inserito un limite inferiore uguale a 0 per evitare di ottenere potenze negative nelle curve di carico.

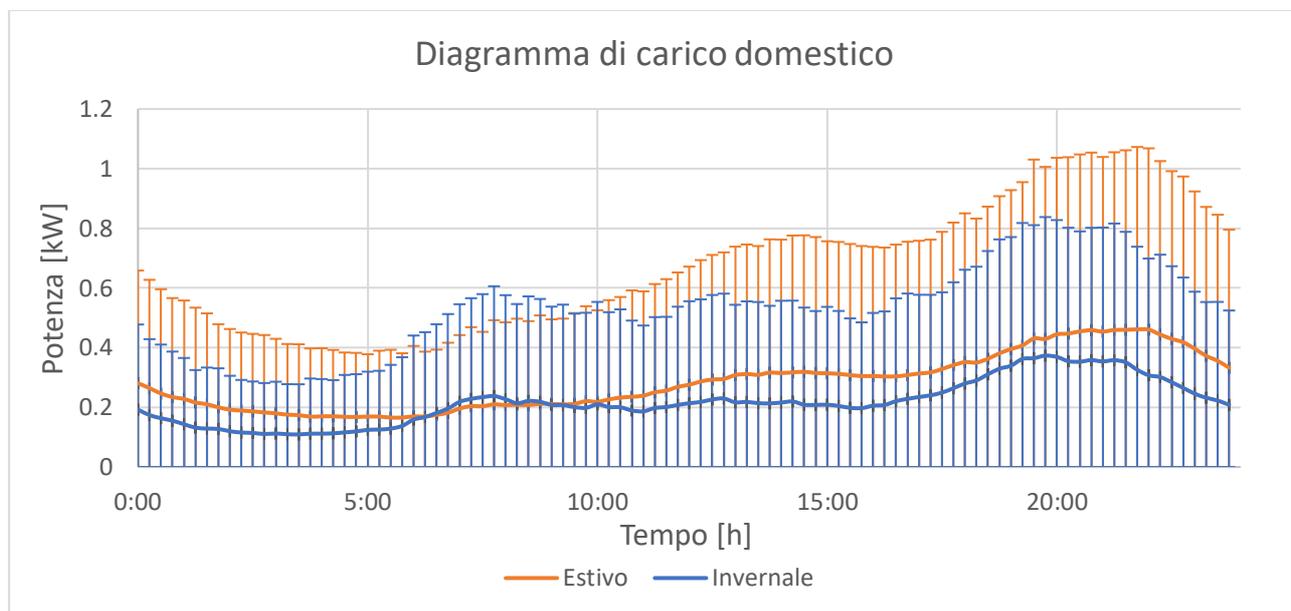


Figura 15: Curva di carico domestica nel caso invernale e in quello estivo.

La curva arancione estiva è mediamente più alta di quella invernale, ciò può essere attribuito all'utilizzo dell'aria condizionata per il raffrescare gli ambienti domestici.

Negli ultimi decenni, i condizionatori sono entrati in moltissime case dei piemontesi e degli italiani in generale e pertanto è importante considerare la loro incidenza sul carico domestico, valutando il loro assorbimento.

Nella fascia oraria 6:30-8:45 la curva invernale supera leggermente quella estiva e può essere ricondotto all'accensione di stufette elettriche nel momento del risveglio.

Entrambe le curve presentano picco di carico serale tra le 18:30 e le 22:30, quando tutta la famiglia si ritrova a casa, vengono accesi gli elettrodomestici della cucina e si accendono le luci, il televisore, lo scaldabagno elettrico (dove c'è) ecc.

Le curve di carico, riportate nella figura precedente, denotano un carico medio molto basso rispetto ai 3,3 kW prelevabili dalla maggioranza delle utenze domestiche; perciò è necessario, altresì, fare delle considerazioni sulle deviazioni standard delle potenze medie quart'orarie.

Per entrambe le curve, quella estiva e quella invernale, i valori delle deviazioni standard sono dello stesso ordine di grandezza dei valori di potenza media, questo significa che i valori di potenza, usati per generare la media, non sono concentrati nell'intorno del valor medio.

Vengono ora presi in esame i picchi orari di potenza dei 2306 utenti domestici e classificati in fasce di potenza, al fine di determinare la potenza che deve essere resa disponibile dal contatore per soddisfare i picchi di carico e per ricaricare contemporaneamente un veicolo plug-in a 2,3 e 3,7 kW. La tabella riporta le fasce di potenza:

Fasce di potenza					
$0kW \leq P \leq 1kW$ (1)	$1 kW < P \leq 2,1 kW$ (2)	$2,1kW < P \leq 3,3 kW$ (3)	$0kW \leq P \leq 1,25kW$ (1')	$1,25 kW < P \leq 2,35 kW$ (2')	$2,35kW < P \leq 3,3 kW$ (3')

Tabella 15: Fasce di potenza.

La fascia più alta ha come limite superiore un valore di potenza richiesta dall'utente uguale a 3,3 kW, cioè la massima potenza prelevabile dalla maggior parte degli utenti domestici.

Nella tabella seguente (redatta partendo dai dati della tabella 15) vengono classificati i picchi orari di potenza elettrica richiesta dagli utenti domestici, nel caso estivo (27/06/2019) quando il carico è mediamente più alto.

Il picco orario di potenza corrisponde alla massima potenza ottenuta confrontando i dati che derivano dall'analisi dei quattro quarti d'ora che compongono l'ora.

Fascia oraria	Fasce di potenza					
	(1)	(2)	(3)	(1')	(2')	(3')
0:00-1:00	92%	7%	1%	94%	5%	0%
1:00-2:00	95%	5%	0%	97%	3%	0%
2:00-3:00	97%	3%	0%	98%	2%	0%
3:00-4:00	97%	3%	0%	99%	1%	0%
4:00-5:00	97%	3%	0%	99%	1%	0%
5:00-6:00	97%	3%	0%	99%	1%	0%
6:00-7:00	97%	3%	0%	98%	2%	0%
7:00-8:00	94%	6%	0%	96%	4%	0%
8:00-9:00	93%	6%	1%	95%	4%	0%
9:00-10:00	92%	7%	1%	95%	5%	0%
10:00-11:00	92%	7%	1%	94%	5%	1%
11:00-12:00	90%	8%	1%	93%	6%	1%
12:00-13:00	89%	9%	2%	92%	7%	1%
13:00-14:00	87%	11%	2%	91%	8%	1%
14:00-15:00	87%	11%	2%	91%	8%	1%
15:00-16:00	88%	10%	2%	92%	7%	1%
16:00-17:00	88%	10%	2%	92%	7%	1%
17:00-18:00	86%	11%	2%	90%	9%	1%
18:00-19:00	83%	14%	3%	88%	10%	2%
19:00-20:00	81%	15%	4%	85%	12%	2%
20:00-21:00	79%	17%	4%	84%	14%	2%
21:00-22:00	78%	17%	4%	83%	14%	2%
22:00-23:00	79%	16%	4%	84%	13%	2%
23:00-24:00	84%	14%	2%	89%	10%	1%

Tabella 16: Classificazione dei picchi orari di potenza.

Osservando la tabella 16 si evince che, per ogni ora, almeno il 79% dei picchi orari di carico, durante l'intera giornata, è compreso nella fascia 1; guardando in particolare le ore notturne (0:00-7:00), la percentuale dei picchi di potenza collocati nella fascia 1 sale ad un valore minimo del 92%.

Nella fascia 1', il cui limite superiore è 1,25 kW, sono presenti almeno l'83% dei picchi orari di carico per ogni fascia oraria, nelle ore notturne (0:00-7:00) la percentuale sale al 94%.

La potenza prelevabile dal contatore deve essere maggiore o uguale alla somma del limite superiore di potenza di una fascia con il carico aggiuntivo, corrispondente al veicolo elettrico.

La collocazione dei picchi di carico, maggiormente nelle fasce 1 e 1', permette di affermare che nelle ore notturne è possibile ricaricare un veicolo plug-in a 2,3 kW, avendo a disposizione un normale contratto di fornitura da 3 kW, mentre per ricaricare lo stesso veicolo a 3,7 kW è necessario un contratto da 4,5 kW.

## 6 Scenari di impatto dei veicoli PHEV e BEV al 2030 sul carico elettrico piemontese

In questo capitolo verranno proposti alcuni scenari evolutivi del parco circolante piemontese al fine di analizzare la nuova richiesta di energia elettrica e come essa sarà distribuita durante il giorno in base al tipo di ricarica.

Prima di addentrarsi nella disamina vera e propria, verranno analizzati i chilometri medi percorsi dai veicoli piemontesi, suddivisi per tipologia di spostamento (urbano-extraurbano).

Conoscere l'utilizzo di un veicolo (km/anno) è necessario per determinare l'energia elettrica che consumerebbe quest'ultimo se fosse elettrico; è importante conoscere i km/annui percorsi in città per valutare l'energia elettrica legata a un uso urbano della trazione elettrica ed extraurbano della trazione termica.

Più precisamente, la discussione si articola come segue:

- Stima delle distanze medie percorse.
- Stima dei veicoli PHEV e BEV al 2030, utilizzando lo scenario programmato e accelerato della Fondazione Caracciolo.
- Variazione del carico elettrico nelle diverse ore del giorno e sulla base delle modalità di ricarica, in presenza dei veicoli plug-in in ricarica.

### 6.1 Stima dei chilometri percorsi

Nell'articolo "Perspectives on Electrification for the Automotive Sector: A Critical Review of Average Daily Distances by Light-Duty Vehicles, Required Range, and Economic Outcomes" su Sustainability vengono riportati: un valore medio di 4,6 km per uno spostamento urbano e 11,9 km per uno spostamento extraurbano in Italia, 2019.

Il report di ISTAT, del 2018, sugli spostamenti quotidiani e sulle forme di mobilità, riporta la composizione percentuale degli spostamenti, nello stesso comune e fuori da esso in base al tipo di comune di residenza [24].

Vengono utilizzati i dati dell'articolo precedente per quantificare i chilometri medi per gli spostamenti urbani ed extraurbani.

Moltiplicando i dati ISTAT per i chilometri medi associati agli spostamenti urbani ed extraurbani, si trovano i chilometri percorsi in ambito urbano ed extraurbano in base al tipo di comune, per ogni spostamento.

Tipo di comune	Chilometri percorsi ogni spostamento [km]	
	Nello stesso comune	Fuori comune
Comuni fino a 2.000 abitanti	1,4	8,1
Comuni da 2.001 a 10.000 abitanti	1,7	7,3
Comuni da 10.001 a 50.000 abitanti	2,3	5,8
Comuni da 50.001 abitanti e più	3,4	3
Comuni centro dell'area metropolitana	4	1,6
Comuni periferia dell'area metropolitana	1,8	7,2

Tabella 17: Stima della distanza media degli spostamenti sistematici per tipo di comune, in Italia, 2017 (elaborazione su dati ISTAT).

Dalla tabella 17 si evince che la distanza media percorsa in ambito urbano, per ogni spostamento, aumenta con l'aumentare della dimensione dei comuni, viceversa la distanza media percorsa in extraurbano diminuisce all'aumentare della dimensione dei comuni, poiché nelle città sono presenti la maggior parte delle attività lavorative e dei servizi.

Ora calcolando il rapporto fra i chilometri percorsi in ambito urbano/extraurbano e i chilometri totali associati a uno spostamento, si ottengono i chilometri percorsi in ambito urbano ed extraurbano per ogni comune (in percentuale).

Dal database PRA fornito dalla regione Piemonte sono stati ricavati i chilometri percorsi in un anno dai veicoli circolanti sul territorio.

Per ottenere tale risultato innanzitutto sono stati esclusi dal calcolo tutti quei veicoli immatricolati prima del 2000, perché troppo obsoleti, successivamente sono stati analizzati i chilometri percorsi e gli anni intercorsi fra l'immatricolazione e l'ultima revisione; dividendo i chilometri per gli anni si ottengono i chilometri medi annui.

Occorre poi anche trovare il totale dei chilometri annui, percorsi dai veicoli di ogni comune, di ogni provincia e infine il totale dei chilometri annui percorsi dai veicoli piemontesi.

Successivamente i veicoli, divisi per provincia, sono stati raggruppati in classi in base ai chilometri medi annui percorsi e calcolando la media pesata, dei chilometri rispetto al numero di veicoli, si sono trovati i chilometri medi annui percorsi dai veicoli di ogni provincia piemontese.

Infine, si sono ottenuti i chilometri percorsi in ambito urbano ed extraurbano per ogni provincia nel seguente modo:

$$S_u = \frac{\sum_{i=1}^n (s_{ui} * p_i)}{P} * M$$

$$S_e = M - S_u$$

Dove:

$S_u$  = totale chilometri annui percorsi in ambiente urbano dai veicoli della provincia.

$S_e$  = totale chilometri annui percorsi in ambiente extraurbano dai veicoli della provincia.

$M$  = chilometri medi annui percorsi dai veicoli della provincia scelta.

$P$  = totale chilometri annui percorsi dai veicoli della provincia.

$p_i$  = totale chilometri annui percorsi dai veicoli del comune i-esimo della provincia.

$s_{ui}$  = rapporto fra i chilometri percorsi in ambito urbano e i chilometri totali associati a uno spostamento, per il comune i-esimo.

Dividendo i valori  $S_u$  e  $S_e$  per 365, si ottiene una stima dei chilometri medi giornalieri percorsi da un veicolo.

Province	Chilometri medi			
	km/anno urbani	km/anno extraurbani	km/giorno urbani	km/giorno extraurbani
Alessandria	1835	9467	5,0	25,9
Asti	1850	9607	5,1	26,3
Biella	1825	8805	5,0	24,1
Cuneo	1840	9627	5,0	26,4
Novara	1712	9362	4,7	25,7
Torino	3404	7148	9,3	19,6
Verbania	1880	9208	5,2	25,2
Vercelli	1909	9289	5,2	25,5
Piemonte	2585	8329	7,1	22,8

Tabella 18: percorrenze medie automobilistiche suddivise per la residenza dei proprietari.

I veicoli appartenenti alla provincia di Torino percorrono annualmente meno chilometri dei veicoli delle altre province poiché più della metà della popolazione abita nella città metropolitana, dove la maggior parte degli spostamenti avviene in ambito urbano.

Un veicolo della provincia di Torino percorrerà in media 9,3 km/giorno in urbano e 19,6 km/giorno in extraurbano, mentre nelle altre province circa 5 km/giorno in urbano e tra 24 e 26 km/giorno in extraurbano.

La percorrenza per un veicolo piemontese sarà di 10.914 km/anno, composta mediamente da 7,1 km/giorno in urbano e 22,8 km/giorno in extraurbano.

Per studiare i consumi elettrici dei veicoli PHEV/BEV vengono suddivisi come segue, sulla base dell'autonomia in modalità puramente elettrica, riportata insieme al tipo di architettura.

Vengono riportati, quali esempi, dei modelli per ogni architettura, con i loro dati di capacità, di consumo e di energia consumata per un uso giornaliero.

Architettura	Capacità [kWh]	Consumi [kWh/km]	Energia per uso giornaliero [kWh]
PHEV40	8,80	0,22	1,56
PHEV60	12,00	0,20	1,42
BEV150	17,60	0,12	3,59
BEV300	42,00	0,14	4,19
BEV400	62,00	0,16	4,78
BEV600	100,00	0,17	5,08

Fonte: Siti ufficiali delle case costruttrici menzionate in tabella.

Tabella 19: Tipologia di architetture scelte per la tesi e le loro peculiarità.

L'energia per uso giornaliero viene stimata moltiplicando il consumo di ogni architettura per la percorrenza media giornaliera piemontese.

Per i veicoli PHEV è stata calcolata l'energia consumata per un utilizzo giornaliero in ambito solo urbano, poiché tali veicoli possiedono una bassa autonomia in elettrico che è meglio utilizzare in ambito urbano quando il motore termico ha un rendimento più basso. Inoltre, i veicoli PHEV in ambito urbano sfruttano molto la frenata rigenerativa che permette di ricaricare le batterie e quindi consumare meno energia.

## 6.2 Scenario di Programma

Lo scenario di Programma è una previsione della composizione del parco circolante italiano al 2030, fatto dalla Fondazione Caracciolo, utilizzando i dati sulla stima del venduto al 2025 e al 2030 dell' UNRAE.

La principale ipotesi assunta per elaborare lo scenario è di considerare un ricambio annuo del parco circolante del 5%, dal 2018 al 2030.

Secondo le previsioni dell'UNRAE, la quota di veicoli benzina + diesel venduti passa dal 79% nel 2018 al 35% nel 2030, nello stesso orizzonte temporale la quota di veicoli BEV aumenta dallo 0,3% al 15% e la quota di veicoli ibridi passa dal 4,5% al 35% .

La Fondazione Caracciolo ha suddiviso la motorizzazione ibrida in ibrida e plug-in e ha separato la motorizzazione benzina dalla diesel.

In questo modo si è potuto ottenere lo scenario del parco circolante al 2030, completo di tutte le categorie di alimentazione.

Tecnologia	Programma	%
Benzina	10.834.551	30,2%
HEV benzina	3.062.238	8,5%
Benzina+gpl	2.494.905	6,9%
Benzina+metano	1.372.215	3,8%
Diesel	14.578.171	40,6%
HEV Diesel	442.842	1,2%
PHEV benzina	968.262	2,7%
PHEV diesel	324.172	0,9%
BEV	1.794.434	5,0%
Idrogeno	28.501	0,1%
Totale	35.900.291	100%

Tabella 20: Parco circolante italiano 2030, scenario di Programma [27].

Il parco veicolare italiano, nel 2030, sarà composto per il 3,6% da veicoli PHEV e per il 5,0% da veicolo BEV; il totale di veicoli plug-in sarà quindi l'8,6%.

Supponendo che il numero dei veicoli del parco circolante piemontese rimanga costante fino al 2030 ed applicandogli la composizione percentuale dei veicoli PHEV e BEV, studiata dalla Fondazione Caracciolo, si può ottenere l'aumento di energia elettrica richiesta dai veicoli elettrici in un anno.

Per suddividere i veicoli BEV e PHEV in base all'autonomia in modalità solo elettrica, si sono prima divisi i modelli esistenti, prendendo in considerazione i dati sull'autonomia di Quattroruote e dei siti

delle rispettive case costruttrici, poi si è preso il database del MIT relativo al parco circolante piemontese del 2019 e si è applicata la suddivisione.

La percorrenza annua regionale è quella riportata nella tabella 18; per i veicoli PHEV la percorrenza utilizzata è quella in ambito urbano.

$$\begin{aligned}
 & \text{Aumento richiesta energia} \left[ \frac{kWh}{\text{anno}} \right] \\
 & = \text{Aumento N. veicoli} * \text{consumo} \left[ \frac{kWh}{km} \right] * \text{percorrenza annua} [km]
 \end{aligned}$$

Architetture	N. veicoli 2019	N. veicoli 2030	Aumento N. veicoli	Aumento richiesta energia [kWh/anno]
PHEV40	566	77.345	76.779	43.664.295
PHEV60	208	28.424	28.216	14.587.493
BEV150	785	83.442	82.657	108.254.712
BEV300	322	34.227	33.905	51.805.970
BEV400	60	6.378	6.318	11.032.327
BEV600	215	22.854	22.639	42.003.288
PHEV+BEV	2.156	252.670	250.514	271.348.085

Tabella 21: Aumento del N. veicoli e dell'energia richiesta per lo scenario di Programma 2030 in Piemonte.

La nuova richiesta di energia elettrica alla rete, relativa ai veicoli elettrici che comporranno il parco circolante piemontese 2030 rispetto ai veicoli elettrici presenti oggi, sarà di circa 271 GWh/anno e il consumo di energia elettrica subirà un incremento dell'1,1% rispetto al consumo netto regionale 2018 [28].

Si analizzano ora per le diverse fasce orarie quali tipologie di ricarica (lenta-rapida-veloce) potranno essere adottate per ricaricare contemporaneamente tutti i veicoli PHEV e BEV previsti dallo scenario, senza superare il limite di potenza stimato nel capitolo 4.

Nella tabella sottostante vengono riportati i valori di potenza necessari per la ricarica, nello stesso istante, della componente plug-in (8,6%) del parco circolante piemontese al 2030, secondo le diverse modalità di ricarica. Tali valori sono stati ricavati moltiplicando la potenza di ricarica per il numero di veicoli da ricaricare.

Potenza richiesta alla rete per la ricarica dell'8,6% del parco circolante				
Ricarica lenta			Ricarica rapida	
2,3 kW	3,7 kW	7,4 kW	11 kW	22 kW
581 MW	935 MW	1.870 MW	2.779 MW	5.559 MW

Tabella 22: Potenza richiesta alla rete per la ricarica dell'8,6% del parco circolante piemontese al 2030, nelle diverse modalità di ricarica.

La figura seguente rappresenta le curve giornaliere di carico piemontese in presenza di diversi carichi aggiuntivi, corrispondenti alla ricarica dei veicoli plug-in nelle diverse modalità.

I profili di carico sono stati ottenuti prendendo il profilo di carico piemontese al 2018, traslato verso l'alto delle potenze espresse nella tabella soprastante.

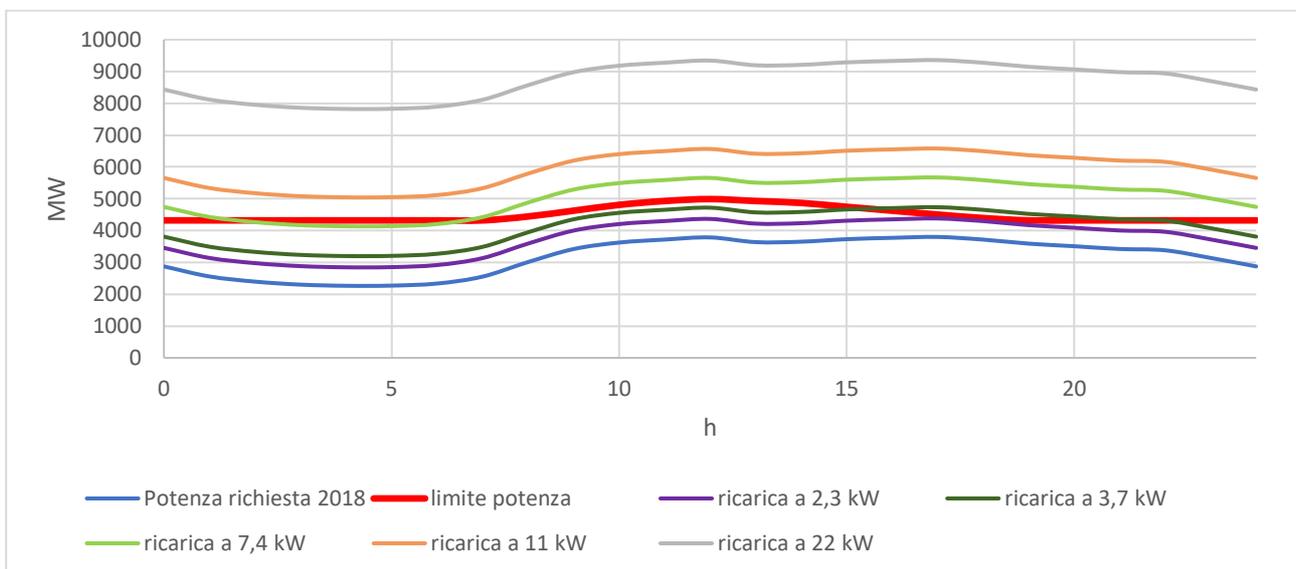


Figura 16: Curve di carico con i veicoli PHEV e BEV in ricarica a diverse potenze, scenario di programma.

La curva con la ricarica a 22kW si presenta, durante l'intera giornata, ampiamente al di sopra del limite di potenza, pertanto non sono stati presi in considerazione soluzioni di ricarica maggiori di 22kW.

Per comprendere meglio a quali ore della giornata e in quali modalità è possibile ricaricare contemporaneamente tutti i veicoli plug-in previsti dallo scenario di Programma senza superare il limite di potenza, è possibile calcolare la percentuale del parco circolante piemontese al 2030 che può essere ricaricato contemporaneamente nelle diverse ore del giorno e con diverse potenze, nel seguente modo:

$$\frac{\Delta E}{P_r * N_v} * 100$$

Dove:

$\Delta E$  = variazione di potenza oraria fra il limite di potenza prelevabile sulla rete e la curva di carico piemontese del 2018

$P_r$  = potenza di ricarica ipotizzata

$N_v$  = numero di veicoli del parco circolante piemontese al 2030

Ore	Potenze di ricarica				
	2,3 kW	3,7 kW	7,4 kW	11 kW	22 kW
1	26,1%	16,2%	8,1%	5,5%	2,7%
2	28,5%	17,7%	8,9%	6,0%	3,0%
3	29,9%	18,6%	9,3%	6,2%	3,1%
4	30,4%	18,9%	9,5%	6,4%	3,2%
5	30,3%	18,9%	9,4%	6,3%	3,2%
6	29,4%	18,3%	9,1%	6,1%	3,1%
7	26,2%	16,3%	8,1%	5,5%	2,7%
8	21,2%	13,2%	6,6%	4,4%	2,2%
9	17,8%	11,1%	5,5%	3,7%	1,9%
10	17,5%	10,9%	5,5%	3,7%	1,8%
11	17,9%	11,1%	5,6%	3,7%	1,9%
12	17,8%	11,1%	5,5%	3,7%	1,9%
13	19,1%	11,9%	5,9%	4,0%	2,0%
14	18,0%	11,2%	5,6%	3,8%	1,9%
15	15,1%	9,4%	4,7%	3,1%	1,6%
16	12,6%	7,8%	3,9%	2,6%	1,3%
17	10,4%	6,5%	3,2%	2,2%	1,1%
18	10,0%	6,2%	3,1%	2,1%	1,0%
19	10,8%	6,7%	3,4%	2,3%	1,1%
20	12,0%	7,5%	3,7%	2,5%	1,3%
21	13,3%	8,3%	4,1%	2,8%	1,4%
22	13,9%	8,7%	4,3%	2,9%	1,5%
23	17,5%	10,9%	5,4%	3,7%	1,8%
24	21,4%	13,3%	6,7%	4,5%	2,2%

Tabella 23: Quota oraria del parco circolante piemontese che potrà essere ricaricato contemporaneamente, con diverse modalità, senza superare il limite di potenza disponibile in rete.

Le caselle sono colorate in verde quando è possibile caricare, a una determinata potenza, un numero di veicoli maggiore o uguale ai veicoli plug-in previsti dallo scenario di programma (1'8,6% del parco circolante), altrimenti le caselle sono colorate in rosso.

Dalla tabella 23 si evince che la ricarica rapida, 11kW o 22kW, non può avvenire in nessun momento della giornata, in contemporanea per tutti i veicoli plug-in previsti dallo scenario.

Considerando la ricarica lenta a 2,3kW e 3,7kW, che può avvenire in ambiente domestico e la fascia oraria notturna (0:00-7:00) quando la maggior parte dei veicoli si trova parcheggiata presso l'abitazione, si può affermare che:

- [0:00-7:00 ; 2,3kW] il 21,4% del parco circolante, qualora fosse plug-in, potrebbe rimanere collegato a una colonnina per ricaricarsi senza superare il limite di potenza.
- [0:00-7:00 ; 3,7kW] il 13,3% del parco circolante, qualora fosse plug-in, potrebbe rimanere collegato a una colonnina per ricaricarsi senza superare il limite di potenza.

## 6.3 Scenario Tecnologico accelerato

Lo scenario Tecnologico accelerato, come quello programmato, si propone di fare una stima del parco circolante piemontese al 2030 ed è stato formulato dalla Fondazione Caracciolo.

È stato costruito a partire dagli obiettivi di emissione media del venduto imposti dal Regolamento UE 2019/631 del Parlamento Europeo.

Tali limiti sono stati rivisti al rialzo dopo che il ciclo di omologazione per i nuovi veicoli è diventato il WLTP, energeticamente più oneroso del precedente NEDC.

Tecnologia	Tecnologico accelerato	%
Benzina	9.649.810	26,9%
HEV benzina	3.387.428	9,4%
Benzina+gpl	2.069.917	5,8%
Benzina+metano	1.645.476	4,6%
Diesel	13.296.628	37,0%
HEV Diesel	615.496	1,7%
PHEV benzina	1.443.875	4,0%
PHEV diesel	1.042.437	2,9%
BEV	2.530.723	7,0%
Idrogeno	218.501	0,6%
Totale	35.900.291	100%

Tabella 24: Parco circolante italiano 2030, scenario Tecnologico accelerato [27].

I veicoli PHEV rappresenteranno il 6,9% del parco circolante italiano al 2030, e i veicoli BEV il 7,0%; il totale di veicoli plug-in sarà quindi il 13,9%.

Applicando la medesima composizione percentuale per i veicoli elettrici (PHEV/BEV) del parco veicolare piemontese, si è poi trovato l'aumento di domanda annua di energia elettrica dovuta all'incremento di veicoli elettrici dal 2019 al 2030.

Architetture	N. veicoli 2019	N. veicoli 2030	Aumento N. veicoli	Aumento richiesta energia [kWh/anno]
PHEV40	566	148.245	147.679	83.985.047
PHEV60	208	54.479	54.271	28.058.107
BEV150	785	116.819	116.034	151.967.409
BEV300	322	47.918	47.596	72.724.784
BEV400	60	8.929	8.869	15.487.402
BEV600	215	31.995	31.780	58.963.976
PHEV+BEV	2.156	408.385	406.229	361.186.725

Tabella 25: Aumento del N. veicoli e dell'energia richiesta per lo scenario Tecnologico accelerato 2030 in Piemonte.

Il consumo aggiuntivo di energia elettrica sarà circa 411 GWh/anno rispetto al consumo regionale del 2018, pari a un incremento di circa il 1,7%.

Ora, si valuterà quali modalità di ricarica, nelle diverse ore del giorno, potranno essere scelte per la ricarica contemporanea dei veicoli plug-in previsti dallo scenario accelerato, senza superare il limite di potenza prelevabile dalla rete.

Nella tabella seguente vengono riportate le potenze necessarie per la ricarica, nello stesso istante, della componente plug-in (13,9%) del parco circolante piemontese al 2030, nelle diverse tipologie di ricarica.

Potenza richiesta alla rete per la ricarica del 13,9% del parco circolante				
Ricarica lenta			Ricarica rapida	
2,3 kW	3,7 kW	7,4 kW	11 kW	22 kW
939 kW	1.511 kW	3.022 kW	4.492 kW	8.984 kW

Tabella 26: Potenza richiesta alla rete per la ricarica del 13,9% del parco circolante piemontese al 2030, nelle diverse modalità di ricarica.

Per ogni modalità di ricarica si traccia un profilo giornaliero di carico in presenza di un carico aggiuntivo, corrispondente alla ricarica dei veicoli plug-in previsti dallo scenario.

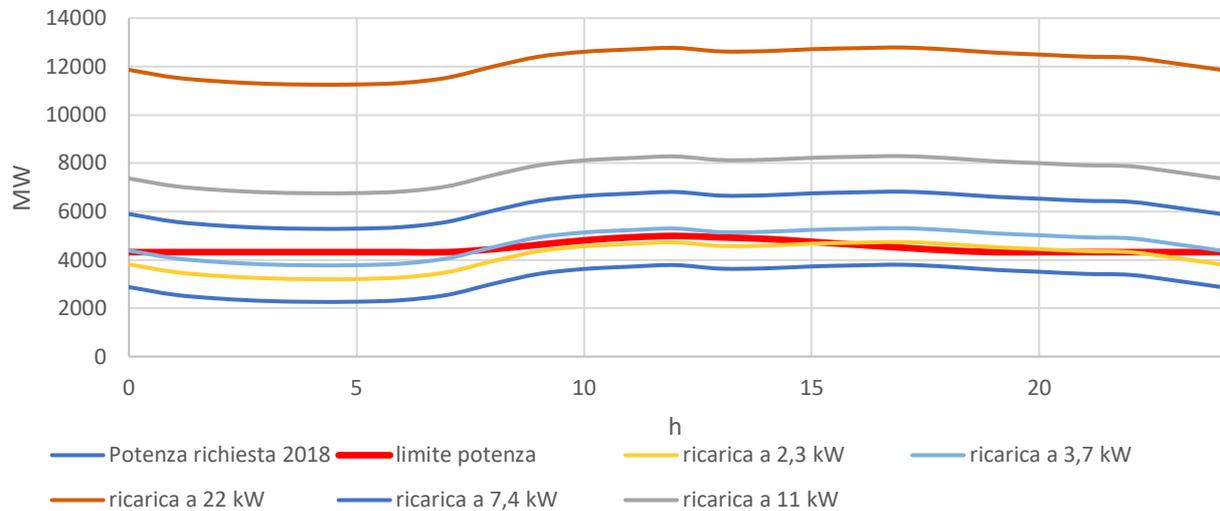


Figura 17: Curve di carico con i veicoli PHEV e BEV in ricarica a diverse potenze, scenario accelerato.

Come è avvenuto nel paragrafo precedente, la tabella 27 specifica la percentuale del parco circolante piemontese che può essere ricaricata contemporaneamente senza superare il limite di potenza. Le caselle sono colorate in verde se la percentuale è superiore al 13,9% (percentuale di veicoli plug-in previsti dallo scenario preso in considerazione), altrimenti sono colorate in rosso.

Ore	Potenze di ricarica				
	2,3 kW	3,7 kW	7,4 kW	11 kW	22 kW
1	26,1%	16,2%	8,1%	5,5%	2,7%
2	28,5%	17,7%	8,9%	6,0%	3,0%
3	29,9%	18,6%	9,3%	6,2%	3,1%
4	30,4%	18,9%	9,5%	6,4%	3,2%
5	30,3%	18,9%	9,4%	6,3%	3,2%
6	29,4%	18,3%	9,1%	6,1%	3,1%
7	26,2%	16,3%	8,1%	5,5%	2,7%
8	21,2%	13,2%	6,6%	4,4%	2,2%
9	17,8%	11,1%	5,5%	3,7%	1,9%
10	17,5%	10,9%	5,5%	3,7%	1,8%
11	17,9%	11,1%	5,6%	3,7%	1,9%
12	17,8%	11,1%	5,5%	3,7%	1,9%
13	19,1%	11,9%	5,9%	4,0%	2,0%
14	18,0%	11,2%	5,6%	3,8%	1,9%
15	15,1%	9,4%	4,7%	3,1%	1,6%
16	12,6%	7,8%	3,9%	2,6%	1,3%
17	10,4%	6,5%	3,2%	2,2%	1,1%
18	10,0%	6,2%	3,1%	2,1%	1,0%
19	10,8%	6,7%	3,4%	2,3%	1,1%
20	12,0%	7,5%	3,7%	2,5%	1,3%
21	13,3%	8,3%	4,1%	2,8%	1,4%
22	13,9%	8,7%	4,3%	2,9%	1,5%
23	17,5%	10,9%	5,4%	3,7%	1,8%
24	21,4%	13,3%	6,7%	4,5%	2,2%

Tabella 27: Quota oraria del parco circolante piemontese che potrà essere ricaricato contemporaneamente, con diverse modalità, senza superare il limite di potenza disponibile in rete.

Nello scenario accelerato dove la percentuale (13,9%) di veicoli plug-in nel parco circolante aumenta rispetto a quello nello scenario programmato, la quota di veicoli che può essere ricaricata contemporaneamente può utilizzare solo modalità lenta, a 2,3kW e 3,7kW, e solo in alcuni momenti della giornata.

## 7 Scenari di ricarica per il parco circolante piemontese 2030

Nei capitoli precedenti si è visto che la domanda di potenza elettrica richiesta dai veicoli plug-in previsti dagli scenari può essere soddisfatta dagli impianti esistenti se la ricarica avviene in modalità lenta e ancora meglio se nelle ore notturne.

La ricarica lenta nelle ore notturne può essere effettuata in ambiente domestico qualora sia disponibile un posto auto adiacente all'abitazione.

In questo capitolo verranno analizzati i seguenti scenari di ricarica dal punto di vista della percentuale di batteria che può essere ripristinata e dell'impatto sul carico piemontese:

- Ricarica domestica (0:00-7:00) a 2,3kW dei veicoli PHEV-BEV.
- Ricarica domestica (0:00-7:00) a 3,7kW dei veicoli PHEV-BEV.

La percentuale di ripristino della capacità della batteria è valutata come segue:

- Tra 0% e 40% insufficiente ed evidenziata di rosso.
- Tra 41% e 80% sufficiente ed evidenziata di giallo.
- Sopra l'81% ottima ed evidenziata di verde.

### 7.1 Ricarica domestica dei veicoli PHEV-BEV, con contratto da 3 kW

Si ipotizza di ricaricare il veicolo elettrico in ambiente domestico a 2,3 kW, avendo un contratto di fornitura dell'energia elettrica di 3 kW.

La ricarica avviene nel modo 1, cioè collegando il veicolo a una normale presa domestica oppure nel modo 2 attraverso una presa dedicata che presenta maggior sicurezza e la potenza estratta può essere modulata.

L'orario di ricarica che è stato scelto è quello notturno, dalle 0:00 alle 7:00, nel quale la maggior parte dei veicoli si trova presso le abitazioni e il carico sulla rete domestica è molto basso, come illustrato nel capitolo 5, perciò le batterie dei veicoli vengono caricate senza sovraccaricare la rete.

Architetture	Ricarica domestica a 2,3 kW (0:00-7:00)		
	$E_N$ [kWh]	$E_N/E_T * 100$ [%]	$E_N/E_G * 100$ [%]
PHEV40	8,8	100%	100%
PHEV60	12,0	100%	100%
BEV150	16,1	91,5%	100%
BEV300	16,1	39,3%	100%
BEV400	16,1	26%	100%
BEV600	16,1	16,1%	100%

Tabella 28: Risultati per la ricarica notturna domestica a 2,3 kW in relazione all'energia totale contenuta nella batteria e all'energia necessaria per l'uso giornaliero del veicolo.

**Legenda:**

- $E_N$  = energia ottenuta dalla ricarica notturna domestica.
- $E_T$  = energia totale contenuta nella batteria (capacità), tabella 19.
- $E_G$  = energia necessaria per un uso giornaliero, tabella 19.

Questo primo scenario permette il completo ripristino dell'energia necessaria per gli spostamenti giornalieri di tutti i tipi di architetture.

Per i veicoli PHEV avviene il ripristino completo dell'energia totale contenuta nella batteria, mentre per i veicoli BEV avviene un ripristino inferiore al 40%, tranne nel caso del BEV150 che ottiene un ripristino del 91,5%.

Nei grafici sottostanti vengono rappresentate le curve di carico piemontese al 2030, evidenziando il carico aggiuntivo rispetto al 2018 dovuto alla ricarica dei veicoli plug-in.

Tali ipotesi vengono fatte:

- Ricarica lenta a 2,3 kW dalle 0:00 alle 7:00.
- Tutti i veicoli plug-in previsti dagli scenari vengono ricaricati contemporaneamente.
- Lo stato di carica iniziale delle batterie è pari 0%.

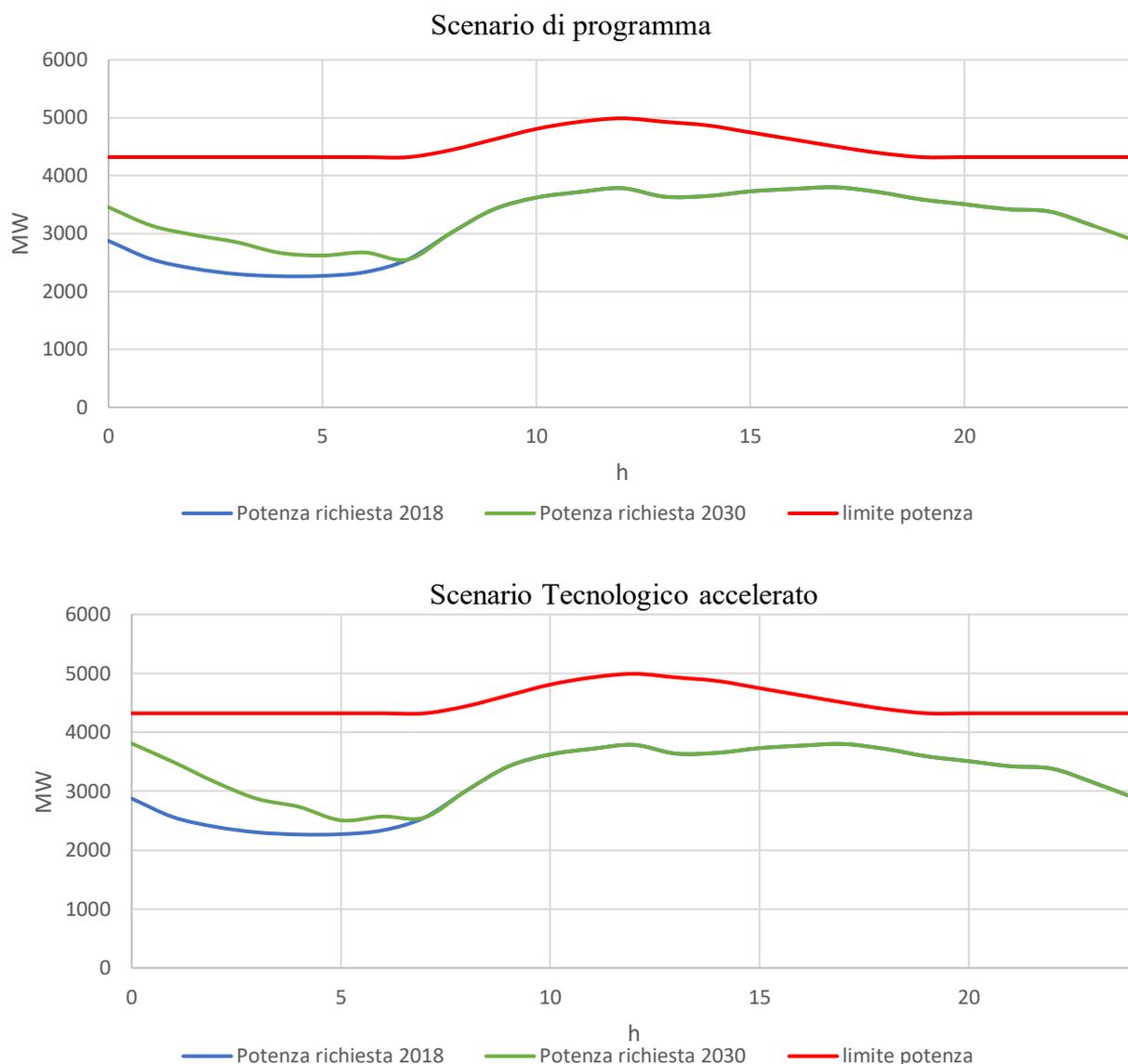


Figura 18: Grafici giornalieri della potenza elettrica richiesta sulla rete piemontese nel 2030 in presenza della ricarica domestica notturna (0:00-7:00) a 2,3 kW dei veicoli plug-in previsti dagli scenari: Programma e Accelerato.

La curva di carico proposta per il 2030 presenta alle ore 0:00 il maggior incremento di potenza rispetto alla curva di carico 2018, perché in tale orario si è supposto che tutti i veicoli plug-in fossero connessi alla rete per la ricarica.

L'incremento di potenza è di 754 MW, il 26% in più rispetto al 2018 per lo scenario di programma, mentre per lo scenario accelerato si ha un incremento di 1.164 MW, il 41% in più rispetto al 2018.

## 7.2 Ricarica domestica dei veicoli PHEV-BEV, con contratto da 4,5 kW

Si ipotizza di ricaricare il veicolo elettrico in ambiente domestico a 3,7 kW, avendo un contratto di fornitura dell'energia elettrica di 4,5 kW.

La ricarica avviene nel modo 2 o 3: nel primo caso il sistema di sicurezza e di regolazione della potenza si trovano nel cavo di ricarica, mentre nel secondo caso si trovano nella wall box dedicata.

L'orario di ricarica è sempre quello notturno (0:00-7:00), come nel primo caso.

Architetture	Ricarica domestica a 3,7 kW (0:00-7:00)		
	$E_N$ [kWh]	$E_N/E_T * 100$ [%]	$E_N/E_G * 100$ [%]
PHEV40	8,8	100%	100%
PHEV60	12,0	100%	100%
BEV150	17,6	100%	100%
BEV300	22,2	61,7%	100%
BEV400	22,2	35,8%	100%
BEV600	22,2	25,9%	100%

Tabella 29: Risultati per la ricarica notturna domestica a 3,7 kW in relazione all'energia totale contenuta nella batteria e all'energia necessaria per l'uso giornaliero del veicolo.

### Legenda:

- $E_N$  = energia ottenuta dalla ricarica notturna domestica.
- $E_T$  = energia totale contenuta nella batteria (capacità), tabella 19.
- $E_G$  = energia necessaria per un uso giornaliero, tabella 19.

Il secondo scenario permette il completo ripristino dell'energia necessaria per gli spostamenti giornalieri di tutti i tipi di architetture.

Per i veicoli PHEV e BEV150 avviene il ripristino completo dell'energia totale contenuta nella batteria, per il BEV300 avviene il ripristino del 52,9%.

Infine, il BEV400 e il BEV600 ottengono un ripristino della capacità totale della batteria inferiore al 40%.

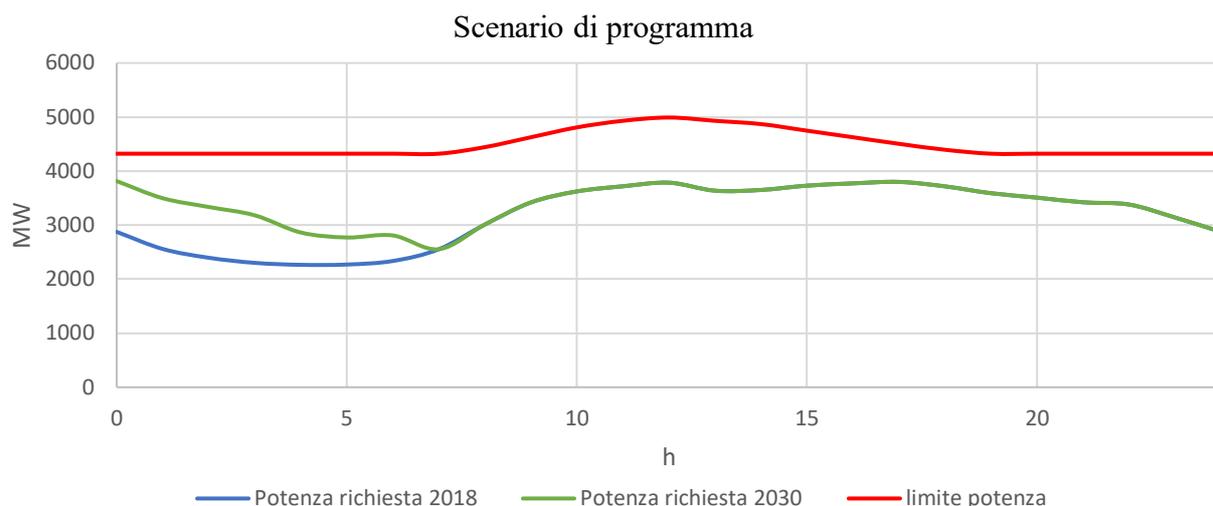


Figura 19: Grafici giornalieri della potenza elettrica richiesta sulla rete piemontese nel 2030 in presenza della ricarica domestica notturna (0:00-7:00) a 3,7 kW dei veicoli plug-in previsti dallo scenario di Programma.

La curva di carico proposta per il 2030 presenta alle ore 0:00 il maggior incremento di potenza rispetto alla curva di carico 2018, perché in tale orario si è supposto che tutti i veicoli plug-in fossero connessi alla rete per la ricarica.

L'incremento di potenza è di 581 MW, il 20% in più rispetto al 2018 per lo scenario di programma, mentre per lo scenario accelerato si supererebbe il limite di potenza, reso disponibile dagli impianti piemontese, perciò non è stato tracciato il grafico.

## 8 Evoluzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> del parco circolante piemontese al 2030

In questo capitolo si analizzano le emissioni di CO<sub>2</sub> del parco circolante piemontese presente, 2019 e futuro, 2030.

Verranno altresì valutate le emissioni delle nuove immatricolazioni nel territorio piemontese.

Le proiezioni future delle nuove immatricolazioni e del parco circolante saranno ottenute a partire dagli scenari della Fondazione Caracciolo.

### 8.1 Emissioni di CO<sub>2</sub> delle immatricolazioni nel territorio piemontese

A partire dal database del parco circolante piemontese aggiornato fino al 31.12.2019, prodotto dal MIT [38], i veicoli sono stati raggruppati in classi di alimentazione e di potenza (del motore termico).

Alimentazione	Fasce di potenza (motore termico) [kW]
Benzina	$P \leq 40$
Diesel	$40 < P \leq 80$
GPL	$80 < P \leq 120$
Metano	$120 < P \leq 160$
HEV B	$160 < P \leq 200$
HEV D	$P > 200$
PHEV B	
PHEV D	
BEV	

Tabella 30: Classificazione delle nuove immatricolazioni piemontesi.

Nel database del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti sono state selezionate le autovetture adibite al trasporto di persone e suddivise in base all'alimentazione e alla potenza.

Tra i dati riportati per ogni veicolo, è presente anche il valore di CO<sub>2</sub> emessa, espressa come g/km.

Nelle tabelle seguenti vengono riportati i risultati sia della composizione percentuale dell'immatricolato piemontese 2019, sia delle emissioni medie dello stesso.

Immatricolato piemontese 2019									
Classe di potenza	BENZINA	DIESEL	GPL	METANO	HEVB	HEVD	PHEVB	PHEVD	BEV
1	0,032%	0,002%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,363%
2	32,785%	8,164%	9,172%	0,802%	3,048%	0,000%	0,014%	0,000%	
3	14,069%	19,552%	3,030%	0,257%	0,525%	0,224%	0,078%	0,000%	
4	1,514%	3,564%	0,006%	0,009%	0,404%	0,150%	0,007%	0,001%	
5	0,476%	0,655%	0,000%	0,000%	0,044%	0,063%	0,007%	0,000%	
6	0,639%	0,129%	0,000%	0,000%	0,021%	0,146%	0,048%	0,000%	
Totale	49,515%	32,065%	12,208%	1,068%	4,043%	0,582%	0,154%	0,001%	0,363%

Emissioni immatricolato piemontese 2019, CO <sub>2</sub> [g/km]									
Classe di potenza	BENZINA	DIESEL	GPL	METANO	HEVB	HEVD	PHEVB	PHEVD	BEV
1	110,54	87,00	0,00	0,00	103,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	117,42	107,96	127,33	93,03	90,04	120,88	29,52	35,28	
3	130,44	124,89	147,70	112,34	110,33	130,41	51,81	42,76	
4	148,64	145,36	166,22	110,50	107,92	135,00	40,73	41,00	
5	160,75	175,07	0,00	0,00	156,08	155,87	49,00	54,74	
6	201,46	176,28	0,00	0,00	191,66	169,34	51,71	88,18	

Tabella 31: Composizione ed emissione di CO<sub>2</sub> dell'immatricolato piemontese 2019 [38].

Per quanto concerne i combustibili tradizionali, le immatricolazioni benzina (49,51%) prevalgono su quelle diesel (32,06%), probabilmente in conseguenza delle limitazioni alla circolazione dei veicoli diesel più inquinanti in molte aree della regione, compresa la città di Torino e i comuni limitrofi.

Le immatricolazioni plug-in rappresentano ancora una fetta esigua dell'immatricolato, solo lo 0,51%.

Per determinare l'evoluzione delle immatricolazioni in Piemonte, sono state utilizzate le ipotesi definite dalla Fondazione Caracciolo nello Scenario Programmato [27].

La Fondazione Caracciolo, a sua volta, si è avvalsa dei dati di UNRAE per redigere un trend di mercato a livello italiano fino al 2030.

Immatricolato piemontese 2020									
Classe di potenza	BENZINA	DIESEL	GPL	METANO	HEVB	HEVD	PHEVB	PHEVD	BEV
1	0,029%	0,002%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	2,300%
2	30,260%	7,511%	9,166%	0,826%	4,147%	0,382%	0,180%	0,051%	
3	12,985%	17,988%	3,028%	0,265%	0,715%	0,915%	1,013%	0,122%	
4	1,397%	3,279%	0,006%	0,010%	0,550%	0,167%	0,094%	0,022%	
5	0,439%	0,603%	0,000%	0,000%	0,059%	0,031%	0,094%	0,004%	
6	0,590%	0,119%	0,000%	0,000%	0,029%	0,006%	0,618%	0,001%	
Totale	45,700%	29,500%	12,200%	1,100%	5,500%	1,500%	2,000%	0,200%	2,300%

Immatricolato piemontese 2030									
Classe di potenza	BENZINA	DIESEL	GPL	METANO	HEVB	HEVD	PHEVB	PHEVD	BEV
1	0,012%	0,001%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	16,000%
2	11,918%	4,583%	9,166%	0,826%	13,573%	1,248%	0,793%	0,764%	
3	5,115%	10,976%	3,028%	0,265%	2,339%	2,988%	4,457%	1,829%	
4	0,550%	2,001%	0,006%	0,010%	1,800%	0,545%	0,415%	0,333%	
5	0,173%	0,368%	0,000%	0,000%	0,194%	0,100%	0,415%	0,061%	
6	0,232%	0,072%	0,000%	0,000%	0,094%	0,020%	2,719%	0,012%	
Totale	18,000%	18,000%	12,200%	1,100%	18,000%	4,900%	8,800%	3,000%	16,000%

Tabella 32: Stima della composizione dell'immatricolato piemontese 2020 e 2030.

La quota plug-in prevista per il 2030 raggiunge il 27,8% dell'immatricolato, mentre i veicoli alimentati a benzina/diesel saranno il 36%.

Per determinare le emissioni delle future immatricolazioni, viene adottata una riduzione delle emissioni del 1% annuo per i veicoli benzina e del 1,2% annuo per i veicoli diesel [27].

I risultati delle emissioni del parco circolante piemontese al 2020 e al 2030, suddivisi per classe di potenza e tipo di alimentazione, sono riportati nelle tabelle seguenti.

Emissioni immatricolato piemontese 2020, CO <sub>2</sub> [g/km]									
Classe di potenza	BENZINA	DIESEL	GPL	METANO	HEVB	HEVD	PHEVB	PHEVD	BEV
1	109,43	85,96	0,00	0,00	101,97	0,00	0,00	0,00	0,00
2	116,24	106,67	126,06	92,10	89,14	119,43	29,23	34,86	
3	129,14	123,40	146,23	111,21	109,23	128,84	51,30	42,25	
4	147,15	143,61	164,56	109,40	106,84	133,38	40,32	40,51	
5	159,14	172,97	0,00	0,00	154,52	154,00	48,51	54,08	
6	199,44	174,17	0,00	0,00	189,74	167,31	51,19	87,12	

Emissioni immatricolato piemontese 2030, CO <sub>2</sub> [g/km]									
Classe di potenza	BENZINA	DIESEL	GPL	METANO	HEVB	HEVD	PHEVB	PHEVD	BEV
1	98,97	76,18	0,00	0,00	92,22	0,00	0,00	0,00	0,00
2	105,13	94,54	114,01	83,30	80,61	105,85	26,43	30,89	
3	116,79	109,36	132,24	100,58	98,79	114,19	46,39	37,44	
4	133,08	127,28	148,83	98,93	96,62	118,21	36,46	35,90	
5	143,92	153,30	0,00	0,00	139,74	136,49	43,87	47,93	
6	180,37	154,36	0,00	0,00	171,60	148,28	46,30	77,21	

Tabella 33: Stima delle emissioni di CO<sub>2</sub> dell'immatricolato piemontese 2020 e 2030.

Le emissioni medie complessive dell'immatricolato, suddivise per anno, si ottengono moltiplicando il valore di emissione di una determinata categoria per il rispettivo peso percentuale all'interno dell'immatricolato e infine si sommano tutti i valori ottenuti.

	emissioni CO <sub>2</sub> [g/km], immatricolato piemontese		
anno	2019	2020	2030
limiti UE	/	114	71
immatricolato	122,97	117,31	80,81

Tabella 34: emissioni dell’immatricolato piemontese e i limiti UE.

I limiti di emissione, relativi alle nuove immatricolazioni, imposti dall’UE sono stati aggiornati secondo il nuovo ciclo di omologazione WLTP, come spiegato nel paragrafo 2.3.

Le emissioni stimate risultano superiori al limite sia per il 2020, sia per il 2030.

L’International Energy Agency (IEA) ritiene che per raggiungere l’obiettivo dell’intero parco veicolare a emissioni zero entro il 2050, nel 2030 il mercato debba essere composto dal 50% di veicoli plug-in [39].

## 8.2 Emissioni di CO<sub>2</sub> del parco circolante piemontese

Il parco circolante piemontese, aggiornato al 31.12.2019 è stato ricavato dal database del MIT, escludendo i veicoli immatricolati prima del 2000 perché troppo obsoleti.

Sono state selezionate solo le autovetture adibite al trasporto di persone e sono state classificate sulla base del tipo di alimentazione e della classe di potenza del motore termico come nel paragrafo precedente.

La composizione percentuale e le emissioni medie di ogni categoria sono riportate nelle tabelle seguenti.

parco circolante piemontese 2019									
Classe di potenza	BENZINA	DIESEL	GPL	METANO	HEVB	HEVD	PHEVB	PHEVD	BEV
1	3,285%	0,093%	0,204%	0,004%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,051%
2	32,220%	20,290%	8,299%	1,182%	0,817%	0,000%	0,003%	0,000%	
3	4,365%	20,652%	2,049%	0,145%	0,105%	0,021%	0,018%	0,000%	
4	0,800%	3,734%	0,053%	0,002%	0,032%	0,010%	0,004%	0,000%	
5	0,307%	0,770%	0,022%	0,000%	0,007%	0,005%	0,002%	0,001%	
6	0,324%	0,099%	0,006%	0,000%	0,003%	0,013%	0,006%	0,000%	
Totale	41,300%	45,638%	10,632%	1,333%	0,964%	0,048%	0,033%	0,001%	0,051%

Emissioni parco circolante piemontese 2019, CO <sub>2</sub> [g/km]									
Classe di potenza	BENZINA	DIESEL	GPL	METANO	HEVB	HEVD	PHEVB	PHEVD	BEV
1	141,45	97,30	127,52	149,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	131,30	119,10	126,07	116,49	87,53	0,00	21,73	0,00	
3	149,17	138,91	148,04	126,10	112,72	120,78	48,89	0,00	
4	166,59	156,17	187,53	166,45	116,71	132,10	50,08	46,25	
5	194,71	188,73	286,11	287,25	144,46	156,73	56,39	52,24	
6	245,89	193,69	328,45	0,00	186,35	168,04	91,21	0,00	

Tabella 35: Composizione ed emissione di CO<sub>2</sub> del parco circolante piemontese 2019 [38].

Il parco circolante piemontese è composto per il 86,94% da veicoli a benzina/diesel, rispettivamente il 41,3% diesel e il 45,64% benzina.

La componente plug-in rappresenta una percentuale molto esigua, il 0,08%.

Per determinare la composizione del parco circolante piemontese al 2020 e al 2030, si è utilizzata l'evoluzione del parco circolante italiano, proposta dallo Scenario Programmato della Fondazione Caracciolo e applicata al parco circolante piemontese 2019.

Nelle tabelle sottostanti vengono riportati i risultati.

parco circolante piemontese 2020									
Classe di potenza	BENZINA	DIESEL	GPL	METANO	HEVB	HEVD	PHEVB	PHEVD	BEV
1	3,318%	0,090%	0,216%	0,004%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,186%
2	32,543%	19,532%	8,789%	1,181%	1,090%	0,000%	0,013%	0,000%	
3	4,408%	19,881%	2,170%	0,145%	0,140%	0,058%	0,079%	0,000%	
4	0,808%	3,594%	0,056%	0,002%	0,043%	0,029%	0,019%	0,001%	
5	0,310%	0,741%	0,023%	0,000%	0,009%	0,013%	0,010%	0,002%	
6	0,327%	0,095%	0,006%	0,000%	0,004%	0,036%	0,029%	0,000%	
Totale	41,715%	43,934%	11,259%	1,332%	1,286%	0,136%	0,149%	0,003%	0,186%

parco circolante piemontese 2030									
Classe di potenza	BENZINA	DIESEL	GPL	METANO	HEVB	HEVD	PHEVB	PHEVD	BEV
1	2,983%	0,063%	0,230%	0,004%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	5,000%
2	29,262%	13,735%	9,367%	1,152%	7,204%	0,534%	0,235%	0,400%	
3	3,964%	13,980%	2,312%	0,142%	0,927%	0,543%	1,421%	0,407%	
4	0,726%	2,528%	0,060%	0,002%	0,286%	0,098%	0,336%	0,074%	
5	0,279%	0,521%	0,025%	0,000%	0,058%	0,020%	0,187%	0,015%	
6	0,294%	0,067%	0,007%	0,000%	0,027%	0,003%	0,520%	0,002%	
Totale	37,509%	30,894%	12,001%	1,300%	8,500%	1,198%	2,700%	0,898%	5,000%

Tabella 36: Stima della composizione del parco circolante piemontese 2020 e 2030.

Il parco circolante piemontese stimato per il 2030 è composto dal 68,40% di veicoli a benzina/diesel e dal 8,6% da veicoli plug-in, 5% BEV e 3,6% PHEV.

Le emissioni medie del parco circolante piemontese al 2020 e al 2030 vengono determinate applicando una riduzione del 1% annuo per le immatricolazioni benzina e del 1,2% annuo per le immatricolazioni diesel.

Considerato un ricambio del parco circolante uguale al 4% annuo, la riduzione delle emissioni sarà uguale al 0,04% annuo per il circolante a benzina e 0,048% annuo per il circolante diesel.

Emissioni parco circolante piemontese 2020, CO <sub>2</sub> [g/km]									
Classe di potenza	BENZINA	DIESEL	GPL	METANO	HEVB	HEVD	PHEVB	PHEVD	BEV
1	141,40	97,25	127,47	149,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	131,25	119,05	126,02	116,44	87,49	0,00	21,72	0,00	
3	149,11	138,85	147,98	126,05	112,68	120,72	48,87	0,00	
4	166,53	156,10	187,45	166,38	116,66	132,04	50,06	46,23	
5	194,63	188,64	285,99	287,14	144,40	156,66	56,37	52,21	
6	245,79	193,60	328,32	0,00	186,27	167,96	91,17	0,00	

Emissioni parco circolante piemontese 2030, CO <sub>2</sub> [g/km]									
Classe di potenza	BENZINA	DIESEL	GPL	METANO	HEVB	HEVD	PHEVB	PHEVD	BEV
1	140,83	96,87	126,96	148,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	130,72	118,57	125,51	115,97	87,14	106,00	21,63	31,00	
3	148,51	138,29	147,39	125,54	112,23	120,24	48,67	37,45	
4	165,86	155,47	186,70	165,72	116,19	131,51	49,86	46,04	
5	193,85	187,88	284,85	285,99	143,83	156,03	56,14	52,00	
6	244,80	192,83	327,01	0,00	185,53	167,29	90,81	0,00	

Tabella 37: Stima delle emissioni di CO<sub>2</sub> dell'immatricolato piemontese 2020 e 2030.

Ora si può determinare l'emissione media annua dell'intero parco circolante piemontese moltiplicando l'emissione media di ogni categoria per il rispettivo peso percentuale e sommando tutti i valori ottenuti.

Si calcolano infine le emissioni totali annue, 2019 e 2030, moltiplicando i valori medi di emissione per il numero di veicoli circolanti in Piemonte e per i chilometri medi annui suddivisi tra urbani ed extraurbani, tabella 18, nell'ipotesi che le distanze medie percorse non varino nel periodo.

Emissioni CO <sub>2</sub> [Mt/anno]					
2019		2030		2030-2019	
Urbano	Extraurbano	Urbano	Extraurbano	Urbano	Extraurbano
0,88	2,83	0,79	2,55	0,09	0,28

Tabella 38: Emissioni di CO<sub>2</sub> annue del parco circolante piemontese 2019, 2030 e la loro differenza.

Si stima che il parco circolante piemontese al 2030 porterà a una riduzione dell'emissione di CO<sub>2</sub> pari a 0,37 Mt/anno rispetto al parco circolante 2030.

Le emissioni di CO<sub>2</sub> per un veicolo, non sono legate solamente all'utilizzo del veicolo stesso, ma anche alla produzione di quest'ultimo e alla "produzione" del combustibile usato per la trazione, componente molto importante per i veicoli elettrici.

Nel capitolo successivo verrà condotta un'analisi WTW relativa alla CO<sub>2</sub> realmente emessa dal veicolo nel suo ciclo vita.

## 9 Analisi WTW

L'analisi WTW è una procedura che porta al calcolo complessivo di ciò che viene consumato ed emesso, in termini di energia che di materia, nel ciclo vita di un vettore energetico utilizzato dal trasporto veicolare.

WTW significa letteralmente “ dal pozzo alla ruota” e si può dividere in WTT “ dal pozzo al serbatoio” e TTW “ dal serbatoio alla ruota”.

In questo capitolo si valuteranno le emissioni di CO<sub>2</sub> nel ciclo vita dei combustibili utilizzati dal trasporto veicolare.

- **WTT:** in questa fase calcola la CO<sub>2</sub> emessa nelle fasi che vanno dall'estrazione del combustibile primario al rifornimento del veicolo, si misura in  $\frac{gCO_2}{MJ_f}$ ,  $MJ_f$  indica l'energia complessiva contenuta nel vettore energetico collocato nel serbatoio.

Si può riportare tale valore in  $\frac{gCO_2}{km}$ , conoscendo il consumo del veicolo  $\frac{MJ_f}{km}$ ,  $\frac{gCO_2}{MJ_f} *$

$$\frac{MJ_f}{Km} = \frac{gCO_2}{km} .$$

- **TTW:** in questa fase si calcola la CO<sub>2</sub> emessa nella fase di utilizzo del veicolo, dal motore a combustione interna, misurata in  $\frac{gCO_2}{Km}$ .

$$WTW \left[ \frac{gCO_2}{km} \right] = WTT \left[ \frac{gCO_2}{MJ_f} * \frac{MJ_f}{km} \right] + TTW \left[ \frac{gCO_2}{km} \right]$$

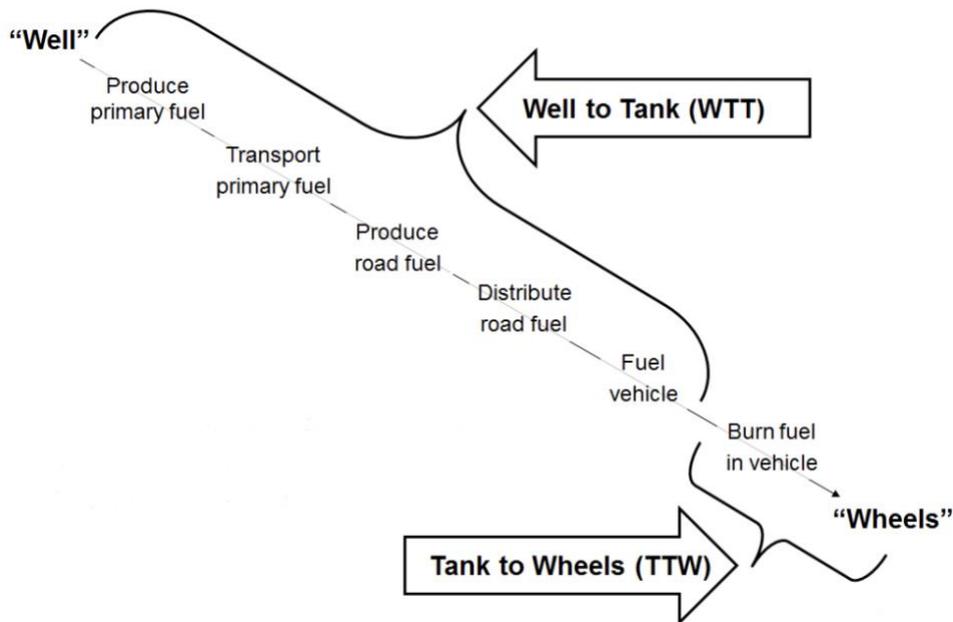


Figura 20: Schema ciclo WTW [40].

### Fase WTT:

Per quanto riguarda la CO<sub>2</sub> emessa per ottenere i combustibili tradizionali benzina/diesel, il GPL e il metano nelle fasi che vanno dall'estrazione alla distribuzione all'utente finale, i dati di riferimento sono contenuti nel documento "JEC WELL-TO-WHEELS ANALYSIS" della Commissione Europea.[34] Le emissioni dovute alla produzione dell'elettricità, necessaria per i veicoli plug-in, dipendono dal mix energetico regionale, riportato nella tabella 6, capitolo 4.

Vengono scomposti i campi termoelettrico e import.

La produzione termoelettrica piemontese si suddivide, per la quasi totalità, in cogenerazione a ciclo combinato, oppure semplice ciclo combinato (CC), entrambi a Gas naturale, come riportato da Terna [45].

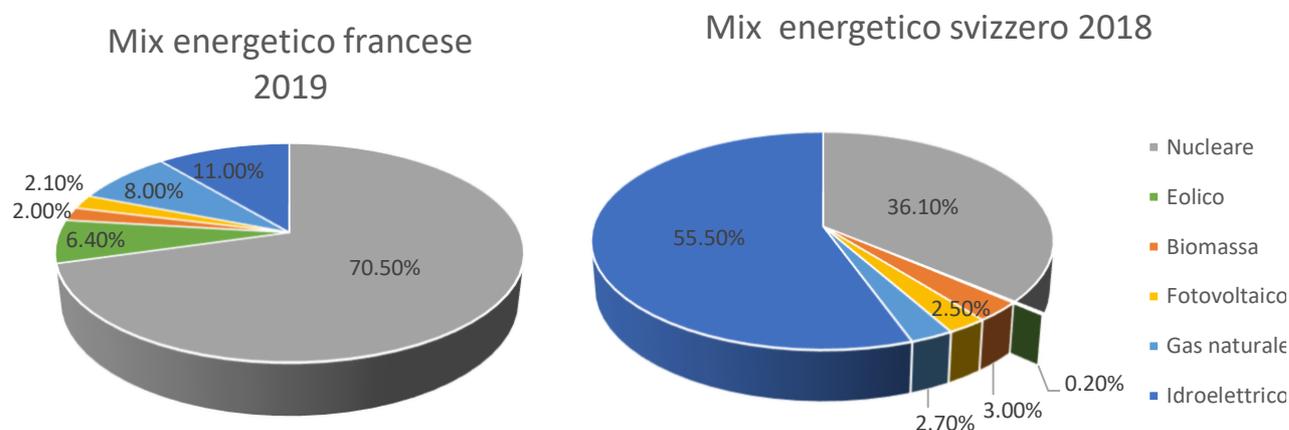
Il bilancio energetico piemontese, redatto da TERNA, riporta una quota di energia elettrica importata dall'estero; per motivi geografici tale energia proviene dalla Francia e dalla Svizzera.

**Box1:** Composizione dell'import di energia elettrica dall'estero verso il Piemonte:

Il bilancio energetico piemontese, redatto da TERNA, riporta una quota di energia elettrica importata dall'estero; per motivi geografici tale energia proviene dalla Francia e dalla Svizzera.

La quota di energia, sulla base dei dati di import delle singole regioni (TERNNA), si deduce: per il 89% provenire dalla Francia e per il 11% provenire dalla Svizzera (TERNNA).

I dati relativi alla composizione della produzione di energia elettrica francese sono stati presi dalla società che gestisce le linee di trasmissione, RTE (Réseau de transport d'électricité), mentre i dati per la Svizzera sono stati presi dal sito etichettatura-elettricità dove i fornitori di energia elettrica devono riportare annualmente la composizione del mix energetico prodotto [41] [42].



Le emissioni dovute alle diverse fonti energetiche per ottenere il vettore energetico elettricità sono state ottenute come segue: dalla rivista “Sustainability” per la componente eolica [37], dalla rivista “Nature Communications” per la componente fotovoltaica [35], Wikipedia per l'idroelettrico [43] e ISPRA ambiente per le diverse tipologie di centrali termoelettriche [36].

Emissioni CO <sub>2</sub> WTT					
Fonte	Trazione	Composizione	WTT [g/MJ]	WTT [g/kWh]	Totale
PETROLIO	BENZINA	100%	13,10		13,10 [g/MJ]
PETROLIO	DIESEL	100%	14,70		14,70 [g/MJ]
GPL	GPL	100%	8,00		8,00 [g/MJ]
IDROELETTRICO	ELETTRICO	19%	0,28	1,00	220,44 [g/ kWh] o 60,29 [g/MJ]
FOTOVOLTAICO		4%	5,56	20,00	
TERMOELETTRICO CC		15%	128,25	461,70	
TERMOELETTRICO CC-CHP		30%	120,14	432,50	
Import		32%	14,23	61,88	

Tabella 39: Composizione delle emissioni WTT [34][35][36][37][43].

Per esprimere le emissioni WTT in g/km è necessario conoscere il consumo chilometrico, l/km, di carburante per i veicoli benzina/diesel/GPL e il potere calorifico inferiore (PCI) di questi ultimi (Benzina= 34,6 MJ/l, Diesel = 42,3 MJ/l, GPL = 26,2 MJ/l).

$$WTT \left[ \frac{g}{km} \right] = WTT \left[ \frac{g}{MJ} \right] * PCI \left[ \frac{MJ}{l} \right] * \left[ \frac{l}{km} \right]$$

Per i veicoli plug-in, per la trazione in elettrico, il consumo chilometrico è espresso in kWh/km.

I valori delle emissioni chilometriche sono stati presi dal listino del nuovo di quattroruote, aggiornato a Gennaio 2021.

Per i veicoli PHEV verrà considerato un uso elettrico in ambito urbano e la combustione interna in extraurbano.

#### Fase TTW e WTW:

Vengono analizzati, ora, i veicoli benzina, diesel, GPL, elettrici (BEV) e i PHEV solo a benzina perché le versioni diesel sono molto esigue.

Le emissioni di CO<sub>2</sub> legate prettamente all'utilizzo del veicolo (TTW), espresse in g/km, sono state calcolate nel capito precedente, tabella 32 (emissioni immatricolato 2020).

Si ottengono le emissioni WTW [g/km] come: WTT [g/km]+TTW [g/km].

Infine, si calcolano le emissioni annue per ogni categoria di autoveicolo, moltiplicando le emissioni WTW in g/km per i chilometri medi annui percorsi dai veicoli piemontesi, 10914 km/anno (tabella 18).

Emissioni CO <sub>2</sub> WTW									
Alimentazione	Categoria	Consumi		WTT		TTW		WTW	
		[kWh/km]	[l/km]	[g/km]	[kg]	[g/km]	[kg]	[g/km]	[kg]
Benzina	2		0,051	23,18	253,00	116,24	1268,68	139,42	1521,68
Benzina	3		0,056	25,20	275,05	129,14	1409,42	154,34	1684,47
Benzina	4		0,063	28,48	310,83	147,15	1606,05	175,63	1916,88
Benzina	5		0,069	31,27	341,33	159,14	1736,85	190,41	2078,18
Benzina	6		0,098	44,24	482,82	199,44	2176,71	243,68	2659,52
Diesel	2		0,040	24,87	271,46	106,67	1164,15	131,54	1435,60
Diesel	3		0,047	29,23	318,96	123,40	1346,74	152,62	1665,71
Diesel	4		0,052	32,02	349,50	143,61	1567,40	175,64	1916,90
Diesel	5		0,058	36,22	395,31	172,97	1887,79	209,19	2283,10
Diesel	6		0,063	38,97	425,28	174,17	1900,86	213,13	2326,14
GPL	2		0,074	15,44	168,52	126,06	1375,83	141,50	1544,35
GPL	3		0,089	18,55	202,45	146,23	1595,90	164,77	1798,35
Elettrico		0,15		32,56	355,32	0,00	0,00	32,56	355,32
PHEVB	2	0,22	0,048	27,74	302,76	29,23	319,00	56,97	621,76
PHEVB	3	0,22	0,058	31,41	342,77	51,30	559,84	82,70	902,61
PHEVB	4	0,21	0,065	33,24	362,75	40,32	440,05	73,56	802,80
PHEVB	5	0,24	0,075	38,25	417,42	48,51	529,44	86,76	946,85
PHEVB	6	0,23	0,091	43,23	471,83	51,19	558,70	94,42	1030,53

Tabella 40: Emissione WTW CO<sub>2</sub>eq veicoli immatricolati in Piemonte nel 2020.

I risultati mostrati in tabella evidenziano come le emissioni WTW di un veicolo GPL/diesel/benzina siano molto simili, mentre per un veicolo BEV sono mediamente  $\frac{1}{4}$  e per un PHEV sono  $\frac{1}{2}$ , a parità di potenza.

L'analisi delle emissioni complessivamente prodotte da un veicolo nel suo ciclo vita, dipendono altresì dalla produzione e smaltimento del veicolo stesso e dalla produzione e smaltimento della batteria (componente molto importante per i veicoli plug-in).

Il report annuale di IEA (2020), riporta le tonnellate equivalenti di CO<sub>2</sub> emesse nel ciclo vita di un veicolo, sia plug-in che a combustione interna, partendo dalla produzione all'utilizzo.

Alimentazione	Componentistica [tCO <sub>2</sub> eq]	Assemblaggio e smaltimento [tCO <sub>2</sub> eq]	Batteria [tCO <sub>2</sub> eq]	Totale [tCO <sub>2</sub> eq]
Combustione interna	5,0	1,0		6,0
PHEV (10,5 kWh)	5,0	1,0	1,0	7,0
BEV (40 kWh)	4,4	1,0	4,0	9,4

Tabella 41: Emissioni di CO<sub>2</sub>eq nel ciclo vita di un veicolo [44].

La componente di CO<sub>2</sub>eq emessa nella fase di produzione della batteria dei veicoli plug-in aumenta all'aumentare della capacità della batteria stessa.

La figura seguente confronta le emissioni di CO<sub>2</sub>eq in base ai chilometri percorsi, per le diverse alimentazioni.

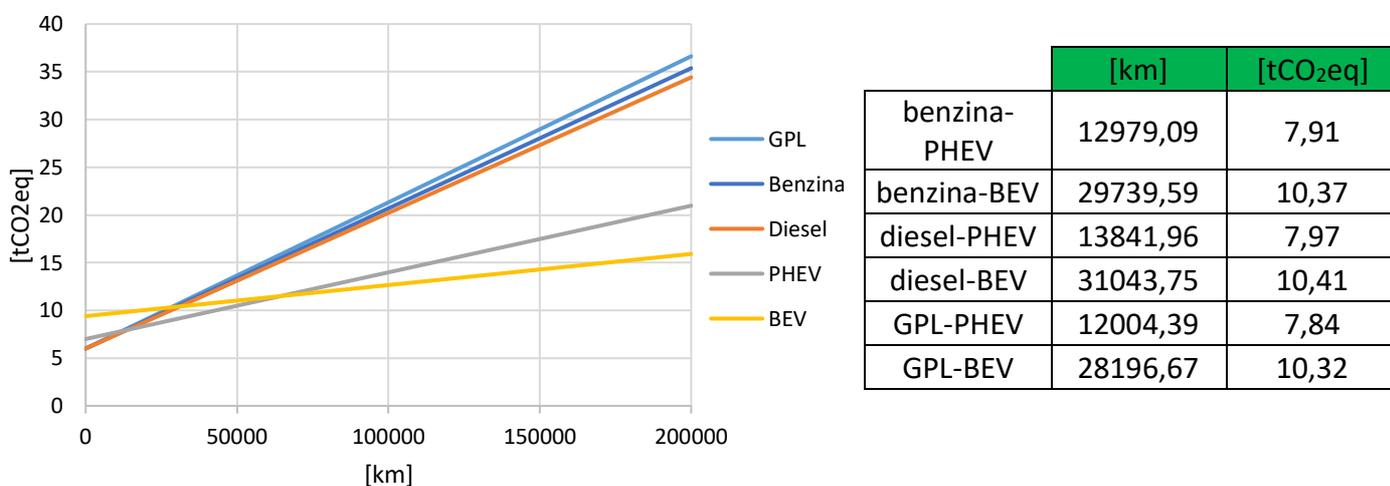


Figura 21: Emissioni di CO<sub>2</sub>eq in funzione dei chilometri, per i veicoli piemontesi 2020.

Le tonnellate di CO<sub>2</sub>eq emesse al punto 0 km, sono indipendenti dai chilometri percorsi, riguardano la produzione del veicolo, la produzione della batteria e lo smaltimento di entrambi, tabella 40.

La maggior emissione di CO<sub>2</sub>eq nella fase iniziale dei veicoli plug-in, dovuta alla produzione della batteria, viene eguagliata e superata repentinamente dai veicoli a combustione interna; dopo solamente 12mila chilometri un veicolo GPL eguaglia un veicolo PHEV, mentre un veicolo diesel eguaglia un veicolo PHEV dopo circa 14mila chilometri.

Le emissioni dei veicoli a combustione interna non variano sostanzialmente a seconda del tipo di alimentazione; i veicoli diesel, comunque, risultano i meno inquinanti.

Considerata la percorrenza media annua dei veicoli piemontesi, uguale a 10.914 km/anno, le emissioni relative ai veicoli a combustione interna superano quelle dei veicoli PHEV dopo circa un solo anno e dopo tre anni hanno superato anche quelle dei veicoli BEV.

## Conclusioni

In questo lavoro di tesi ci si è proposti di analizzare gli impatti generati sulla rete elettrica e sull'ambiente piemontese dal progressivo aumento di veicoli plug-in nel parco circolante.

Gli scenari del parco circolante piemontese al 2030 analizzati, "scenario programmato" e "scenario tecnologico accelerato", propongono rispettivamente l'8,6% e il 13,6% di veicoli plug-in, inclusivi sia di veicoli full electric sia di ibridi plug-in.

Per valutare l'impatto che l'incremento di veicoli ad alimentazione elettrica avrebbe sul sistema energetico piemontese, si è, innanzitutto, ipotizzato che la produzione elettrica proveniente da fonti rinnovabili restasse costante, ed è, poi, stata analizzata la produzione termoelettrica regionale.

La differenza tra la produzione termoelettrica attuale (al 2019) e quella massima concessa dalle varie AIA degli impianti maggiori evidenzia la disponibilità di un surplus di energia elettrica che permette di ricaricare, in orario notturno (0:00-7:00) e in modalità lenta a 2,3 kW, contemporaneamente tutti i veicoli plug-in previsti da entrambi gli scenari; la ricarica lenta a 3,7 kW risulta, invece, attuabile solo con lo scenario di programma, fermo restando che circa il 90% degli italiani e dei piemontesi dispone di un contratto da 3 kW e gli impianti domestici sono in genere dimensionati per congruenti livelli di corrente elettrica.

La ricarica lenta può avvenire in ambiente domestico per via della ridotta potenza necessaria per la ricarica; la curva di carico domestica media di un utente piemontese evidenzia che nelle ore notturne (0:00-7:00) almeno il 92% dei picchi orari di carico sono inferiori a 1 kW, perciò la ricarica a 2,3 kW del veicolo plug-in può avvenire con un contratto di fornitura da 3 kW (il più diffuso, per l'appunto); per ricaricare a 3,7 kW è necessario, invece, un contratto da 4,5 kW ed eventualmente un adeguamento di impianto.

La ricarica domestica pone il vincolo di avere un posto auto presso l'abitazione, condizione più favorevole per chi abita nelle aree suburbane/rurali, come accade ad esempio in Norvegia dove è alta la penetrazione di veicoli plug-in.

L'installazione di una wallbox permette la ricarica domestica del proprio veicolo in tutta sicurezza e con una potenza maggiore rispetto alle normali prese (schuko); alcune wallbox oggi regolano automaticamente la potenza di ricarica per evitare il distacco del contatore per superamento della potenza disponibile, effettuando così la ricarica senza interruzioni.

La ricarica lenta notturna permette il ripristino completo, anche con buoni margini di tempo, dell'energia accumulabile nella batteria, mediamente da 10-12 kWh, di un tipico veicolo PHEV; l'autonomia dei veicoli ibridi plug-in, compresa in genere tra 40 e 60 km e tendente ad un aumento negli anni a venire (es. 70-80 km), è ampiamente sufficiente per un uso giornaliero o plurigiornaliero dell'autoveicolo (29,9 km/giorno per il Piemonte).

I veicoli ibridi plug-in permettono di circolare con il motore elettrico in città o in aree protette in termini ambientali (es. parchi naturali) e con il motore termico in extraurbano, in questo modo si sfruttano i massimi rendimenti di entrambi i motori ed insieme collaborano nelle fasi in cui è richiesta maggior potenza, contenendo così cilindrata, dimensioni e consumi del motore termico.

Dopo aver analizzato l'impatto sul sistema energetico, è stata effettuata una comparazione di analisi well-to-wheel delle diverse motorizzazioni per determinarne anche le prestazioni ambientali.

La CO<sub>2</sub>eq emessa nel ciclo di vita dei veicoli plug-in è influenzata in maniera significativa dall'energia necessaria per produrre le batterie; il punto di pareggio tra i veicoli ibridi plug-in e quelli a combustione interna avviene dopo circa un anno di utilizzo, secondo alcune stime, mentre tra i veicoli BEV e quelli a combustione interna avviene dopo quasi tre anni.

Le emissioni nel ciclo vita di un veicolo elettrico dipendono dal mix energetico utilizzato per la produzione del veicolo, per lo smaltimento (fasi valide per ogni veicolo) e per la produzione della batteria.

Sulla base degli accordi di Parigi sul clima, i paesi europei hanno posto l'obiettivo delle zero emissioni locali entro il 2050, perciò – se così sarà - i veicoli PHEV (MCI ed elettrico) potrebbero in futuro risultare una soluzione transitoria prima del passaggio al puro elettrico oppure ad un PHEV (fuel cell ad idrogeno ed elettrico o e-fuel ed elettrico).

L'analisi dell'aumento della produzione termoelettrica delle centrali piemontesi esistenti, senza installare nuovi impianti, per soddisfare un maggior carico elettrico dovuto al progressivo aumento di veicoli plug-in, fornisce vari spunti di approfondimento.

Grande attenzione dovrà essere posta anche agli aspetti legati al dimensionamento e alla affidabilità delle reti: la trasmissione (altissima/alta tensione) e la distribuzione (media/bassa tensione) di energia elettrica dovranno poter garantire con continuità il passaggio di sempre maggiori quantità di potenza elettrica, dovute al maggior carico.

## Allegati

### Allegato 1

Dai documenti prodotti dalle centrali termoelettriche piemontesi per ottenere l'AIA, sono stati estrapolati i seguenti dati:

Tabella A: Produzione annuale “parte storica” delle centrali termoelettriche piemontesi prese in esame.

#### Centrale termoelettrica di Livorno Ferraris

B.3.1 Produzione di energia (parte storica)				Anno di riferimento: 2017					
Fase	Unità	Apparecchiatura o parte di unità (forno, caldaia ecc.)	Combustibile e utilizzato	ENERGIA TERMICA			ENERGIA ELETTRICA		
				Potenza termica di combustione (kW)	Energia prodotta (MWh)	Quota ceduta a terzi (MWh)	Potenza elettrica nominale (kVA)	Energia prodotta (MWh)	Quota ceduta a terzi (MWh)
Fasi 2.1, 2.2, 3.1, 3.2, 4	TG 11, TG 12, GVR 11, GVR 12, TV	Turbine a gas 11 e 12, Generatore di Vapore a Recupero 11 e 12, Turbina a Vapore	Gas Naturale	1.419.100	8.117.476	0	896.000 <sup>(b)</sup>	4.464.628	4.389.158
Fase 8	Caldaia ausiliaria	Caldaia ausiliaria	Gas Naturale	9.000	621		0	0	0
<b>TOTALE</b>				<b>1.428.100</b>	<b>8.094,73</b>		<b>896.000</b>	<b>4.464.628</b>	<b>4.389.158</b>
Note: /									

#### Centrale termoelettrica di Chivasso

B.3.1 Produzione di energia (parte storica)				Anno di riferimento: 2017					
Fase	Unità	Apparecchiatura o parte di unità	Combustibile utilizzato	ENERGIA TERMICA			ENERGIA ELETTRICA		
				Potenza termica di combustione (MWt)	Energia prodotta (MWh/anno) <sup>(1)</sup>	Quota ceduta a terzi (MWh/anno) <sup>(1)</sup>	Potenza elettrica nominale (MWe)	Energia prodotta (MWh/anno) <sup>(2)</sup>	Quota ceduta a terzi (MWh/anno) <sup>(3)</sup>
F1	Modulo 1	Ciclo combinato	Gas Naturale	1.385,6	-	-	790	1.539.335	1.505.539
	Modulo 2	Ciclo combinato	Gas Naturale	692,8	-	-	387	582.436	570.666
<b>TOTALE</b>				<b>2.078,4</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1.177</b>	<b>2.121.771</b>	<b>2.076.205</b>
<b>Note</b>									
(1) La Centrale è del tipo a ciclo combinato per la produzione esclusiva di energia elettrica.									
(2) Energia elettrica lorda prodotta dalla Centrale nel 2017 (fonte: Relazione Annuale AIA 2018).									
(3) Energia elettrica immessa in rete nel 2017 (fonte: Relazione Annuale AIA 2018).									

## Centrale termoelettrica Torino Nord

B.3.1 Produzione di energia (parte storica)				Anno di riferimento: 2018					
Fase	Unità	Apparecchiatura o parte di unità (forno, caldaia ecc.)	Combustibile utilizzato	ENERGIA TERMICA			ENERGIA ELETTRICA		
				Potenza termica di combustione (kW)	Energia prodotta (MWh)	Quota ceduta a terzi (MWh)	Potenza elettrica nominale (kVA)	Energia prodotta (MWh)	Quota ceduta a terzi (MWh)
A.25.1	Ciclo combinato	TG e GVR	Gas naturale	690.000	903.325 *	903.325 *	459.000 (390.000 kW / cos $\Phi$ 0,85)	2.081.490	1.997.591
A.25.2	Caldaie integrazione e riserva	Caldaie	Gas naturale	375.000	110.156	110.156	-	-	-
<b>TOTALE</b>				<b>1.065.000</b>	<b>1.013.481</b>	<b>1.013.481</b>		<b>2.081.490</b>	<b>1.997.591</b>

## Centrale termoelettrica di Moncalieri

B.3.1 Produzione di energia (parte storica)				Anno di riferimento: 2018					
Fase	Unità	Apparecchiatura o parte di unità (forno, caldaia ecc.)	Combustibile utilizzato	ENERGIA TERMICA			ENERGIA ELETTRICA		
				Potenza termica di combustione (kW)	Energia prodotta (MWh)	Quota ceduta a terzi (MWh)	Potenza elettrica nominale (kVA)	Energia prodotta (MWh)	Quota ceduta a terzi (MWh)
A.25.1	Ciclo combinato 3° GT	TG	Gas naturale	666.000	595.860	595.860	435.000	1.601.178	1.561.820
A.25.2	Ciclo combinato RPW 2° GT	TG	Gas naturale	689.000	556.685	556.685	470.000	1.809.333	1.771.430
A.25.3	Caldaie di riserva a C1, C2, C3	Caldaie di riserva	Gas naturale	150.000	25.943	25.943			
A.25.6	Caldaia ausiliaria C4	Caldaia ausiliaria di avviamento cicli combinati	Gas naturale	10.340	-	-			
<b>TOTALE</b>					<b>1.178.488</b>	<b>1.178.488</b>		<b>3.410.511</b>	<b>3.333.250</b>

## Indice figure

Figura 1: Concentrazione media annuale di PM10 in 91 paesi [1].	7
Figura 2: Contributo dei settori alla produzione dei diversi inquinanti per comparto emissivo, nelle aree urbane del Piemonte, 2019 [7].	10
Figura 3: Risultati delle emissioni causate dall'usura degli pneumatici, dei ferodi dei freni, del manto stradale e i valori di polveri sottili sollevati dalle auto[15].	12
Figura 4: Distribuzione territoriale punti di ricarica [9].	14
Figura 5: Sistema Start&Stop (MHEV) [18].	17
Figura 6: architettura HEV [11].	18
Figura 7: architettura BEV [11].	19
Figura 8: modalità di ricarica I [13].	22
Figura 9: modalità di ricarica II [13].	23
Figura 10: modalità di ricarica III [13].	23
Figura 11: modalità di ricarica IV [13].	24
Figura 12: Bilancio energetico regione Piemonte, 2018 [45].	26
Figura 13: Diagramma dell'energia elettrica richiesta sulla rete piemontese nel 2018 [28].	34
Figura 14: Diagramma di carico piemontese 2018 e limite di potenza prelevabile nel caso che le centrali termoelettriche lavorino alla capacità produttiva.	35
Figura 15: Curva di carico domestica nel caso invernale e in quello estivo.	38
Figura 16: Curve di carico con i veicoli PHEV e BEV in ricarica a diverse potenze, scenario di programma.	47
Figura 17: Curve di carico con i veicoli PHEV e BEV in ricarica a diverse potenze, scenario accelerato.	51
Figura 18: Grafici giornalieri della potenza elettrica richiesta sulla rete piemontese nel 2030 in presenza della ricarica domestica notturna (0:00-7:00) a 2,3 kW dei veicoli plug-in previsti dagli scenari: Programma e Accelerato.	55
Figura 19: Grafici giornalieri della potenza elettrica richiesta sulla rete piemontese nel 2030 in presenza della ricarica domestica notturna (0:00-7:00) a 3,7 kW dei veicoli plug-in previsti dallo scenario di Programma.	57
Figura 20: Schema ciclo WTW [40].	70
Figura 21: Emissioni di CO <sub>2</sub> eq in funzione dei chilometri, per i veicoli piemontesi 2020.	74

## Indice tabelle

Tabella 1: Parco circolante piemontese, elaborazione dati Aci 2019 [17].....	13
Tabella 2: Contributi Legge di Bilancio 2019 [10]. .....	15
Tabella 3: contributi Decreto Rilancio Luglio 2020 [10]. .....	16
Tabella 4: Caratteristiche tecniche delle batterie [19]. .....	20
Tabella 5: Le caratteristiche della ricarica [14]. .....	22
Tabella 6: Consumo energetico regione Piemonte, per fonte energetica 2018.....	27
Tabella 7: Dati di Targa di alcune centrali termoelettriche piemontesi [30] [31] [32] [33]. .....	29
Tabella 8: Produzione alla capacità produttiva centrale termoelettrica di Livorno Ferraris [12]. .....	30
Tabella 9: Produzione alla capacità produttiva centrale termoelettrica di Chivasso [12]. .....	31
Tabella 10: Produzione alla capacità produttiva centrale termoelettrica Torino Nord [12]. .....	32
Tabella 11: Produzione alla capacità produttiva centrale termoelettrica di Moncalieri [12]. .....	33
Tabella 12: Sintesi dati di funzionamento degli impianti termoelettrici presi in esame [12]. .....	34
Tabella 13: Costi per la variazione di potenza da 3 a 4,5 kW e da 3 a 6 kW [21]. .....	36
Tabella 14: Classificazione della fornitura di 2306 utenti domestici.....	37
Tabella 15: Fasce di potenza. ....	39
Tabella 16: Classificazione dei picchi orari di potenza. ....	40
Tabella 17: Stima della distanza media degli spostamenti sistematici per tipo di comune , in Italia, 2017 (elaborazione su dati ISTAT). .....	42
Tabella 18: percorrenze medie automobilistiche suddivise per la residenza dei proprietari. ....	43
Tabella 19: Tipologia di architetture scelte per la tesi e le loro peculiarità. ....	44
Tabella 20: Parco circolante italiano 2030, scenario di Programma [27]. .....	45
Tabella 21: Aumento del N. veicoli e dell'energia richiesta per lo scenario di Programma 2030 in Piemonte.....	46
Tabella 22: Potenza richiesta alla rete per la ricarica dell'8,6% del parco circolante piemontese al 2030, nelle diverse modalità di ricarica. ....	47
Tabella 23: Quota oraria del parco circolante piemontese che potrà essere ricaricato contemporaneamente, con diverse modalità, senza superare il limite di potenza disponibile in rete. ....	48
Tabella 24: Parco circolante italiano 2030, scenario Tecnologico accelerato [27]. .....	49
Tabella 25: Aumento del N. veicoli e dell'energia richiesta per lo scenario Tecnologico accelerato 2030 in Piemonte. ....	50
Tabella 26: Potenza richiesta alla rete per la ricarica del 13,9% del parco circolante piemontese al 2030, nelle diverse modalità di ricarica. ....	50
Tabella 27: Quota oraria del parco circolante piemontese che potrà essere ricaricato contemporaneamente, con diverse modalità, senza superare il limite di potenza disponibile in rete. ....	52
Tabella 28: Risultati per la ricarica notturna domestica a 2,3 kW in relazione all'energia totale contenuta nella batteria e all'energia necessaria per l'uso giornaliero del veicolo. ....	54
Tabella 29: Risultati per la ricarica notturna domestica a 3,7 kW in relazione all'energia totale contenuta nella batteria e all'energia necessaria per l'uso giornaliero del veicolo. ....	56
Tabella 30: Classificazione delle nuove immatricolazioni piemontesi. ....	58
Tabella 31: Composizione ed emissione di CO <sub>2</sub> dell'immatricolato piemontese 2019 [38]. .....	59
Tabella 32: Stima della composizione dell'immatricolato piemontese 2020 e 2030. ....	61
Tabella 33: Stima delle emissioni di CO <sub>2</sub> dell'immatricolato piemontese 2020 e 2030. ....	62
Tabella 34: emissioni dell'immatricolato piemontese e i limiti UE. ....	63
Tabella 35: Composizione ed emissione di CO <sub>2</sub> del parco circolante piemontese 2019 [38]. .....	64
Tabella 36: Stima della composizione del parco circolante piemontese 2020 e 2030.....	65
Tabella 37: Stima delle emissioni di CO <sub>2</sub> dell'immatricolato piemontese 2020 e 2030. ....	67

Tabella 38: Emissioni di CO <sub>2</sub> annue del parco circolante piemontese 2019, 2030 e la loro differenza. ....	67
Tabella 39: Composizione delle emissioni WTT [34][35][36][37][43]. ....	72
Tabella 40: Emissione WTW CO <sub>2</sub> eq veicoli immatricolati in Piemonte nel 2020.....	73
Tabella 41: Emissioni di CO <sub>2</sub> eq nel ciclo vita di un veicolo [44].....	74

## Bibliografia

- [1] <http://www.arpat.toscana.it/notizie/arpatnews/2014/109-14/109-14-inquinamento-atmosferico-nelle-citta-del-mondo-il-database-dell-oms>.
- [2] Arpa Piemonte, <http://www.arpa.piemonte.it/news/12019impatto-dell2019inquinamento-atmosferico-sulla-salute-in-italia-e-in-piemonte>.
- [3] Parlamento europeo, European Parliament, “CO<sub>2</sub> standards for new cars and vans”, 2018 [https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris\\_it](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_it).
- [4] <http://relazione.ambiente.piemonte.it/2017/it/clima/intro>.
- [5] [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2018/614689/EPRS\\_BRI\(2018\)614689\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2018/614689/EPRS_BRI(2018)614689_EN.pdf).
- [6] E. Spessa, dispense corso “Sustainable transport system: energy and environmental issues”, Politecnico di Torino 2020.
- [7] <http://relazione.ambiente.piemonte.it/2019/it/aria/fattori/emissioni-generale>
- [8] Aci, “Annuario statistico”, 2018, 2019 e 2020.
- [9] MOTUS E, “Le infrastrutture di ricarica pubbliche in Italia”, Marzo 2020.
- [10] Ecobonus, <https://ecobonus.mise.gov.it/contributi/le-agevolazioni>.
- [11] <https://onewedge.com/2018/02/19/an-ev-taxonomy>.
- [12] Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, “Riesame AIA”, <https://va.minambiente.it/it-IT/Procedure/AiaElenco/204/204>.
- [13] E-MOBILITY REPORT, Politecnico di Milano 2018, [https://www.energystrategy.it/assets/files/EER\\_18sito.pdf](https://www.energystrategy.it/assets/files/EER_18sito.pdf).
- [14] SMART MOBILITY REPORT, Politecnico di Milano 2019, [https://www.energystrategy.it/assets/files/SMR\\_19\\_web\\_v2.pdf](https://www.energystrategy.it/assets/files/SMR_19_web_v2.pdf)
- [15] Victor R.J.H. Timmersa Peter, A.J.Achtenb, Non-exhaust PM emissions from electric vehicles, “<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.017>”, Atmospheric Environment, Vol.134, pp.10-17, Elsevier, Giugno 2016.
- [16] AIR QUALITY EXPERT GROUP Non-Exhaust Emissions from Road Traffic, 2019.
- [17] Aci, “Parco circolante”, 2019.
- [18] <http://www.hybridcars.com/stop-start-primer-not-all-systems-are-created-equal>.
- [19] P. Moseley, T. Patrick, Karden, Rand, Eckhard, A.J.Devid, Garche, Jürgen, Lead-Acid Batteries for Future Automobiles, Oxford, Elsevier, 2017.
- [20] <https://insideevs.it/news/386038/auto-elettriche-costo-batterie/2019>.
- [21] Arera, [https://www.arera.it/atlane/it/elettricit/capitolo\\_3/paragrafo\\_6/domanda\\_7e.htm](https://www.arera.it/atlane/it/elettricit/capitolo_3/paragrafo_6/domanda_7e.htm).

- [22] Arera, [https://www.arera.it/it/dati/elenco\\_dati.htm](https://www.arera.it/it/dati/elenco_dati.htm).
- [23] S. Barsali, P. Di Marco, “Dimostratore di casa attiva”, ENEA, MISE, 2011
- [24] ISTAT, “Spostamenti quotidiani e nuove forme di mobilità”,2017.
- [25] B. Dalla Chiara, F. Deflorio, M. Pellicelli, L. Castello, M. Eid, Perspectives on Electrification for the Automotive Sector: A Critical Review of Average Daily Distances by Light-Duty Vehicles, Required Range, and Economic Outcomes, <https://doi.org/10.33990/su11205784>, Sustainability, Vol.11, Iss.20, MDPI,2019.
- [26] M. Schweik, “CO<sub>2</sub> emissions are increasing. Car makers must act”, PA Consulting, 2020.
- [27] Aci, ENEA, CNR-DIITET e Fondazione Caracciolo, “ Per una transizione energetica eco-razionale della mobilità automobilistica”, 2019.
- [28] Terna S.P.A., “Dati statistici sull’energia elettrica in Italia 2018”, 2019.
- [29] V.Fracastoro, dispense corso “Energistica e fonti rinnovabili”, Politecnico di Torino 2017.
- [30] EMAS, dichiarazione ambientale,  
[https://www.gruppoiren.it/documents/21402/69847/DA+Cle+Moncalieri+20172\\_agg+CONVAL.pdf/2fc90251-d50d-43ea-a1ba-f9ffce269bba](https://www.gruppoiren.it/documents/21402/69847/DA+Cle+Moncalieri+20172_agg+CONVAL.pdf/2fc90251-d50d-43ea-a1ba-f9ffce269bba), 2017.
- [31] IREN Energia, La centrale Torino Nord,  
[https://www.irenenergia.it/ChiSiamo/Media/brochure/files/Torino\\_Nord\\_ITA.pdf](https://www.irenenergia.it/ChiSiamo/Media/brochure/files/Torino_Nord_ITA.pdf).
- [32] EP Produzione, Livorno Ferraris,  
<https://www.epproduzione.com/it/impianti/livorno-ferraris>, 2016.
- [33] A2A, centrale termoelettrica di Chivasso,  
<https://www.a2agencogas.eu/gruppo/cms/gen/impianti/centrale-termoelettrica-di-chivasso/>.
- [34] Joint reserch center, “Well to Wheels Report version 4.a, Appendix 2”, Commissione europea, 2014.
- [35] Louwen, A., van Sark, W., Faaij, A. et al. Re-assessment of net energy production and greenhouse gas emissions avoidance after 40 years of photovoltaics development. Nat Commun 7, 13728 (2016).<https://doi.org/10.1038/ncomms13728>.
- [36] A. Caputo, Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra nel settore elettrico nazionale e nei principali Paesi Europei,  
[https://www.isprambiente.gov.it/files2019/pubblicazioni/rapporti/R\\_303\\_19\\_gas\\_serra\\_sett\\_ore\\_elettrico.pdf](https://www.isprambiente.gov.it/files2019/pubblicazioni/rapporti/R_303_19_gas_serra_sett_ore_elettrico.pdf), ISPRA, 2019.
- [37] Akito Ozawa , Mai Inoue , Naomi Kitagawa , Ryoji Muramatsu , Yurie Anzai , Yutaka Genchi and Yuki Kudoh, Assessing Uncertainties of Well-To-Tank Greenhouse Gas Emissions from Hydrogen Supply Chains, <https://doi.org/10.3390/su9071101>, Sustainability, Vol.9, Iss.7, MDPI,2017.

- [38] MIT, “Parco circolante Piemonte 2019”,  
<http://dati.mit.gov.it/catalog/dataset/dataset-parco-circolante-dei-veicoli>, 2020.
- [39] IEA, “How global electric car sales defied Covid-19 in 2020”,  
<https://www.iea.org/commentaries/how-global-electric-car-sales-defied-covid-19-in-2020>  
IEA, Paris, 2021.
- [40] EU, “Graphic representation of Well-to-Wheels Analysis”, 2016.
- [41] Etichettatura elettricità, “Production & electricity mix”,  
<https://www.strom.ch/fr/connaissances-sur-lenergie/production-et-negoce/production-et-mix-electrique>, 2018.
- [42] Réseau de transport d’électricité, Données annuelles, 2019.
- [43] Wikipedia, Life-cycle greenhouse gas emissions of energy sources, 2020.
- [44] IEA, Global EV Outlook 2020, IEA, Paris  
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>.
- [45] Terna S.P.A., “Statistiche Regionali 2018”, 2019.