



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



## TESI DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA DELL'ENERGIA

# Considerazioni sulla potenza di ricarica dei veicoli elettrici e il loro impatto sulla rete elettrica nazionale

**RELATORE:** PROF. MASSIMO GUARNIERI

Dipartimento di Ingegneria Industriale

**LAUREANDO:** ALESSANDRO BERTO

Anno Accademico 2022-2023



## INDICE

■	<b>Sommario</b> .....	2
■	<b>Introduzione</b> .....	4
■	<b>Prime stime e considerazioni tramite un confronto con la potenza media nazionale</b> .....	6
	4.1 Stima di potenza prelevata dalla sola ricarica dei veicoli attualmente in circolazione ...	6
	4.2 Stima del numero di veicoli caricabili in contemporanea usando la potenza media nazionale Errore. Il segnalibro non è definito. ....	7
■	<b>Portata e tolleranza delle reti di distribuzione</b> .....	9
■	<b>Studio delle abitudini della popolazione</b> .....	11
	6.1 Relazione con il luogo di ricarica .....	11
	6.2 Relazione con il tempo .....	14
■	<b>Potenza dei punti di ricarica e valore massimo di auto in ricarica contemporanea</b> .....	17
	7.1 Premesse .....	17
	7.2 Ipotesi sulla carica e numero di auto.....	18
	7.3 Potenza nell'ipotesi in cui l'intero parco auto sia elettrico e previsione di terna sui picchi di potenza futuri.....	22
■	<b>Valutazione della singola rete capillare</b> .....	25
■	<b>Coefficiente di utilizzazione e contemporaneità</b> .....	27
■	<b>Altre considerazioni riguardanti l'aumento delle auto elettriche</b> .....	29
	10.1 Smart grids: gestione degli orari di ricarica e impianti fv .....	29
	10.2 Auto elettrica e inquinamento .....	29
	10.3 Distanza percorsa ed energia richiesta media per giorno.....	30
	10.4 Trasporti pubblici .....	31
	10.5 I piani "fit for 55" e "net zero" .....	31
■	<b>Conclusioni</b> .....	33
■	<b>Bibliografia</b> .....	35

## ■ SOMMARIO

Il mercato delle auto elettriche si sta espandendo molto velocemente e con esso la necessità di ricaricare i veicoli sfruttando i punti di alimentazione connessi alla rete elettrica italiana. Per capire tramite delle stime numeriche quanto carico viene richiesto alla rete italiana, in proporzione al numero di auto ricaricabili, procediamo ipotizzando diversi scenari. Nei primi casi si analizza inizialmente l'alimentazione in contemporanea di tutte le vetture ricaricabili circolanti partendo da quelle presenti nell'anno corrente. Successivamente si ipotizza di usare tutta la potenza trasmissibile dalla rete esclusivamente per la ricarica dei veicoli. Data la natura oscillatoria della domanda alla rete si analizzano le abitudini di ricarica della popolazione per capire il migliore intervallo della giornata in cui prelevare potenza senza sovraccaricare le linee. Si procede con delle stime più realistiche sul numero di auto e si introducono dei coefficienti che tengono conto dell'effettiva percentuale di auto in ricarica simultanea rispetto all'intero parco di auto ricaricabili. In conclusione possiamo affermare che sarà necessario un ampliamento della rete elettrica che riesca a portare in sicurezza il nuovo valore di potenza da distribuire e uno studio più approfondito sulle abitudini di ricarica della popolazione sarà fondamentale per gestire la domanda, soprattutto quando il parco di auto ricaricabili sarà molto più ampio.



## ■ INTRODUZIONE

La prima auto elettrica fu ideata e costruita nel 1867, ma solo oggi, più di 150 anni dopo, le auto elettriche assieme alle auto plug-in occupano il 18% del totale europeo venduto [1]. Solo recentemente hanno acquisito sufficiente autonomia da poter competere con il motore a combustione ed essere usate come mezzo di trasporto privato ad emissione zero. Negli ultimi anni infatti le azioni politiche contro il riscaldamento globale si sono fatte assai più frequenti e includono settori sempre più vicini alla vita quotidiana della popolazione. Si prevede di avere a livello europeo un trasporto ad emissione zero entro il 2050 e in cima alle tecnologie conduttrici si trova proprio l'auto con batteria ricaricabile e motore elettrico. L'idea di ricaricare i mezzi con energie rinnovabili senza produrre gas serra sembrerebbe semplice ed efficace ma in realtà comporta non poche sfide tecniche ed economiche. In questo testo viene trattato il problema della distribuzione della corrente elettrica nel momento della ricarica delle vetture; in particolare i valori di potenza richiesti alla rete e di quanto in percentuale la domanda di energia elettrica aumenta rispetto alla normale richiesta italiana. Da tenere in considerazione è anche la trasmissione di eccessiva potenza su linee capillari: è possibile che si crei un pericolo per le persone poiché il sovraccarico comporta un surriscaldamento, oltre che una perdita in efficienza.

Esistono diverse combinazioni di motori che includono la trazione elettrica nella vettura. Occorre distinguere, tra le varie tipologie di auto con motore elettrico, quelle che hanno la possibilità di ricarica esterna, poiché sono quelle che interessano l'argomento qui trattato. I veicoli elettrici vengono suddivisi in base alla capacità della batteria, presenza di un motore termico e possibilità di ricarica da presa esterna. Le auto ibride appartengono al gruppo di auto con batteria limitata, caricata unicamente dal motore termico e dal sistema di frenata rigenerativa. Queste auto percorrono poche decine di chilometri e non superano qualche decina di chilometri orari quando funzionano in modalità elettrica. La tipologia di auto plug-in, come suggerisce il termine, possono essere invece caricate tramite cavo esterno e presentano una batteria con una quantità di energia maggiore delle ibride, senza limiti di velocità. Queste auto possono quindi scegliere se funzionare in maniera completamente elettrica o completamente termica in base alla situazione. L'ultima tipologia più diffusa è quella delle full electric che non presentano alcun motore termico e si possono ricaricare esclusivamente tramite la presa collegata alla rete elettrica. Le auto che saranno prese in considerazione in questo testo sono le plug-in e le full electric che potendo essere collegate alla rete ne influenzano il funzionamento.

La maggior parte dei calcoli verranno svolti considerando la ricarica simultanea dell'intero parco di auto elettriche poiché, pur essendo un caso irrealistico, consente di trovare un limite superiore che offre una certa tolleranza rispetto al caso reale, creando un margine di crescita nella richiesta di potenza. Inoltre i numeri ricavati sono da considerare come stime oltre che come aiuti per comprendere la scala dei valori coinvolti poiché mancano dati sufficienti per un calcolo più preciso. Nella parte finale verranno brevemente valutate le motivazioni che stanno alla base dell'adozione dell'auto elettrica e una possibile organizzazione di trasporti elettrici meno impattanti per la rete elettrica.



# PRIME STIME E CONSIDERAZIONI TRAMITE UN CONFRONTO CON LA POTENZA MEDIA NAZIONALE

## 4.1 STIMA DI POTENZA PRELEVATA DALLA SOLA RICARICA DEI VEICOLI ATTUALMENTE IN CIRCOLAZIONE

Attualmente la capacità delle batterie varia da un minimo di 10 kWh delle plug-in ai 100 kWh delle full electric. Questi valori, se rapportati ad un comune ambiente domestico, sono una considerevole quantità da gestire quotidianamente. Per fare un esempio prendiamo come riferimento una stufetta la cui potenza costante nel tempo è di 2kw: ricaricare da zero la batteria di un'auto consumando tanto quanto la stufetta richiederebbe di lasciarla accesa per un tempo che va da un pomeriggio (plug-in) a due giorni consecutivi (elettrica). Anche il totale dell'energia accumulabile da tutte le auto elettriche presenti in una data area potrebbe creare un problema alla rete di distribuzione di quest'ultima poiché si rischierebbe di creare delle condizioni in cui la potenza elettrica trasmessa per la ricarica è eccessiva e non rientra nella portata tollerabile delle linee. Per capire grossolanamente la percentuale di potenza richiesta in più alla rete elettrica nazionale unicamente per la ricarica (sempre nazionale) delle auto, partiamo considerando l'andamento annuale della richiesta di energia elettrica da parte dei consumatori, senza includere le auto elettriche. Prendendo per esempio l'anno 2018 (evitando quindi l'anomalia energetica emersa durante la pandemia di Covid-19) la quantità di auto con possibilità di connessione alla rete era circa 20 mila su un totale di 36,7 mln [2], una percentuale quindi trascurabile. Avendo un grafico della potenza annuale tutt'altro che costante (riferirsi alla Fig. 3.7) possiamo valutarne la potenza media.

Per eseguire il calcolo del valore medio della potenza assorbita dalle utenze in Italia consideriamo l'andamento dei consumi come una sinusoide spostata graficamente sopra l'asse del tempo, ovvero presenta un valore minimo positivo. In questo caso il valore medio sarà questo valore minimo più l'ampiezza dell'onda.

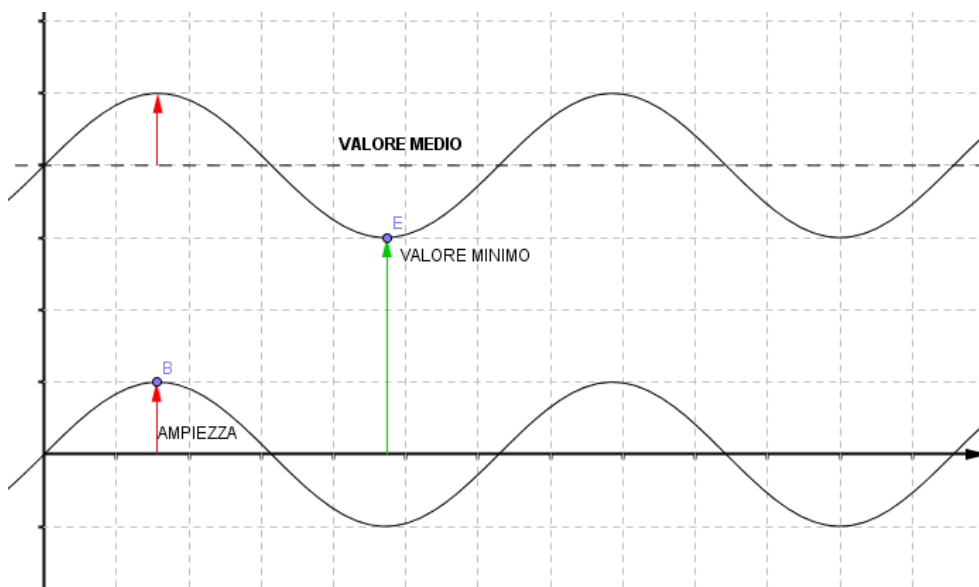


Figura 4.1 Rappresentazione grafica utile per il calcolo della potenza media

La potenza media nazionale prelevata escludendo la carica delle auto elettriche si può considerare costante con l'anno corrente (2022) e pari a circa 37 GW. Nel caso dell'anno 2018 il picco massimo nei consumi è stato di 57 GW [4].



La potenza usata per la ricarica invece varia a partire dal contratto di 3kW della maggior parte delle abitazioni, alla fascia più diffusa di colonnine di ricarica pubbliche che va dai 7kW ai 22kW (mediando a 14,5kW) [3]. La quantità di auto elettriche presenti in Italia a fine 2022 è circa 320 mila [2], quindi la quantità di potenza massima assorbita è dentro la fascia 0,96 GW - 4,6 GW (ipotizzando in quest'ultimo caso che ogni auto abbia la propria colonnina di ricarica). Nel caso più estremo ed irrealistico in cui tutti i proprietari di un'auto ricaricabile tramite la rete dovessero collegarla simultaneamente si avrebbe un assorbimento energetico che va dal 2% al 12% in più della potenza media assorbita nazionale. Questo è un conto finalizzato unicamente a dare un'idea di massima dell'impatto che possono avere le auto elettriche attualmente presenti in Italia. Ovviamente nella realtà le considerazioni da fare sono molteplici e verranno esaminate di seguito.

#### Potenza totale prelevata dalla rete includendo la ricarica dei veicoli elettrici presenti attualmente

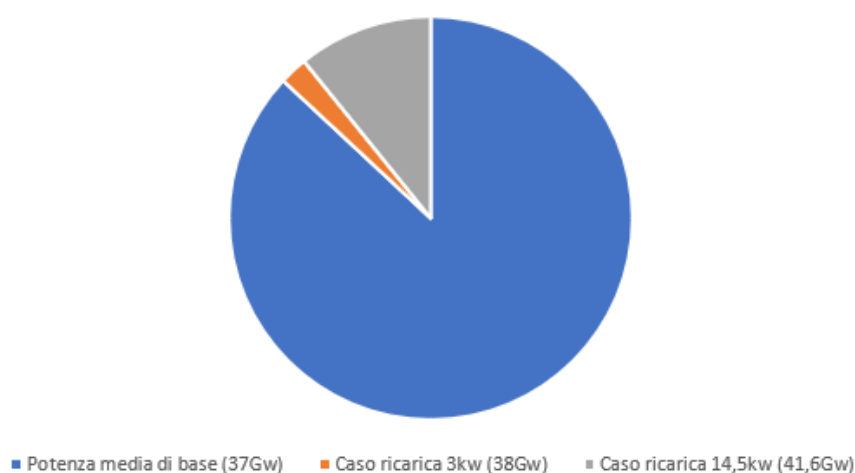


Figura 4.2 Nella figura si vuole rappresentare una proporzione visiva tra i valori calcolati e la potenza media calcolata e non ha quindi senso eseguire la sommatoria delle percentuali di ogni spicchio del grafico

#### 4.2 STIMA DEL NUMERO DI VEICOLI CARICABILI IN CONTEMPORANEA USANDO LA POTENZA MEDIA NAZIONALE **ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.**

Per stimare la quantità di auto ricaricabili che la potenza media prelevata nazionalmente può gestire ipotizziamo che tutti i possessori di auto elettrica (per un totale di  $n$  auto elettriche nel territorio) effettuino la ricarica da casa con potenza di 3 kW nello stesso periodo di tempo. Assumiamo poi la potenza media nazionale costante e pari a 40 GW, ricavando  $n=13,3$ mln. La ricarica simultanea di un terzo dell'intero parco auto (il 33%) è sufficiente per eguagliare la potenza media prelevata da tutta Italia. L'ipotesi della potenza assorbita nazionalmente come una costante indipendente dall'ora del giorno è molto riduttiva ma utile per dare un ordine di grandezza. Ci si accorge infatti che considerando la rapida diffusione delle auto elettriche il problema della potenza di ricarica va studiato poiché questa occupa una percentuale non trascurabile della potenza trasmessa tramite la rete. Possiamo già intuire che lo scenario in cui sono presenti il 100% di auto elettriche e plug-in non sarà realizzabile a breve o sarà accompagnato da restrizioni negli orari di ricarica e da spese economiche per il rinnovo delle strutture non indifferenti.

Per effettuare un calcolo più preciso possiamo partire considerando l'andamento della potenza giornaliera internazionale non costante e la quantità di colonnine per la ricarica molto minore della quantità di auto (attualmente sono stimate circa 36 mila nel territorio [3]). Inoltre il luogo fisico di ricarica costituisce il vero problema della distribuzione dell'energia in quanto alcune aree sono raggiunte da linee datate o portanti piccole potenze. Un'analisi sugli orari degli spostamenti della popolazione aiuterebbe poi a valutare la quantità di auto in ricarica contemporanea effettivamente presenti per ogni zona.



## PORTATA E TOLLERANZA DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE

In un futuro scenario di passaggio alla mobilità elettrica sarà necessario verificare la portata delle linee presenti nel territorio poiché i punti di ricarica, domestici o pubblici che siano, andranno connessi alla rete di distribuzione in bassa o media tensione. Considerando la vastità del territorio nazionale che include zone urbane e zone rurali, zone pianeggianti e zone montuose è necessario considerare ogni caso specifico di installazione capillare e scegliere se rinnovare la linea o se quella presente è sufficientemente adeguata. Le linee capillari sono quindi le prime ad essere sostituite in caso di necessità, incrementando la probabilità che in caso di potenza eccessiva in prelievo il problema si manifesti più a monte, sui nodi e sulle reti non capillari, in quanto sono presenti linee meno pratiche e più costose da sostituire. Importante è anche verificare la potenza nominale delle cabine primarie e secondarie che andranno ad alimentare un carico maggiorato nella zona a loro sottostante.

Una sola colonnina di ricarica da 22 kW quando è in funzione preleva la stessa quantità di potenza di circa sette abitazioni a pieno carico. Questo paragone non solo rende l'idea della quantità di energia fluente, ma può servire anche per poter sfruttare un modello di calcolo simile a quello usato per l'elettrificazione di un nuovo lotto urbano anche nel caso dell'installazione di nuovi centri di ricarica, in maniera da sfruttare delle conoscenze simili e facilitare l'operazione.

Possiamo stimare, sotto opportune ipotesi, la potenza che dovrà essere gestita per la ricarica delle auto dalle cabine primarie presenti in Italia, il cui numero è circa 2000 [5], sempre considerando un parco di auto ricaricabili di 320 mila unità (numero presente a fine 2022). Considerando una distribuzione uniforme nel territorio delle colonnine e delle auto elettriche si hanno circa 17 colonnine (da 14,5kW ricordando la media calcolata in precedenza) più circa 160 auto in ricarica dall'abitazione (che consumano 3kW) per ogni cabina, per un totale di 700kW. Questa potenza è un limite superiore che considera il caso di ricarica simultanea e rientra comunque ampiamente dentro il range accettabile dalla cabina. Due problemi si manifestano però nell'ipotesi di uniformità di distribuzione nel calcolo eseguito: la densità per area delle colonnine, oltre che delle auto elettriche, è di molto minore man mano che si passa dal nord al sud Italia. Questo implica un carico maggiore di quello calcolato al nord, mentre un carico inferiore al sud. Nella valutazione del caso specifico di installazione si deve quindi considerare il valore massimo di potenza accettato dalla cabina tenendo conto del fatto che nelle regioni più a nord è più probabile che siano installate nuove colonnine e sia quindi necessaria una potenza maggiore.

L'immagine contenuta nel report rilasciato da Motus-E [8] riporta le percentuali dei punti di ricarica presenti in Italia, la quale viene suddivisa in nord, centro e sud.

## LE INFRASTRUTTURE DI RICARICA IN ITALIA

IN ITALIA SONO PRESENTI  
AL 31 DICEMBRE 2022

**36.772** punti di ricarica  
a uso pubblico  
per veicoli elettrici

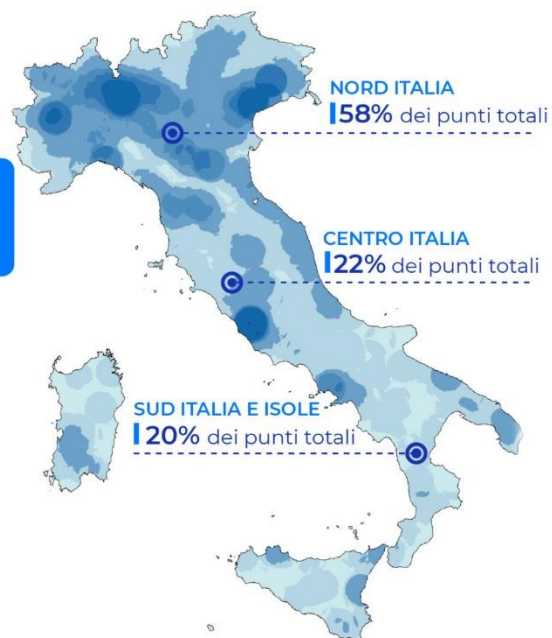
<b>32.046</b> Potenza ≤ 43 kW (AC)	<b>1.774</b> Potenza tra 44 e 99 kW (DC)	<b>2.650</b> Potenza ≥ 100 kW (DC)
------------------------------------------	------------------------------------------------	------------------------------------------

Le installazioni di nuovi punti di ricarica continuano ad accelerare e hanno raggiunto il ritmo più alto di sempre:

**+3.996** punti di ricarica  
nel Q4 2022

**+10.748** punti di ricarica  
nell'intero 2022

Di cui il **27%**  
ad **alta potenza**



Nell' 86% del territorio nazionale si può trovare almeno un punto di ricarica in un raggio di 10 km. Un valore che cresce esponenzialmente avvicinandosi ai centri urbani e alle grandi città, dove il dato sale oltre i **600 punti disponibili** nel raggio di 10 km.

### UN CONFRONTO CON L'EUROPA

Italia	Francia	Germania	Regno Unito
Punti di ricarica ogni 100 BEV circolanti: <b>21,5</b>	Punti di ricarica ogni 100 BEV circolanti: <b>11,5</b>	Punti di ricarica ogni 100 BEV circolanti: <b>8,2</b>	Punti di ricarica ogni 100 BEV circolanti: <b>8,9</b>
Punti di ricarica DC ogni 100 BEV circolanti: <b>2,6</b>	Punti di ricarica DC ogni 100 BEV circolanti: <b>1,5</b>	Punti di ricarica DC ogni 100 BEV circolanti: <b>1,5</b>	Punti di ricarica DC ogni 100 BEV circolanti: <b>1,5</b>

### LE PRIORITÀ DI INTERVENTO

Gli oltre 700 milioni di euro del PNRR destinati alle infrastrutture di ricarica rischiano di non poter essere utilizzati a pieno senza un intervento risolutivo del Governo

L'infrastrutturazione delle autostrade è ancora lontana dai livelli europei, per via del grave ritardo nella pubblicazione dei bandi di gara da parte dei concessionari che non hanno ancora avviato le installazioni

La complessità e la lunghezza degli iter autorizzativi stanno rallentando di molto l'installazione di nuove infrastrutture e l'entrata in funzione di migliaia di punti di ricarica già installati

Elaborazione Motus-E e RSE su dati Motus-E, Dataforce, EAFO.  
Nel computo totale dei punti di ricarica ne rientrano 302 di cui non è specificata la potenza

Figura 5.1 Distribuzione dei punti di ricarica secondo l'azienda Motus-E

## STUDIO DELLE ABITUDINI DELLA POPOLAZIONE

Studiando gli spostamenti, i luoghi e i tempi di permanenza abituali della popolazione siamo in grado di prevedere e calcolare la migliore soluzione che, dal punto di vista energetico, riesce a garantire un funzionamento adeguato delle strutture tramite un loro posizionamento strategico.

### 6.1 RELAZIONE CON IL LUOGO DI RICARICA

Il luogo in cui vengono ricaricate le auto è di fondamentale importanza: esso determina in quale ora del giorno e su quale rete di distribuzione esse vengono ricaricate. Se per esempio in una zona cittadina o industriale i parcheggi presentano le colonnine di ricarica, le persone vi si collegheranno durante le ore lavorative e ci sarà uno spostamento del prelievo dalla rete di periferia a quella più centrale, oltre che lo spostamento della fascia oraria di ricarica dalle ore serali e notturne alle ore diurne. Altro aspetto da tenere in considerazione che riguarda i luoghi di lavoro è che negli ultimi anni si stanno espandendo gli impianti fotovoltaici, i quali, se posizionati sui tetti o in prossimità delle fabbriche, garantirebbero una riduzione del carico prelevato dalla rete locale poiché l'energia prodotta sarebbe consumata a breve distanza, sfruttando una linea elettrica privata interna alla struttura.

Uno studio condotto dallo State Grid Energy Research Institution, Beijing, China [6] ha esaminato proprio la correlazione tra la probabilità di parcheggio in un determinato luogo e l'ora del giorno. Nella città di Pechino hanno rilevato i seguenti dati, inseriti in dei diagrammi (Fig. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4), sulla distribuzione delle auto elettriche durante la giornata.

Si può notare come il grafico della probabilità di parcheggio in aree residenziali (Fig.3.3) e quello della probabilità in aree lavorative (Fig.3.1) siano pressoché complementari e con valore massimo delle ordinate 1 (è quindi riferito alla quasi totalità delle vetture). Il grafico sui parcheggi delle aree commerciali (Fig.3.2) ha come valore massimo 0,35 poiché le persone usano maggiormente questi posti auto durante il fine settimana e nelle ore non lavorative, riducendo il tempo in cui è probabile un parcheggio.

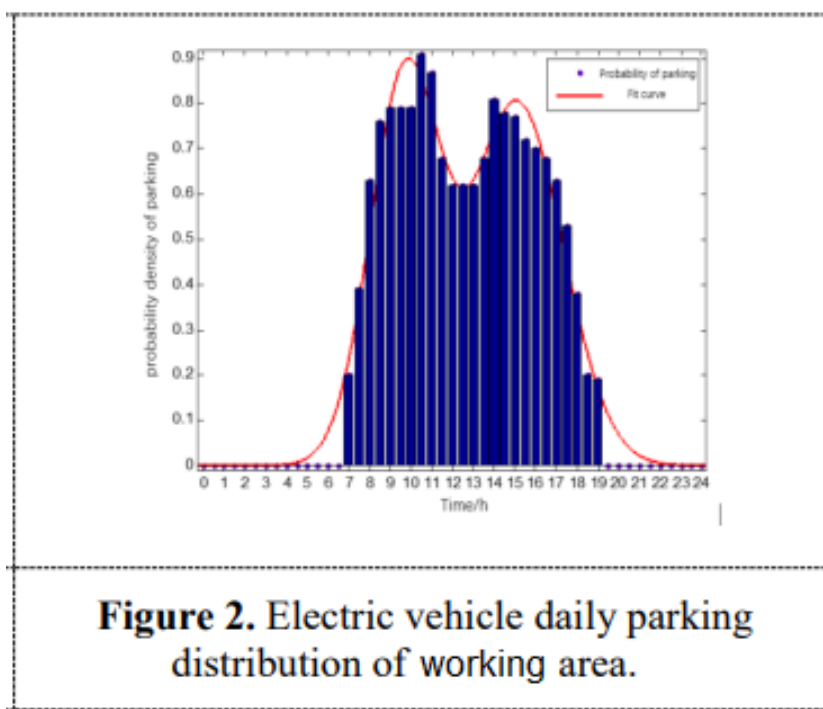
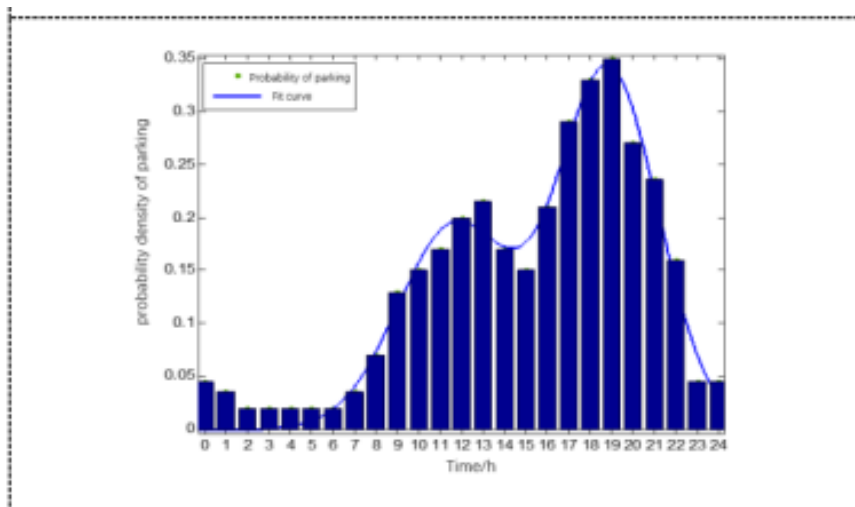
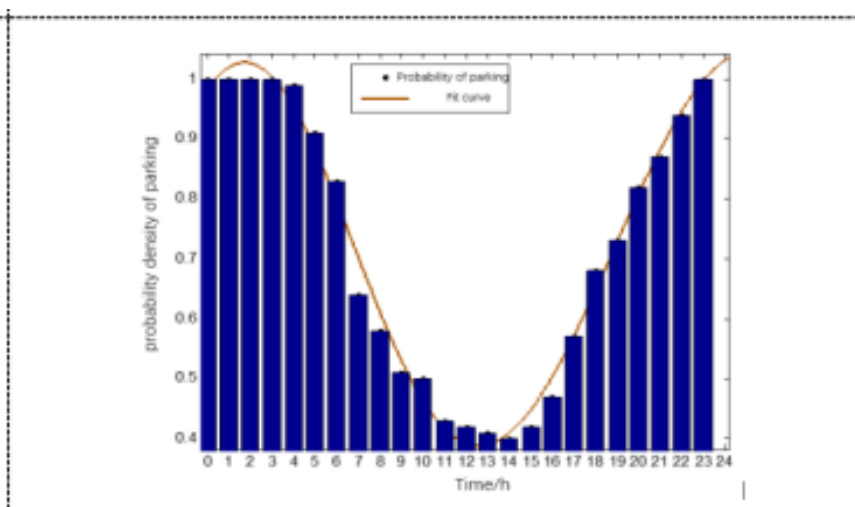


Figura 6.1 Distribuzione dei veicoli elettrici nelle aree di lavoro



**Figure 3. Electric vehicle daily parking distribution of commercial area.**

*Figura 6.2 Distribuzione dei veicoli elettrici nelle aree commerciali*



**Figure 4. Electric vehicle daily parking distribution of residential area.**

*Figura 6.3 Distribuzione dei veicoli elettrici nelle aree residenziali*

Partendo dai grafici precedenti lo studio fornisce ulteriori due grafici costruiti tramite una simulazione degli spostamenti di 90 mila veicoli elettrici e valutando la potenza usata per la ricarica considerando una carica domestica lenta ed una veloce per parcheggi aziendali e commerciali.

Guardando l'immagine si nota chiaramente la differenza di potenza prelevata tra i giorni lavorativi (Fig.3.4 a sinistra) e il fine settimana (Fig.3.4 a destra). Durante la settimana infatti sono presenti due picchi di potenza. Il primo picco (minore), a metà mattina, deriva maggiormente dalla curva del prelievo in area lavorativa, quando i dipendenti arrivano nel luogo di lavoro, mentre il secondo picco (maggiore) è collocato nell'orario di rientro alle proprie abitazioni e dipende quindi dal prelievo in area residenziale. Nel fine settimana c'è un solo picco nelle ore di rientro degli abitanti (il cui valore massimo è comunque

minore del picco più alto settimanale) e un aumento generale della richiesta di potenza nei parcheggi commerciali.

Prendendo come riferimento i valori della Fig. 3.4 notiamo che durante la mattina la potenza di picco usata nei luoghi di lavoro è circa la metà di quella domestica richiesta nell'orario di rientro. Questo è un altro tipo di dato che ci consente di prevedere la richiesta e di adattare quindi la potenza generata e distribuita nelle linee elettriche.

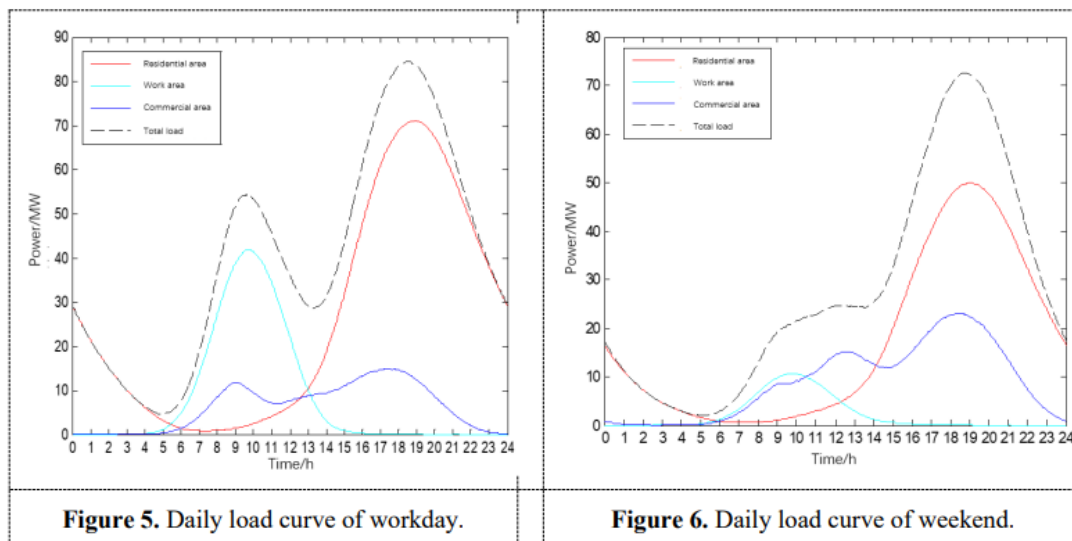


Figura 6.4 A sinistra la domanda di potenza nei giorni feriali, a destra la domanda nel fine settimana

I dati sul luogo di permanenza dei veicoli sono fondamentali per capire le sollecitazioni presenti nella rete e un corretto dimensionamento di questa nei vari luoghi di parcheggio. È possibile anche influenzare l'orario di ricarica e spostare quindi la richiesta di potenza nelle ore in cui la rete presenta meno carico tramite un posizionamento strategico dei punti di ricarica. Durante la notte quasi nessuno caricherà il proprio veicolo con una potenza pari a quella di una colonnina se vicino casa quest'ultime non sono presenti. Se in contemporanea invece fossero presenti nel parcheggio dell'ufficio, aumenterà la richiesta di energia durante il giorno poiché i lavoratori tendenzialmente caricheranno la propria auto nel luogo di lavoro anziché a casa. Nel caso in cui invece si decidesse di posizionare i punti di ricarica in aree residenziali il picco maggiore si avrebbe la sera e la notte negli orari di rientro, mentre durante il giorno non ci sarebbero variazioni importanti.

Nel caso dell'Italia, riferendosi ai dati Istat del 2021, sappiamo che il parco auto conta 40 milioni di unità e che il 71,6% delle persone usano l'auto per andare a lavoro [7]. In Italia quindi l'impatto dello spostamento casa-lavoro è importante poiché effettuato principalmente tramite auto privata e non tramite mezzi pubblici. Ciò significa che la potenza per la ricarica dei veicoli durante le ore diurne non sarà trascurabile se il numero di punti di ricarica nei luoghi di lavoro dovesse aumentare. In base al tipo di contratto potrebbe poi convenire caricare l'auto nel parcheggio aziendale anziché a casa, oppure sfruttare la fascia oraria con costo dell'energia minore. Uno degli scenari possibili, anche se futuristico, potrebbe considerare un trasporto pubblico molto più capillare ed efficiente che di fatto ridurrebbe di molto l'uso dell'auto per gli spostamenti quotidiani più comuni, rendendo gli orari di ricarica più gestibili poiché organizzati da un solo ente con orari prefissati.

## 6.2 RELAZIONE CON IL TEMPO

È chiaro che la potenza totale richiesta alla rete dipende dalla quantità di auto simultaneamente in ricarica e dalle ore del giorno in cui viene effettuata poiché sono sempre presenti anche le normali utenze che prelevano dalla stessa rete. La curva di carico delle utenze ordinarie segue un pattern ricorrente e prevedibile che quindi ci permette di valutare il miglior intervallo in cui prelevare altra potenza livellando il più possibile la richiesta nel tempo senza quindi sovraccaricare le linee nelle ore in cui la richiesta è già al suo massimo. Considerando il grafico della potenza prelevata durante le ore del giorno (Fig.3.5) e, sapendo che in media ha questo andamento, si può valutare che l'intervallo con meno carico in assoluto è la notte. Fortunatamente la maggior parte delle persone ricaricherebbe la propria auto durante le ore di riposo notturno e solamente una minoranza (nell'anno corrente) avrebbe accesso a punti di ricarica durante le ore lavorative.

A seguito un grafico dell'andamento della richiesta nazionale di energia estratto dal sito di Terna. Si possono notare il minimo nella notte (circa alle 3 del mattino) e il massimo quasi costante durante la giornata. Considerando una singola giornata il grafico è simile ad una sinusoide a picchi tagliati.

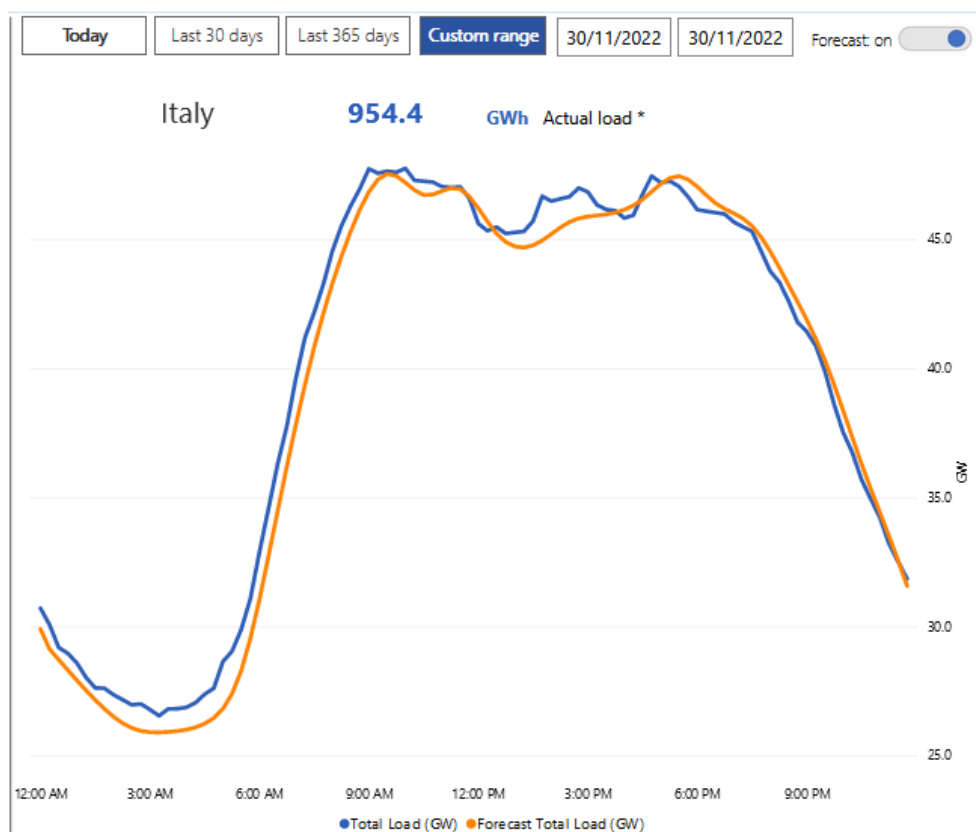


Figura 6.5 Curva della domanda in un giorno tipico di novembre

Confrontando i giorni feriali con i giorni festivi ci si accorge che c'è un abbassamento sia del valore minimo che del picco in quest'ultimi. Esiste quindi una periodicità settimanale che indica la possibilità di poter usare una potenza maggiore nei fine settimana a causa della diminuzione generale del carico. A seguito l'immagine estratta da Terna di una settimana di novembre che inizia con un lunedì presa come esempio (Fig.3.6).

Legato all'energia c'è anche il consumo associato alla regolazione della temperatura negli ambienti chiusi, il quale varia stagionalmente e contribuisce a far fluttuare i valori della curva giornaliera. Analizzando un grafico di Terna (Fig.3.7) della durata di un anno (2018) si possono osservare i valori di minimo che vanno dai 20 ai 30 GW e i valori di massimo che vanno dai 45 ai 55 GW.



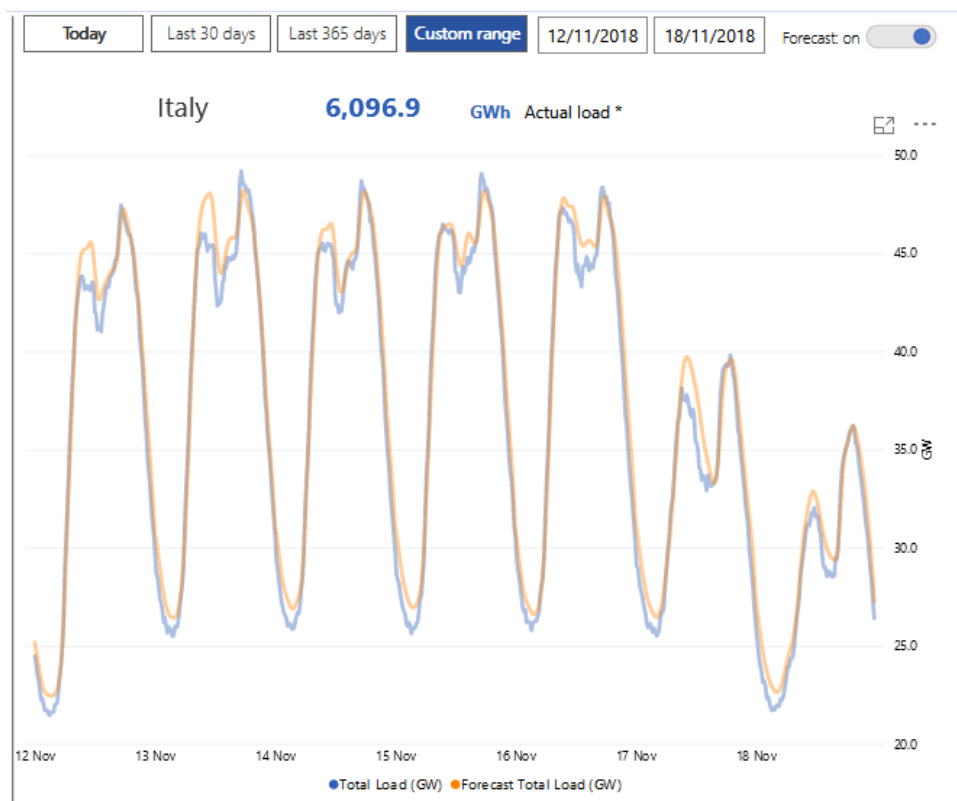


Figura 6.6 Curva della domanda in una settimana tipica di novembre

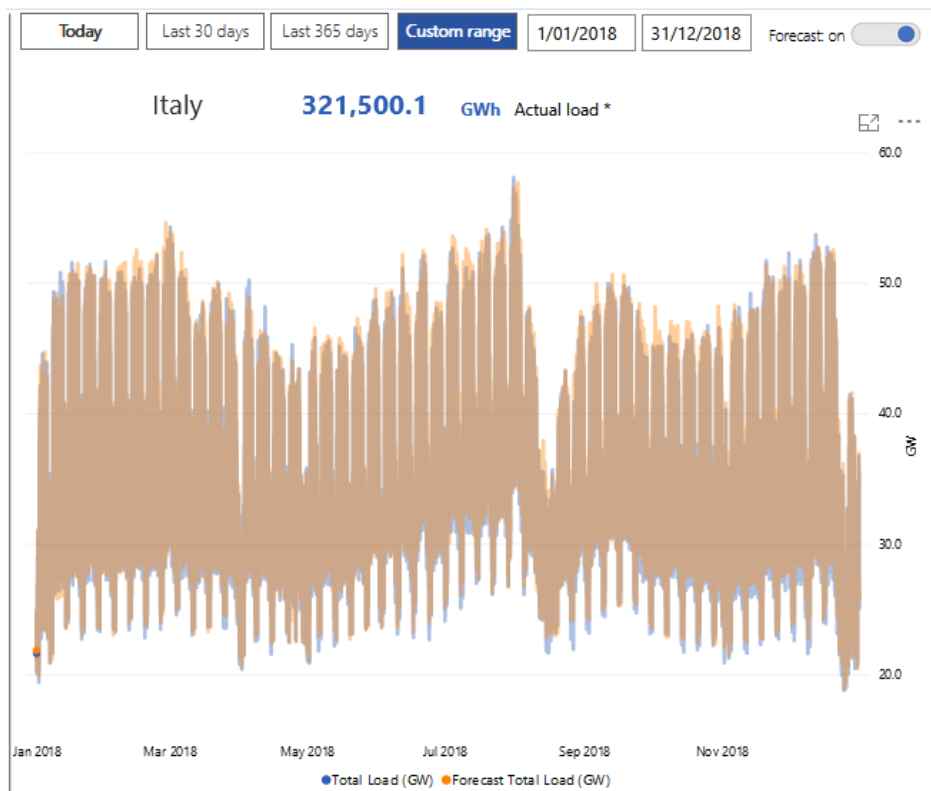


Figura 6.7 Curva della domanda dell'anno 2018



# POTENZA DEI PUNTI DI RICARICA E VALORE MASSIMO DI AUTO IN RICARICA CONTEMPORANEA

## 7.1 PREMESSE

Poniamo come condizione precauzionale che la potenza assorbita dalle utenze tramite la rete abbia un massimo valore raggiungibile pari al picco storico registrato da Terna (60 Gw). Pur essendo una condizione non verificata ci aiuta a capire cosa la rete è certamente in grado di gestire e possiamo affermare che i risultati ottenuti sono validi per come è attualmente lo stato della rete di distribuzione. Stiamo escludendo quindi due casi possibili: sia che la rete riesca a sostenere una potenza più alta sia un eventuale ampliamento di essa da parte di Terna. Quest'ultimo consentirebbe un aumento della potenza gestibile, il quale in realtà sarà inevitabile a causa dell'elettrificazione di più processi industriali e non, indipendentemente dalle auto elettriche.

Possiamo ipotizzare di riservare una potenza pari a 20 GW in prelievo, in più rispetto al normale carico nazionale, per il solo scopo della ricarica dei veicoli elettrici e plug-in. Nelle ore notturne, in corrispondenza del minimo giornaliero, questo valore è accettabile per la maggior parte dei giorni dell'anno. In questo modo sappiamo che il valore massimo di potenza nazionale prelevata non supera i valori di picco massimi già raggiunti in passato.

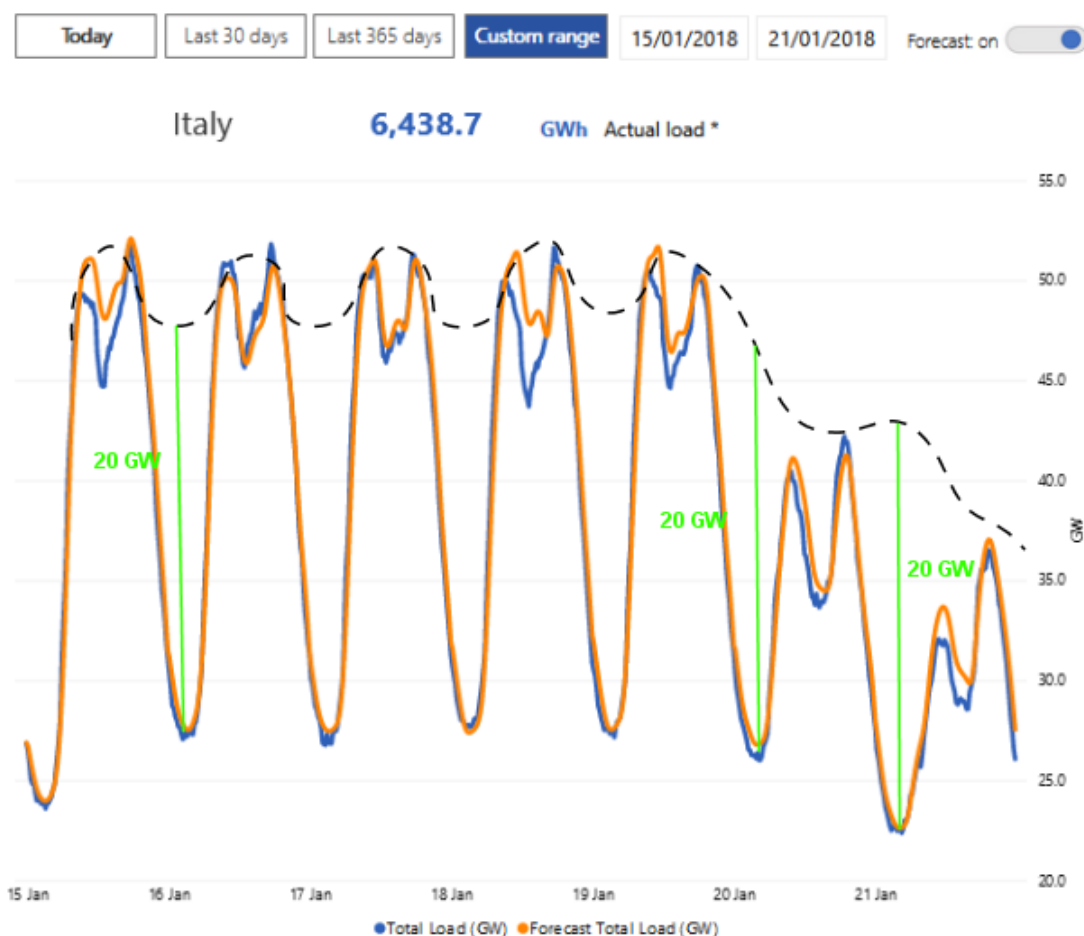


Figura 7.1 Rappresentazione grafica della domanda nel caso di un'aggiunta di 20 GW nelle ore in cui la richiesta originale ha un minimo

In alcune settimane dell'anno e soprattutto nei fine settimana è possibile arrivare ad estendere il range ipotizzato fino a 30 GW di potenza poiché l'assorbimento generale è ridotto. Il problema si verifica per esempio ad agosto quando 30 GW di potenza assorbita in più rispetto al solito carico non sarebbero inferiori al picco annuale a causa dell'assorbimento dei climatizzatori che aumentano i consumi di base.

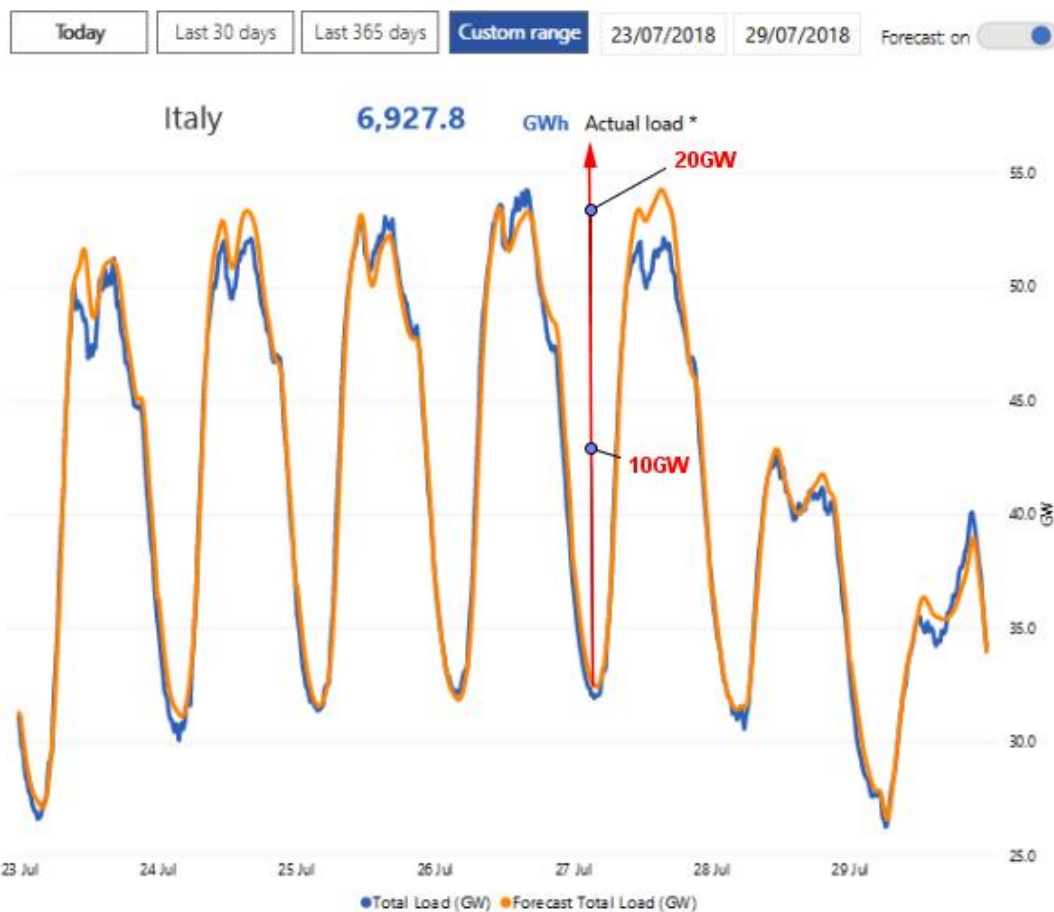


Figura 7.2 Spiegazione grafica del caso in cui un'aggiunta di 30 GW nelle ore in cui la richiesta originale ha un minimo supererebbe il massimo prestabilito di 60 GW

Possiamo poi individuare un range di massimo 5 GW durante le ore diurne in cui è possibile ricaricare l'auto nei luoghi di lavoro o nelle aree commerciali.

Per poter determinare il numero massimo di auto elettriche collegabili simultaneamente entro questi limiti occorrerebbe verificare il numero e la potenza delle colonnine e il numero e la potenza delle ricariche domestiche. Essendo dei dati attualmente di difficile reperibilità, e comunque in costante evoluzione, si analizzeranno vari scenari, ciascuno con delle condizioni prestabilite.

## 7.2 IPOTESI SULLA CARICA E NUMERO DI AUTO

Il numero di punti di ricarica pubblica è un dato che va tenuto sotto controllo soprattutto perché la quantità di questi ultimi sta aumentando ogni anno. Un punto di ricarica pubblico preleva dalle due alle sette volte più potenza rispetto ad una carica casalinga con un contratto base di energia. È importante considerare anche che i proprietari di un'auto elettrica possono aver aumentato la potenza di contratto domestica per adeguarsi alle nuove esigenze. Inoltre una singola colonnina da 22 kW può caricare fino a due veicoli ma comunque con potenza massima prelevata per entrambi uguale a quella nominale.

Per determinare una quantità di auto sopra la quale sarebbe previdente prendere precauzioni riguardo la rete, riprendiamo i due valori di potenza, ipotizzati nelle premesse, che abbiamo riservato alla ricarica dei veicoli elettrici. Partiamo analizzando due casi limite.

Nel primo caso la carica di tutte le auto avviene con un valore di potenza minimo, pari a 3 kW. Durante la notte abbiamo la possibilità di consumare 20 GW, quindi  $n=6,66$  mln. Durante il giorno invece il numero di auto collegate simultaneamente sarà un quarto poiché abbiamo solo 5 GW riservati per la ricarica diurna.

Nel secondo caso la carica avviene completamente tramite colonnine con potenza di 22 kW (le più diffuse). Assumendo due auto per ciascuna si hanno 11 kW per auto e  $n=1,82$  milioni (per il calcolo è sufficiente dividere 20GW per 11kW). Nel caso più irrealistico di una colonnina per ogni auto si avrà  $n=0,91$  mln. Durante il giorno i numeri calcolati diventano un quarto a causa della potenza ipotizzata di 5GW anziché 20GW.

Già da questi calcoli possiamo intuire che a fine 2022 la rete è sicuramente in grado di reggere la carica simultanea dell'intero parco di auto elettriche attuale (330 mila) con la possibilità di usare una potenza di 22kW per ognuno durante le ore notturne, mentre esiste già l'eventualità di sfiorare il picco massimo di 60GW posto inizialmente tra le premesse se ogni auto usasse una colonnina durante le ore di picco diurne.

Tabella 1 Riassume i risultati per i due casi considerati

AUTO IN RICARICA SIMULTANEA SOSTENIBILI DALLA RETE		
POTENZA DI RICARICA (per auto)	NOTTE	GIORNO
	20 GW	5 GW
3 kW	6,66 mln	1,66 mln
11 kW	1,82 mln	0,45 mln
22 kW	0,91 mln	0,23 mln

Possiamo ricavare una stima più precisa analizzando il numero di punti di ricarica e il numero di auto elettriche in Italia e la loro futura crescita. Il sito europeo che osserva la crescita dei combustibili alternativi [3] fornisce due grafici: uno analizza i dati dal 2012 a 2019 (Fig.4.3) e l'altro dal 2020 al 2022 (Fig.4.4) relativi all'andamento dei punti di ricarica i quali sono poi stati uniti in un disegno (Fig.4.6) che predice un futuro andamento di questi tramite il software Excel. Lo stesso è stato fatto (Fig.4.7) con il grafico fornito per il totale dei veicoli elettrici e plug-in (Fig.4.5) [2].

### Recharging points (... - 2019)

An estimation of the total number of recharging points, based on the old counting methodology until 2019.

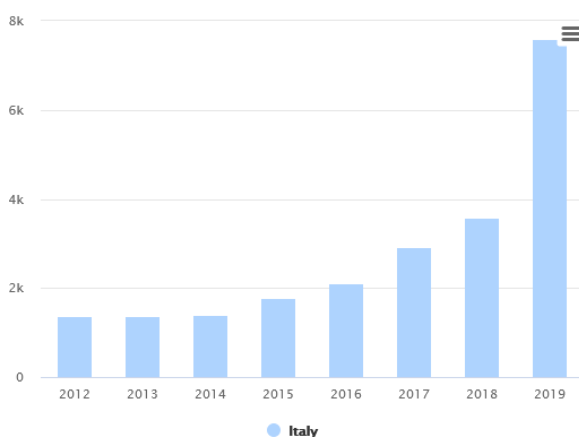


Figura 7.3 Stima del numero dei punti di ricarica in Italia dal 2012 al 2019

## Recharging points (2020 - ...)

Total number of recharging points, according to the AFIR classification.

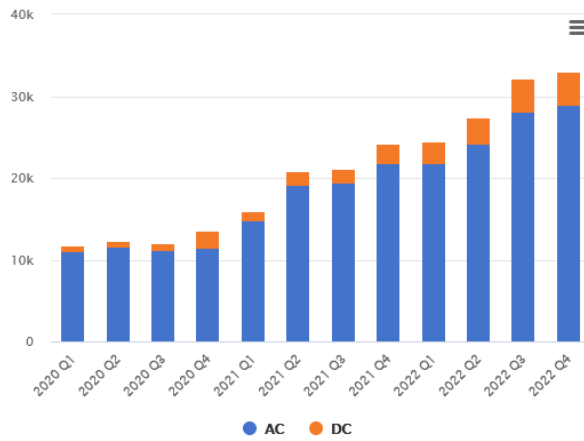


Figura 7.4 Stima del numero dei punti di ricarica in Italia dal 2020 al 2022

## AF Fleet (M1)

Total number of alternative fuelled (BEV, PHEV, H2, LPG, CNG, LNG) passenger cars (M1).

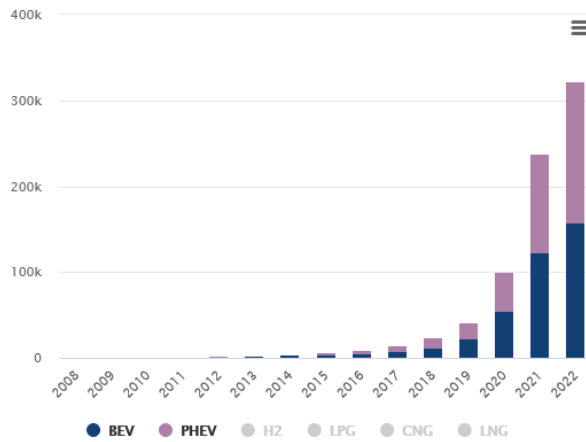


Figura 7.5 Numero di veicoli plug-in e a batteria dal 2008 al 2022

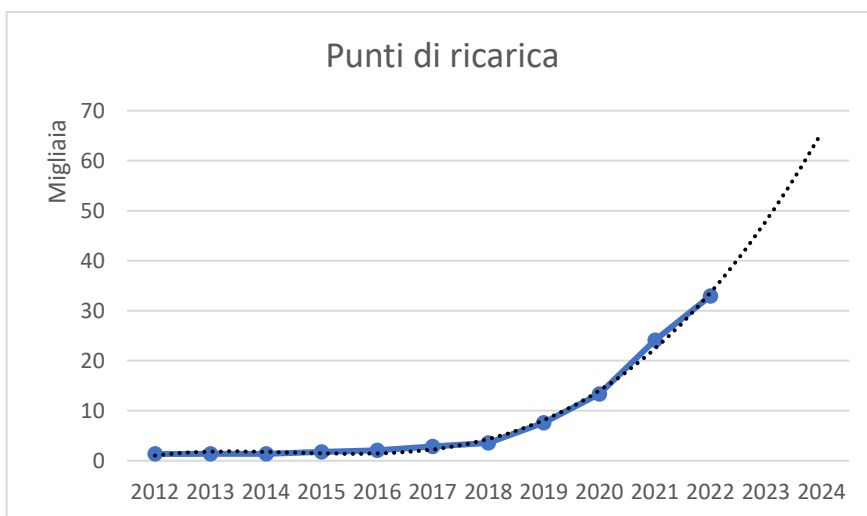


Figura 7.6 Previsione della crescita dei punti di ricarica considerando i dati ottenuti dalle Fig.7.3 e Fig.7.4

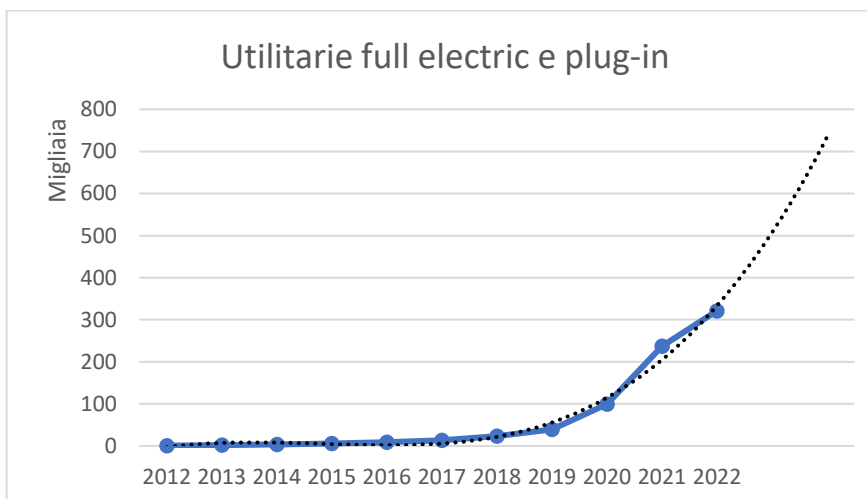


Figura 7.7 Previsione della crescita delle auto full electric e plug-in considerando i dati ottenuti dalla Fig.7.5

Attualmente il numero di punti di ricarica pubblica è 1/10 del numero delle automobili ricaricabili e osservando l'andamento della previsione nel grafico possiamo assumere che questa frazione si manterrà pressappoco costante anche nei prossimi anni.

Possiamo prendere questo dato e ipotizzare che i restanti 9/10 delle auto usino due potenze di ricarica domestica diverse: metà presenta la ricarica lenta da 3 kW e metà presenta la ricarica più veloce da 7,5 kW (invece per le colonnine assumiamo due auto ciascuna, quindi 11 kW per auto).

L'equazione ricavata considera la fascia notturna con disponibilità di 20 GW, che saranno la somma della ricarica simultanea di tutte le auto, ciascuna con il proprio metodo di ricarica

$$0.1 * n * 11 + 0.45 * n * 3 + 0.45 * n * 7.5 = 20000000$$

Risolvendo per  $n$ :

$$n = \frac{20000000}{0.1 * 11 + 0.45 * 3 + 0.45 * 7.5} = 3433476$$

In questo caso  $n=3,43$  milioni.

Ipotizzando invece che i restanti 9/10 delle automobili ricaricate nelle abitazioni usino una potenza di 7,5 kW (ovvero la potenza massima ottenibile con un sistema monofase, il più comune tra le abitazioni) troviamo  $n=2,54$  milioni, numero che si avvicina al dato precedente.

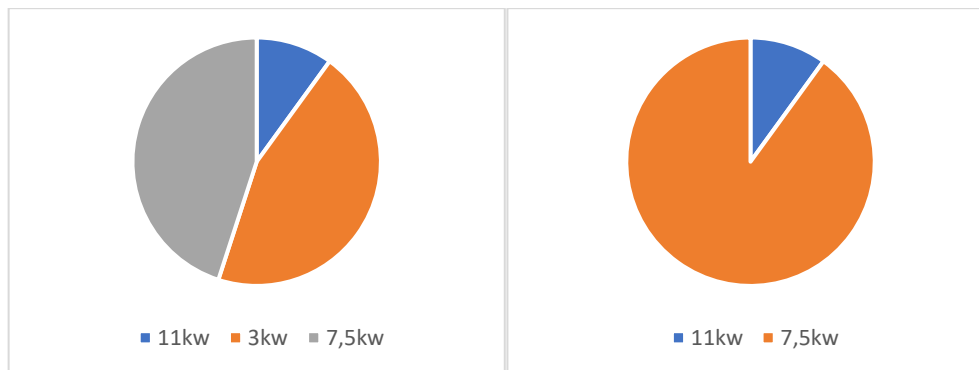


Figura 7.8 Percentuale di auto per ognuno dei tre valori di potenza (ricarica simultanea)

Abbiamo quindi ottenuto dei valori corrispondenti al numero massimo di auto che rientrano negli intervalli di potenza supposti (di 20 e 5 GW) per ognuno dei quattro casi ipotizzati (i due casi limite e i due casi più realistici).

Nei primi due casi possiamo individuare un intervallo che inizia da 1 milione nel caso peggiore a 7 milioni di auto ricaricabili tramite la rete nel caso di ricarica a bassa potenza. Dai calcoli più realistici degli altri due casi il numero totale di auto sostenibili si aggira attorno ai 3 milioni, ovvero il 7,5% del totale parco auto odierno (40 milioni).

Come prima, essendo la potenza da noi assunta disponibile 5 GW al posto di 20 GW, i numeri vanno divisi per quattro, ottenendo un valore realistico di auto sostenibili durante la ricarica diurna di 0,75 milioni, ovvero l'1,9% del parco auto odierno.

Le stime ottenute vanno prese come soglia di avvertimento e non come limite ultimo da non superare poiché l'evoluzione fisica della rete elettrica e dei punti di ricarica a distanza di anni è imprevedibile. In futuro infatti c'è la possibilità che si dimostri la capacità della rete di sopportare una maggiore portata, oppure una sua estensione e sostituzione con nuove componenti.

È importante ricordare che le stime ricavate sono riferite al numero di veicoli in carica simultaneamente e un numero indefinito di altri veicoli possono essere presenti ma non connessi alla rete. Nel paragrafo 6 verranno esaminati dei coefficienti riguardanti la questione.

### 7.3 POTENZA NELL'IPOTESI IN CUI L'INTERO PARCO AUTO SIA ELETTRICO E PREVISIONE DI TERNA SUI PICCHI DI POTENZA FUTURI

Il piano chiamato "Fit for 55", che prende parte al Green Deal Europeo, ha già varato nel giugno del 2022 la prima misura che consiste nel blocco della produzione e vendita di autovetture con motore endotermico a partire dal 2035. Ciò significa che tra pochi decenni la quasi totalità delle auto saranno elettriche, a meno di una deviazione verso i veicoli a combustibili alternativi nei prossimi anni.

Prendiamo quindi in considerazione l'ipotesi di dover ricaricare l'intero parco auto e calcoliamo la potenza necessaria per la ricarica contemporanea di tutti i 40 milioni di veicoli. Come in precedenza, definiamo i due casi limite: la ricarica lenta e la ricarica veloce di tutti i veicoli. Per la ricarica lenta abbiamo i 3kW domestici moltiplicati per 40 milioni, ovvero 120 GW. Utilizzando la ricarica veloce, considerando due auto per colonnina (ricordando che in questo modo sarebbero 11kW per auto con le comuni colonnine da 22kW nominali), avremmo 440 GW. Entrambi i valori sono alti e impongono restrizioni degli orari di ricarica delle auto e controlli dei flussi di potenza nelle reti di distribuzione in maniera che il numero di connessioni alla rete sia limitato.

Considerando che il picco raggiunto dalla rete nell'ultimo decennio è stato nel 2015 con circa 60 GW, possiamo intuire che sarà necessario adeguare le linee in maniera che riescano a reggere un picco pari ad almeno il doppio del valore massimo raggiunto finora. Ogni anno Terna pubblica degli scenari che



tengono in considerazione tutte le normative e gli obiettivi prefissati dall'Italia e dall'Unione Europea e l'evoluzione tecnologica degli apparecchi elettrici e dei loro consumi.

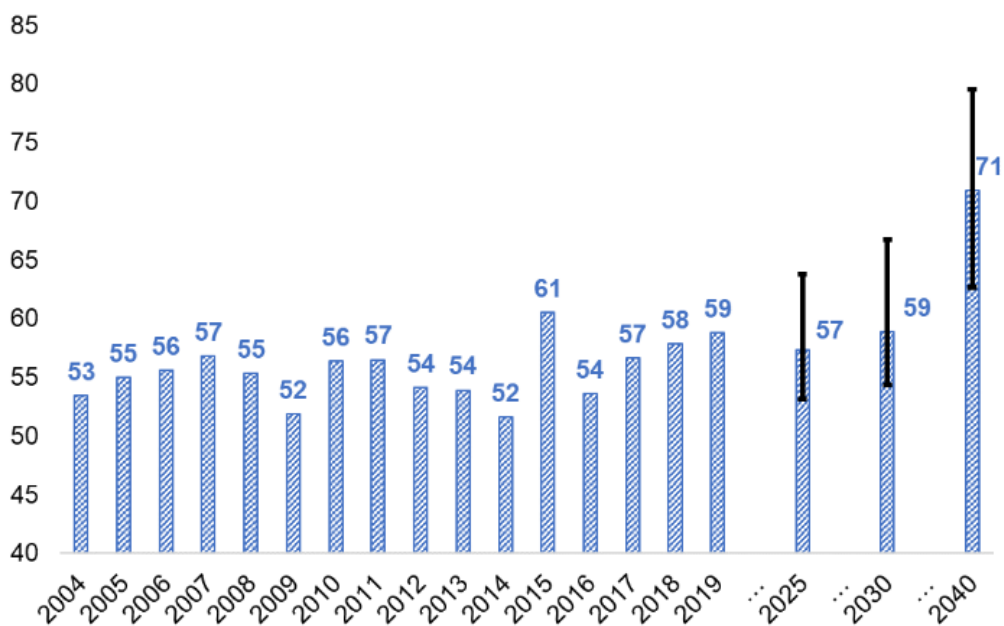


Figura 7.9 Evoluzione dei picchi di carico elettrico dal 2004 al 2040 secondo Terna

Lo scenario del 2021 “National Trend Italia” [9] include un grafico (Fig.4.9) con l’andamento dei picchi di consumo annuali dal 2004 fino alla previsione per il 2040.

Possiamo vedere che l’aumento dei consumi è già previsto da Terna ed è quindi già presente un piano di azione per la gestione e l’espansione della rete di energia elettrica. I valori riportati sull’istogramma si fermano al 2040, quando il parco auto italiano non sarà ancora 100% elettrico. Il massimo dei veicoli a trazione elettrica verrà infatti raggiunto (e mantenuto, se non ci saranno cambiamenti) approssimativamente nel 2050, quando le ultime auto a combustione interna avranno raggiunto la fine del proprio servizio.

Il valore di potenza di picco previsto da Terna nel 2040 dovrebbe quasi raddoppiare in 10 anni per raggiungere la potenza richiesta stimata precedentemente nel caso di ricarica elettrica di tutte le auto.



## ■ VALUTAZIONE DELLA SINGOLA RETE CAPILLARE

Abbiamo visto come varia l'andamento della richiesta energetica nel tempo in tutto il paese, cercando di capire come sfruttare al meglio l'orario e come il posizionamento dei punti di ricarica influisca la richiesta stessa. È importante valutare però che le colonnine di ricarica, oltre ovviamente alle prese di ricarica domestiche, sono connesse alle reti in bassa o media tensione, le cui curve di potenza potrebbero non seguire l'andamento medio italiano su grande scala riportato da Terna. Potrebbero infatti essere presenti reti in media tensione che alimentano esclusivamente capannoni industriali, fabbriche o botteghe di artigiani e reti in bassa tensione che riforniscono unicamente abitazioni. Il grafico della potenza oraria di una certa area è la somma di più potenze di carichi diversi che risultano in un andamento periodico specifico dell'area considerata.

Per fare un esempio ricaviamo dallo studio eseguito da Arera [12] nel 2009 una curva di carico aggregata del settore domestico (Fig.5.1). Questa curva, riportata in seguito, segue l'andamento tipico di un utente domestico.

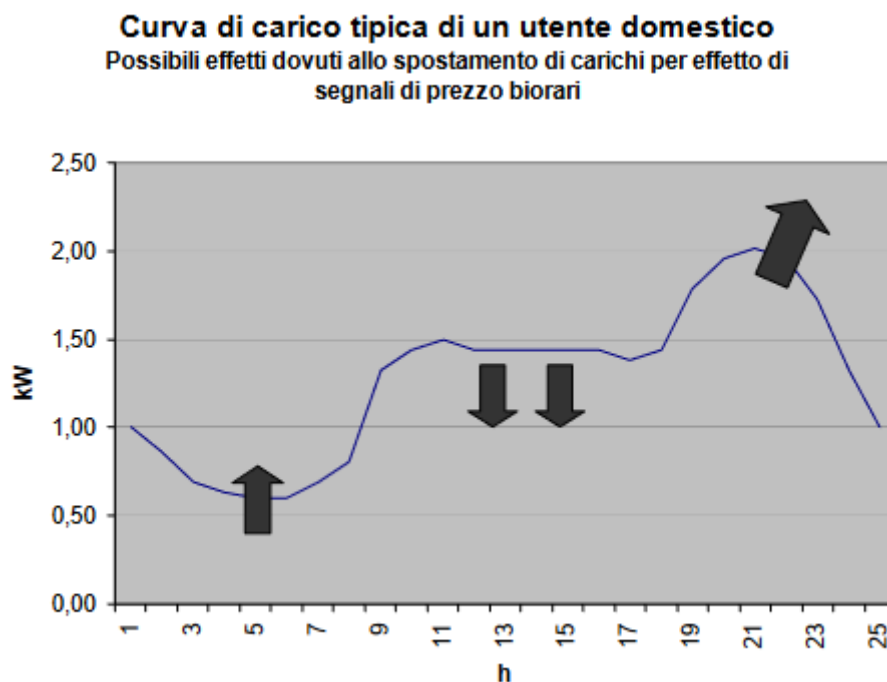


Figura 8.1 Curva di carico tipica di un utente domestico

Se paragoniamo questo andamento con la curva nazionale (Fig.5.2) ci accorgiamo che presenta parti comuni e parti quasi in opposizione. In particolare durante la notte abbiamo sempre una riduzione della domanda di potenza fino al minimo e durante il giorno si arriva ad un livello quasi stabile. La differenza si riscontra nelle prime ore serali quando le persone rientrano in casa e le strutture industriali smettono di produrre: in un caso c'è un abbassamento della domanda, mentre nell'altro si ha un aumento della stessa che porta al raggiungimento del picco giornaliero per le utenze domestiche.

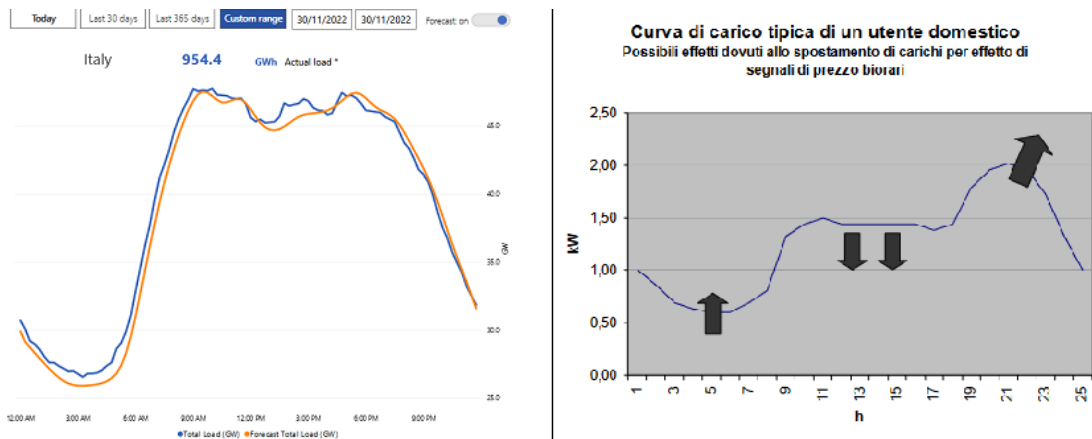


Figura 8.2 Comparazione di una curva di carico nazionale (a sinistra) con la curva di carico di un utente domestico (a destra).

Lo studio dell'andamento della potenza negli snodi capillari è di grande aiuto in previsione di installazioni che prevedono grandi potenze. Tramite la previsione della domanda siamo in grado di trovare soluzioni per la carica dei veicoli elettrici in reti a bassa tensione in maniera da non sovraccaricare le parti di linea più sollecitate sfruttando i momenti in cui la potenza è minima o usando tecnologie come le smart grids per regolare la carica di più utenze collegate allo stesso nodo.

## COEFFICIENTE DI UTILIZZAZIONE E CONTEMPORANEITÀ

Finora è stata assunta la ricarica contemporanea di tutte le auto elettriche per poter avere un valore massimo che include una certa soglia di tolleranza sopra alla potenza usata reale, la quale verosimilmente non coinvolgerà tutte le automobili nello stesso momento. Possiamo quindi introdurre un coefficiente di contemporaneità che tiene conto del numero massimo di auto collegate alla ricarica nello stesso momento.

Partiamo però prima introducendo un coefficiente di utilizzazione  $Ku$  di un carico, definito come “il rapporto tra la potenza massima ( $Pm$ ) di un sistema (o di una parte del sistema) e la sua potenza nominale installata ( $Pn$ )”,  $Ku = Pm/Pn$  ovvero la potenza media usata in un dato arco di tempo diviso la potenza nominale propria del carico [13]. Nel caso della ricarica dei veicoli elettrici possiamo considerare la potenza nominale come la potenza dichiarata dal punto di ricarica, mentre per la potenza media andranno considerati alcuni fattori. La potenza media è la potenza che se mantenuta costante per un dato intervallo di tempo eroga la stessa quantità di energia della potenza istantanea (anche non costante) reale nel medesimo intervallo. L'intervallo considerato è quello tra una ricarica e la successiva e la quantità di energia è pari a quella del pacco batterie del veicolo (o di poco superiore a causa delle perdite). La potenza media è proporzionale quindi alla frequenza di ricarica e all'energia (e quindi autonomia) immagazzinata dall'auto.

Facciamo un esempio: con una ricarica lenta ( $Pn = 3kW$ ) di 8h e una frequenza di ricarica giornaliera abbiamo un coefficiente di  $Ku = \frac{3kW * 8h}{24h} * \frac{1}{3kW}$ , ovvero  $Ku = 1/3$ , mentre se con la stessa carica guidiamo per tre giorni il coefficiente sarà tre volte minore. Questo coefficiente dipende quindi da diversi fattori: lo stile di guida, l'autonomia dell'auto, la potenza nominale, il modello (a causa dei diversi consumi) e la strada media percorsa (parametro su cui faremo delle considerazioni in un paragrafo successivo).

Il coefficiente di utilizzazione tiene conto del singolo carico, mentre il coefficiente di contemporaneità viene influenzato dall'insieme dei veicoli connessi allo stesso nodo, che nel nostro caso sarà il trasformatore di potenza che alimenta più punti di ricarica. Il coefficiente di contemporaneità è infatti definito come  $Kc = \frac{P_M}{\sum P_m}$ , ovvero è il rapporto tra la potenza massima al nodo ( $P_M$ ) e la sommatoria di tutte le potenze medie dei carichi sottostanti, ciascuna calcolabile come  $Pm = Ku * Pn$  [14].

Il coefficiente di contemporaneità si basa sul principio per cui, pur essendo le utenze intermittenti durante la giornata, sommando il loro contributo si può approssimare il prelievo totale a un valore massimo (più utenze possediamo più uniforme sarà il flusso di potenza al nodo), solitamente inferiore alla somma delle singole potenze medie. Tramite formula inversa possiamo ricavare la potenza minima da installare al nodo ( $P_M$ ) dato il coefficiente  $Kc$ , misurato quindi sperimentalmente, e tutte le potenze medie ricavabili dai coefficienti  $Ku$ , ottenuti da analisi sulle abitudini degli utenti.

Lo studio di questi coefficienti è fondamentale per poter risparmiare risorse finanziarie e materie prime che sarebbero altrimenti sprecate. L'importanza di questi coefficienti è dimostrabile tramite un esempio che prende in considerazione il consumo energetico delle abitazioni. Se per esempio tutte le abitazioni italiane posseditrici di un contratto (il più comune è 3kW) usassero a pieno la potenza loro disponibile in contemporanea, senza considerare i coefficienti  $Ku$  e  $Kc$ , essendoci circa 35 milioni di abitazioni avremmo un massimo di 100 GW, senza contare le industrie e il resto delle utenze.

Come specificato in precedenza i numeri grezzi delle auto ricavati nei paragrafi precedenti sono dei valori che rappresentano una soglia sopra la quale fare attenzione, considerando la rete allo stato attuale. Inoltre fino ad ora abbiamo considerato solo l'ammontare delle auto che sarebbero in grado di ricaricarsi in contemporanea, escludendo quindi tutte le altre auto che nello stesso momento sono in viaggio o ferme senza effettuare la ricarica. Possiamo però dimostrare che il numero di auto totale dipende direttamente dal parametro  $Kc$  poiché, se assumiamo il valore di potenza massima  $P_M$  costante e pari ad un valore da noi imposto, sappiamo che questo valore con  $Kc = 1$  è pari alla potenza consumata da tutte le auto, tutte in ricarica. Se poi variamo  $Kc$  (tra 0 e 1) mantenendo costante  $P_M$  sappiamo che la sommatoria delle  $Pm$  aumenta in maniera inversamente proporzionale a  $Kc$ . Considerando le auto ottenute con  $Kc = 1$  e dividendo il loro numero per il nuovo valore di  $Kc$  otteniamo il numero di auto

totale, sia in ricarica che non in ricarica, poiché il coefficiente  $Kc$  stesso indica la percentuale sul totale di auto connesse alla rete.

Procediamo con un esempio riprendendo i dati dei capitoli precedenti.

Abbiamo ricavato una stima nel capitolo 4.2 di 3 milioni di auto in ricarica simultanea che assieme assorbirebbero circa 20 GW di potenza. La nostra potenza  $P_M$  sarà quindi  $P_M = 20$  GW. Con  $Kc = 1$  abbiamo che  $P_M/Kc = Pm$ , ovvero  $Pm = P_M$  è la potenza di tutte le auto in ricarica che coincidono con le auto totali essendo il coefficiente di contemporaneità uguale ad 1. Se il coefficiente dovesse essere nel caso reale  $Kc = 0,6$  avremmo  $Pm = P_M/0,6$ , ovvero una potenza  $Pm$  maggiore, come nel caso in cui avessimo aumentato  $P_M$ . Essendo  $Pm$  proporzionale al numero di auto e a  $Kc$ , dividendo il numero di auto originale, nel nostro caso 3 milioni, per 0,6 otteniamo il nuovo numero di auto totale circolanti sostenibili dalla rete, ovvero  $3/0,6 = 5$  milioni.

## ■ ALTRE CONSIDERAZIONI RIGUARDANTI L'AUMENTO DELLE AUTO ELETTRICHE

### 10.1 SMART GRIDS: GESTIONE DEGLI ORARI DI RICARICA E IMPIANTI FV

L'aumento degli impianti fotovoltaici domestici richiede sempre più spesso un sistema di gestione dell'energia che garantisca un livello di tensione e frequenza nei limiti, una continuità di servizio e un metodo di immissione nella rete dell'energia in eccesso. La definizione di smart grid secondo la International Energy Agency [10] è "A smart grid is an electricity network that uses digital and other advanced technologies to monitor and manage the transport of electricity from all generation sources to meet the varying electricity demands of end users. Smart grids coordinate the needs and capabilities of all generators, grid operators, end users and electricity market stakeholders to operate all parts of the system as efficiently as possible, minimising costs and environmental impacts while maximising system reliability, resilience, flexibility and stability".

Creando un sistema di comunicazione che condivida le letture dei sensori, installati nei dispositivi presenti nei vari impianti di ricarica, si può disporre di una rete "intelligente" che gestisca la carica dei veicoli in una zona e riduca i valori di potenza di picco. Ad esempio è conveniente poter sfasare gli intervalli di ricarica dei veicoli durante le ore notturne, in maniera che, pur essendo questi ultimi collegati alla rete, vengano caricati solo sotto il comando del computer che gestisce la ricarica e comunque garantendo che la mattina siano carichi, con il vantaggio di aver distribuito l'energia su un periodo maggiore e ridotto la potenza di picco notturna.

Le applicazioni delle smart grids sono ancora in fase di studio ma presto, grazie ad una progressiva elettrificazione di più dispositivi ed una generazione elettrica di piccola scala sempre più diffusa, diverranno il principale meccanismo di controllo della rete nella parte di bassa tensione.

### 10.2 AUTO ELETTRICA E INQUINAMENTO

Con le conoscenze acquisite sappiamo che l'orario più probabile e conveniente per il prelievo di energia elettrica dalla rete è durante le ore serali e notturne. In che modo viene prodotta quell'energia? Durante il giorno sono in funzione tutte le centrali, da quelle termiche a quelle idroelettriche, e in più l'irradiazione solare permette l'uso di generatori fotovoltaici. Gli impianti FV sono attualmente la maggiore risorsa di energia rinnovabile in Italia per quanto riguarda la potenza installata ma nelle ore serali e notturne non producono energia. Le uniche fonti rinnovabili già ampiamente in uso che producono anche la notte sono l'eolico, il nucleare e l'idroelettrico. In Italia il nucleare non è presente, l'energia eolica è una parte molto ridotta tra le rinnovabili e l'idroelettrico produce una quantità di energia piccola rispetto al totale. In Fig.7.1 vengono graficati i dati della IEA riguardanti la quantità di energia prodotta da ciascuna fonte primaria in Italia nel 2021. Solo un 20% dell'energia totale deriva da fonti rinnovabili e, considerando l'attuale limitata capacità di stoccaggio dell'energia elettrica, il solare non contribuirà nelle ore notturne, riducendo ancora la percentuale delle rinnovabili sul totale [15]. È possibile che l'energia prodotta dalle sole rinnovabili sia sufficiente a provvedere per la ricarica dei veicoli elettrici e che questi agiscano come "batteria tampone" assorbendo l'energia in eccesso prodotta dalle fonti con produzione irregolare, ma questo richiede un'analisi dettagliata che non è scopo di questa tesi.

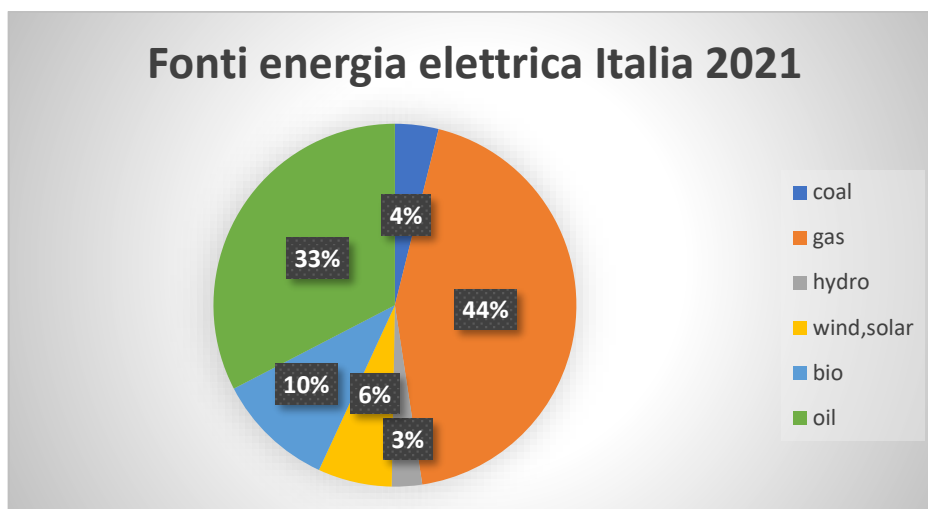


Figura 10.1 Fonti sfruttate per produrre energia elettrica in Italia nel 2021, dati della IEA

Ciò pone un quesito sulla reale utilità dell'auto elettrica come veicolo green nella situazione energetica attuale. L'inquinamento prodotto dal settore energetico in Italia è l'81% del totale e di questo l'inquinamento da parte dei trasporti è il 29% [16], ovvero il 23% del totale. Anche se si riuscisse ad eliminare questa percentuale convertendo tutte le auto ad elettriche e ricaricandole con fonti alternative rimarrebbero ancora la maggior parte delle emissioni di gas serra. Investire prima sui problemi della generazione di energia elettrica potrebbe essere la manovra più corretta su larga scala, poiché è la produzione di energia rinnovabile alla base della ricarica green. Ricaricare un veicolo elettrico con una fonte che produce anidride carbonica per poi affermare di viaggiare ad emissioni zero è infatti un paradosso. I veri vantaggi che offre l'auto elettrica si misurano su scale minori. L'auto completamente elettrica ha bisogno di una manutenzione minore di quella a motore termico ed assieme all'ibrida e alla plug-in consentono di ridurre le polveri sottili e lo smog dai centri urbani o nelle strade congestionate. Il commercio dei veicoli elettrici è ormai avviato e i prezzi continueranno a scendere man mano che più persone cambiano la propria auto con uno di questi nuovi veicoli. Se l'Europa raggiungerà i propri obiettivi nel campo della riduzione delle emissioni, producendo energia elettrica a inquinamento quasi zero, l'auto elettrica diventerà green e per quel momento il prezzo di questo nuovo bene di consumo sarà molto più accessibile, oltre che la tecnologia di molto migliorata.

I problemi dell'adozione dell'auto elettrica non sono solo relativi alla ricarica: al momento infatti non si dispone di sufficienti centri di riciclo delle batterie. I materiali di cui sono composte devono essere estratti, al momento, da miniere la cui attività produce non poco inquinamento. In un futuro non troppo distante dovrà essere risolto anche questo problema se si vuole che la transizione ad emissioni zero sia effettivamente tale.

### 10.3 DISTANZA PERCORSATA ED ENERGIA RICHIESTA MEDIA PER GIORNO

Tra i parametri per la gestione degli intervalli di ricarica durante le ore notturne si considera il tempo di ricarica dell'auto, che solitamente è direttamente proporzionale alla distanza percorsa dall'ultima ricarica. Possiamo ricavare un tempo medio di ricarica, legato alla distanza media percorsa, ovvero all'energia consumata negli spostamenti. In media la quantità di energia consumata in una giornata non sarà mai tale da scaricare completamente la batteria di un'auto full electric, che ormai hanno raggiunto autonomie paragonabili con le auto a combustione interna. Il tempo di ricarica medio sarà quindi molto ridotto rispetto alla carica da zero e la ricarica contemporanea dei veicoli coinvolgerà meno vetture (come è stato spiegato nel paragrafo 6). La potenza di picco trasmessa dalla rete locale verrà quindi ridotta e le ricariche dei veicoli verranno sfasate in più orari, garantendo comunque la ricarica completa a tutti i mezzi.

Facciamo un esempio: in media la distanza percorsa quotidianamente da un'autovettura non supera i 40km [11]. Il consumo medio invece è di 16 kWh/100km, ovvero 160Wh al chilometro. L'energia media consumata in un giorno si aggira attorno al valore di 6,4kWh, che con la ricarica lenta da 3kW impiega circa 2,5h per essere ripristinata. Per paragone una macchina plug-in può contenere un'energia



fino a 10 volte questo valore, mentre una full electric fino a 15 volte, definendo un'autonomia che va da una a due settimane.

## 10.4 TRASPORTI PUBBLICI

Per contrastare i problemi riguardanti il riscaldamento globale e il traffico cittadino è possibile che una soluzione futura sia quella dell'efficientamento dei trasporti pubblici. Le auto elettriche potrebbero essere rimpiazzate da auto pubbliche o da servizi pubblici su ruota che svolgono la funzione di un taxi. Questi taxi, che potrebbero sfruttare una guida autonoma, verrebbero controllati sia per efficientare il traffico stradale sia per gestire le ricariche, in maniera che non si creino picchi o problemi di altro genere.

Tra non molti anni potremmo assistere alla diffusione degli autobus ad idrogeno anche in Italia, dove vengono prodotti in collaborazione con il Portogallo. Lo stesso vale anche per il trasporto di merci su ruota come i camion che molte compagnie stanno rendendo elettrici o ad idrogeno. Anche l'idrogeno infatti avrà un ruolo nella transizione per le emissioni zero e la tecnologia per la sua estrazione, sebbene inizialmente inefficiente, migliora velocemente.

## 10.5 I PIANI "FIT FOR 55" E "NET ZERO"

Il 14 febbraio 2023 è stata approvata una proposta che vieta in tutti i paesi UE la vendita di auto non elettriche a partire dal 2035. Questo anno è stato scelto perché la stima della vita media di un'auto a carburante è di circa 15 anni e teoricamente nel 2050 dovrebbero circolare solo autovetture elettriche, soddisfacendo i requisiti dello scenario ad emissioni zero entro il 2050. Questa proposta normativa fa parte del piano "Fit for 55", il quale contiene una serie di iniziative volte a rivedere e aggiornare le normative dell'UE in modo che siano allineate con gli obiettivi climatici concordati dal Consiglio e dal Parlamento europeo. In particolare il piano mira ad abbassare del 55% le emissioni di gas serra, rispetto a quelle del 1990, entro il 2030. Assieme al "Fit for 55" è in atto il piano "Net Zero Emissions" che invece mira ad azzerare le emissioni di gas serra entro il 2050, in maniera da mantenere il riscaldamento globale sotto la soglia degli 1,5°C. Quest'ultimo obiettivo fa parte del Green Deal europeo, un insieme di iniziative politiche proposte dalla Commissione Europea che pongono vari obiettivi con lo scopo di ridurre il riscaldamento globale preservando la biodiversità e prevenendo disastri naturali. Il Green Deal europeo a sua volta è scaturito dall'accordo internazionale di Parigi del 2015 che prevede anch'esso dei punti da rispettare riguardo la limitazione di emissione dei gas serra, con la differenza che è applicato quasi globalmente.

Purtroppo le emissioni europee contano solo per il 13,5% [17] sul totale mondiale e anche se l'intera Europa diventasse ad emissioni zero rimarrebbero Cina, Stati Uniti, India e Russia, le quali emettono assieme più di cinque volte la quantità di gas serra dell'Europa.

Il 25 marzo è stato confermato un ulteriore accordo tra Berlino e l'UE dopo la richiesta da parte della prima di includere nelle vendite i veicoli funzionanti con gli e-fuel. Anche l'Italia ha proposto una modifica tentando di includere i biocombustibili come carburante alternativo agli e-fuel e alla mobilità completamente elettrica. La richiesta però è stata scartata poiché i biocombustibili non offrono il 100% del riciclo della CO2 nel loro ciclo di vita. Questi, a differenza degli e-fuel, sono prodotti a partire dagli scarti di materiale organico o materiale coltivato che non compete con la produzione alimentare. Gli e-fuel d'altra parte sono potenzialmente ad immissione zero di CO2. Essi sono prodotti dall'unione di H2, derivato dall'elettrolisi dell'acqua, e dalla CO2 catturata dall'aria, in un processo che usa energia elettrica. Quest'energia dovrà essere prodotta da fonti rinnovabili o l'intero processo non sarà ad emissioni zero. Il ciclo delle e-fuel richiede quindi un passaggio in più rispetto al trasporto puramente elettrico ma contiene il vantaggio di poter stoccare l'energia rinnovabile in eccesso tramite il combustibile stesso, consentendo inoltre una ricarica dei veicoli veloce e ad impatto zero sia per emissioni che per potenza trasportata dalla rete.

La soluzione finale sarà decisa tramite tentativi e dimostrazioni che nei prossimi 10 anni si susseguiranno e potrebbero anche portare ad un eventuale cambiamento delle normative. Molto probabilmente la soluzione non sarà l'adozione di un unico sistema ma la coordinazione di più energie e fonti diverse in grado di compensare pregi e difetti l'una dell'altra.



## ■ CONCLUSIONI

La gestione della ricarica di massa dei veicoli elettrici è una sfida che include molte variabili, alcune ancora da misurare e altre difficili da prevedere. Attualmente il numero dei veicoli ricaricabili è ancora poco influente sul parco auto totale ma, osservando le normative europee e le proposte già approvate, tra un paio di decenni la percentuale sul totale di auto a combustione interna si sarà scambiata con quella attuale delle auto elettriche.

La trasmissione della potenza tramite la rete nazionale sarà quindi un argomento cruciale poiché l'aumento dei consumi elettrici avverrà con valori non trascurabili. La domanda derivante dalla ricarica dei veicoli infatti va sommata alla domanda di base già esistente e dovrà passare per molte linee e snodi che dovranno essere valutati singolarmente per assicurarsi che le portate siano sufficienti a sostenere le nuove esigenze. La potenza verrà distribuita in base ai luoghi più frequentati dalla popolazione ed è diretta ai punti di ricarica la cui distribuzione sul territorio però non sarà uniforme. Per questo motivo lo studio degli spostamenti abitudinari delle persone può fornire dati interessanti per l'implementazione di una rete di ricarica efficiente e funzionale.

I calcoli inizialmente eseguiti riguardano la parte di auto in ricarica nel medesimo momento, trascurando quindi il resto dei veicoli facenti parte comunque del parco auto. La potenza di ricarica, come abbiamo visto, influenza di molto la domanda alla rete e di conseguenza il numero di veicoli sostenibili da essa. Conoscendo i coefficienti successivamente descritti saremmo in grado di capire quante auto elettriche possono effettivamente circolare contemporaneamente in tutta Italia. Per arrivare a sostituire tutte le autovetture a combustione interna con autovetture elettriche saranno necessari degli investimenti notevoli: dalla generazione sostenibile, passando per il rinforzo dei punti deboli nella rete, poi per l'installazione dei punti di ricarica e infine inserendo un sistema per la gestione della carica che possa predire l'andamento della curva della domanda. L'efficienza e il controllo nella gestione delle ricariche è correlata alla conoscenza dei tempi di ricarica e dalla potenza usata dagli utenti, infatti una variazione in questi parametri porta ad un cambiamento considerevole nel numero di veicoli da noi supposti sostenibili.

Oltre alla raccolta di questi dati bisogna pensare allo smaltimento e al riciclo sia delle batterie a fine vita che di tutto il resto dei nuovi componenti che prendono parte nel sistema della mobilità elettrica tra cui le colonnine di ricarica.

L'obiettivo delle emissioni zero è sicuramente un passo molto ambizioso del quale siamo solo all'inizio e gli scenari previsti a livello europeo sembrano molto futuristici, ma il riscaldamento globale comporta importanti e pericolosi cambiamenti che se non prevenuti rischiano di rovinare la biodiversità del pianeta, oltre che creare catastrofi naturali, scarsità di risorse e guerre.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] “European Automobile Manufacturers’ Association (ACEA)”  
<https://www.acea.auto/figure/fuel-types-of-new-passenger-cars-in-eu/>
- [2] “European Alternative Fuels Observatory”  
<https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/italy/vehicles-and-fleet>
- [3] “European Alternative Fuels Observatory”  
<https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/italy/infrastructure>
- [4] “Terna”  
<https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/transparency-report/total-load>
- [5] “Terna LightBox”  
<https://lightbox.terna.it/it/in-prima-linea/t-come-trasmissione>
- [6] Yue Zhang, “Analysis of Impact of Electric Vehicle Charging Load on City Grid”, IOP conference series: Materials Science and Engineering 486 012139, 2019
- [7] “Istituto nazionale di statistica (ISTAT)”  
[http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCIS\\_VEICOLIPRA](http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCIS_VEICOLIPRA)
- [8] “Associazione italiana sulla mobilità elettrica Motus-E”  
[https://www.motus-e.org/studi\\_e\\_ricerche/le-infrastrutture-di-ricarica-a-uso-pubblico-in-italia-quarta-edizione/](https://www.motus-e.org/studi_e_ricerche/le-infrastrutture-di-ricarica-a-uso-pubblico-in-italia-quarta-edizione/)
- [9] “Terna”, Scenario National Trend 2021 pagina 23  
<https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/rete/piano-sviluppo-rete/scenari>
- [10] “International Energy Agency (IEA)”  
<https://www.iea.org/reports/smart-grids>
- [11] “Sistema statistico regionale del Veneto”, 2012, prima pagina  
<https://statistica.regione.veneto.it/Pubblicazioni/RapportoStatistico2012/pdf/Capitolo17.pdf>
- [12] “Autorità di regolazione per energia reti e ambiente (ARERA)”, pagina 25  
<https://www.arera.it/allegati/docs/dc/09/037-09dco.pdf>
- [13] R. Benato, L. Fellin, *Impianti Elettrici*, Milano, Wolters Kluwer, 2022, pg.13 - cap. 1.3.4
- [14] R. Benato, L. Fellin, *Impianti Elettrici*, Milano, Wolters Kluwer, 2022, pg.14 – cap. 1.3.6
- [15] “International Energy Agency (IEA)”  
<https://www.iea.org/countries/italy>
- [16] “Piattaforma online Climate Watch, World Resources Institute (WRI)”  
[https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=sector&chartType=percentage&end\\_year=2019&sectors=&source=Climate%20Watch&start\\_year=1990](https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=sector&chartType=percentage&end_year=2019&sectors=&source=Climate%20Watch&start_year=1990)  
Articolo correlato: <https://www.green.it/inquinamento-per-settori/>
- [17] “Sito Web del Parlamento Europeo”  
<https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20180301STO98928/emissioni-di-gas-serra-per-paese-e-settore-infografica>