



STUDIO RSE:

Impatto delle infrastrutture di ricarica sulla rete elettrica di distribuzione

Luglio 2022

Indice

1	OBIETTIVO DELLO STUDIO	3
2	I PROFILI DI RICARICA	3
2.1	Punti di ricarica lenta privati (abitazioni).....	4
2.2	Punti di ricarica accelerata (luoghi di lavoro)	10
2.3	Punti di ricarica veloce ad accesso pubblico	13
3	CASO STUDIO	18
4	POSSIBILI SOLUZIONI	24
5	CONSIDERAZIONI RIASSUNTIVE	26
6	BIBLIOGRAFIA.....	27

1 OBIETTIVO DELLO STUDIO

La diffusione delle infrastrutture di ricarica (IdR) sul territorio nazionale a fine 2021 risulta allineata se non superiore alla media europea, se espressa in termini di rapporto con il numero di veicoli elettrici (EV) immatricolati [1]; il buon livello di copertura, tuttavia, è dovuto soprattutto al numero relativamente contenuto di EV. L'allineamento del numero dei veicoli ai livelli di penetrazione degli altri paesi a noi simili comporterà anche la crescita della diffusione delle IdR: periodicamente emergono perplessità circa la possibilità che le reti di distribuzione non siano in grado di accogliere questi nuovi carichi.

Nel corso degli ultimi anni in RSE sono stati condotti numerosi studi riguardanti l'impatto della ricarica dei veicoli elettrici sulle reti di distribuzione. L'analisi è particolarmente complessa, dato che tale impatto dipende dalle caratteristiche della rete, dei veicoli elettrici (es. capacità, abitudini di viaggio...) e delle stazioni di ricarica. Tali variabili non sono del tutto note e potranno variare in futuro (es. la posizione ottimale dei punti di ricarica dipende anche dalla capacità e dalla potenza massima di ricarica dei veicoli). Per questo motivo è utile condurre studi su reti diverse, con metodologie diverse e soprattutto condurre delle analisi di sensitività per determinare i parametri più rilevanti. Queste analisi sono state portate avanti in diversi filoni di ricerca ([1]÷[5]), anche in collaborazione con gestori delle reti di distribuzione. In questi studi si è osservato che le caratteristiche dei profili di ricarica sono fondamentali per spiegarne l'impatto sulla rete e per determinare possibili soluzioni. Per questo motivo, nel capitolo §2 sono riportate innanzitutto le principali caratteristiche dei profili di ricarica.

Negli scorsi anni sono stati condotti numerosi studi per valutare l'impatto sulla rete: nel capitolo §3 sono pertanto riportati i risultati principali dello studio descritto in [4], rappresentativi anche delle analisi condotte su altre reti e con altre metodologie. Infine, in §4 sono riassunte alcune considerazioni sulle possibili soluzioni di controllo in grado di limitare gli impatti sulla rete di distribuzione.

2 I PROFILI DI RICARICA

L'impatto delle infrastrutture di ricarica ("colonnine") dipende fortemente dal profilo di assorbimento dei veicoli. Come nel caso delle altre utenze, l'aggiunta di questo carico minimizza l'impatto sulla rete se esso presenta un profilo piatto o comunque complementare al carico esistente nella stessa rete. Inoltre, nel caso di forte penetrazione di generazione distribuita da fonti rinnovabili, gli impatti verrebbero minimizzati qualora il profilo di ricarica segua quello della generazione. A partire da queste semplici premesse possono essere spiegati gli impatti delle diverse tipologie di punti di ricarica sui vari componenti di rete.

Innanzitutto, i punti di ricarica vengono classificati in base alla tipologia di accesso (privati, pubblici), alla loro localizzazione (es. stazioni di servizio autostradali, supermercati) e alla potenza di ricarica; di conseguenza, ogni punto di ricarica ha caratteristiche differenti. In questo studio si analizzano fondamentalmente tre categorie di punti di ricarica, ritenuti maggiormente rappresentativi:

- punti di ricarica lenta (fino a 7.4 kW) privati per i veicoli che tornano all'abitazione, in paragrafo §2.1;
- punti di ricarica accelerata (fino a 22 kW) privati per i veicoli che arrivano sui luoghi di lavoro - §2.2;
- punti di ricarica rapida (fino a 50 kW, ultra-rapida se oltre 50 kW) ad accesso pubblico per gli spostamenti su lunga distanza - §2.3.

I primi due gruppi sono piuttosto simili tra loro, dato che prevedono una ricarica a potenza non elevata di un numero ragionevolmente noto di veicoli che arrivano in intervalli di tempo piuttosto definiti, e in entrambi i casi la IdR è normalmente sottesa un POD in prelievo che alimenta anche altri carichi.

Un altro aspetto da considerare è il *fabbisogno* medio di energia degli autoveicoli elettrici. Attualmente la percorrenza media annuale del parco circolante è di circa 11'000 km (ossia 30 km al giorno): assumendo un coefficiente conservativo di 0.2 kWh/km, il consumo di ogni veicolo è di circa 6 kWh al giorno. Per un punto di ricarica domestico da 3,7 kW questo corrisponde a un fattore di utilizzazione inferiore all'8%. Assumendo che in media l'energia assorbita dai veicoli elettrici sia distribuita lungo l'arco delle 24 h, la potenza media assorbita per veicolo varia tra i 250 e i 500 W: nella realtà la potenza di ricarica non è costante durante la giornata e di conseguenza possono esserci picchi più elevati specialmente a livello locale.

2.1 Punti di ricarica lenta privati (abitazioni)

Il processo di ricarica dei veicoli elettrici è stato descritto attraverso una metodologia basata su alcune assunzioni semplificative, che permettono di rappresentarne le caratteristiche fondamentali. L'arrivo dei veicoli presso i punti di ricarica è definito in modo casuale secondo la distribuzione di probabilità di Figura 2.1, che rappresenta la distribuzione di arrivo dei veicoli presso gli utenti domestici della provincia di Brescia [4], ottenuta elaborando le matrici Origine-Destinazione della regione Lombardia¹.

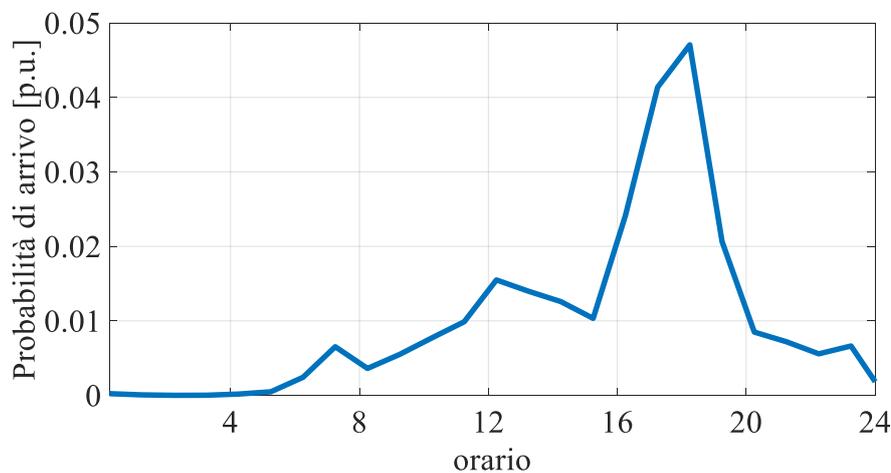


Figura 2.1 – probabilità di arrivo quartoraria dei veicoli elettrici presso i punti di ricarica domestici.

Per ipotesi ogni veicolo comincia il processo di ricarica appena arriva a destinazione, assorbendo alla potenza nominale fino a soddisfare il proprio fabbisogno, che è assunto essere di 6 kWh. I punti di ricarica ("wallbox") hanno una potenza nominale di 3,7 kW e ogni veicolo ha a disposizione un punto di ricarica.

Il profilo di assorbimento di un singolo veicolo elettrico è poco rappresentativo dell'impatto sulla rete di distribuzione, dato che i diversi componenti di rete (trasformatori AT/MT, linee MT, trasformatori MT/BT, linee BT) sottendono un numero variabile di veicoli elettrici in ricarica che può andare da qualche unità per le linee BT fino a diverse migliaia per i trasformatori AT/MT. Come spiegato nel seguito, il numero dei veicoli sottesi è un parametro importante per determinarne l'impatto sui componenti di rete.

Prima di affrontare questo argomento, si vuole mostrare come i parametri, quali il fabbisogno di energia e la potenza nominale, modifichino il profilo di assorbimento aggregato dei veicoli. Il profilo aggregato si ricava dalla somma dei contributi dei singoli veicoli, assumendo che un certo numero di EV arrivi a destinazione seguendo la curva di probabilità di Figura 2.1 e che ogni veicolo cominci a ricaricare a potenza nominale per soddisfare il proprio fabbisogno energetico.

¹ <https://www.dati.lombardia.it/Mobilit-e-trasporti/Matrice-OD2030-Passeggeri-file-compresso-per-downl/ntyn-ykjk>

Fabbisogno di energia

La prima analisi di sensitività ha riguardato il fabbisogno giornaliero di ricarica. Il valore di 6 kWh è un valore medio e il valore effettivo può essere superiore nel caso in cui non tutti i veicoli ricaricano ogni giorno: in questo caso, un solo processo di ricarica deve soddisfare il fabbisogno di più giornate.

Si considera la ricarica di 5000 EV, numero di autoveicoli che può essere sotteso a un trasformatore AT/MT, e nel primo scenario si assume che ogni veicolo si ricarichi ogni giorno per soddisfare il proprio fabbisogno di energia di 6 kWh presso un punto di ricarica da 3,7 kW. Nel secondo scenario si assume che solo la metà, cioè 2500 veicoli, possa ricaricarsi ogni giorno per un fabbisogno di energia doppio e così via, ottenendo i profili di Figura 2.2.

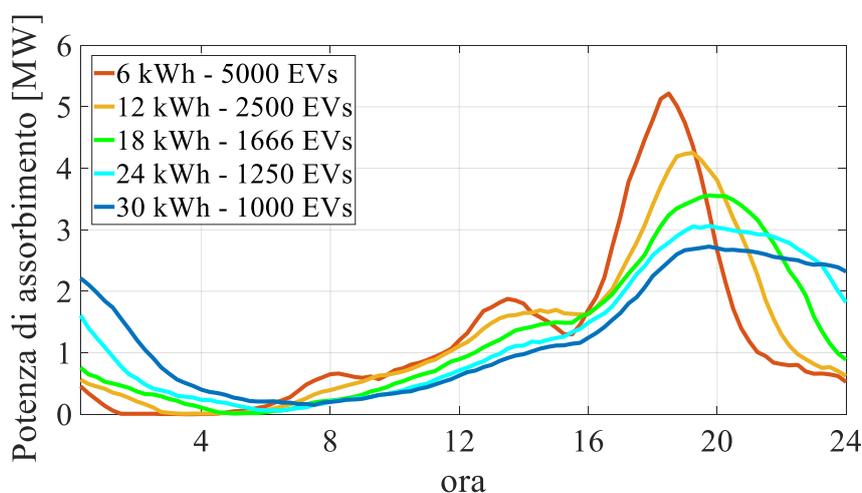


Figura 2.2 – profili di ricarica ottenuti variando il numero di veicoli elettrici e il fabbisogno di energia di ciascuno, a parità di fabbisogno energetico totale (potenza di ricarica pari a 3,7 kW).

Nel caso di fabbisogno energetico di 6 kWh il profilo di assorbimento è molto simile al profilo di probabilità di arrivo dei veicoli elettrici: il tempo di ricarica è inferiore a 1,5 ore, e di conseguenza, il ritardo tra l'arrivo del veicolo e il completamento del processo di ricarica è piuttosto breve. Le curve, inoltre, non presentano discontinuità particolari, dato che sono risultanti dalla somma di molti veicoli che ricaricano a basse potenze. Si osserva che al crescere del fabbisogno energetico il picco serale si allarga, dato che i veicoli impiegano un tempo maggiore per la ricarica, che perciò si distribuisce su un numero di ore maggiore. Naturalmente, se si fosse assunto costante il numero di veicoli elettrici in ricarica durante il giorno considerato, il picco non sarebbe stato solo più piatto ma si sarebbe anche alzato proporzionalmente. Per esempio, nel caso di fabbisogno di 24 kWh, il picco sarebbe risultato di circa 12 MW, cioè 4 volte maggiore. Nel grafico sopra riportato (riferito alla percorrenza media) si è mantenuto costante il fabbisogno totale e, cambiando le abitudini di ricarica, il picco, oltre ad appiattirsi, si abbassa.

Questi profili forniscono già alcune informazioni utili per studiare l'impatto dei veicoli sulla rete. Nel caso di veicoli che ricaricano ogni giorno al momento dell'arrivo all'abitazione, il picco di ricarica si sovrapporrebbe quasi completamente al picco del carico domestico, risultando particolarmente critico per la rete. In questi casi può risultare utile ritardare il processo di ricarica nelle ore notturne (come proposto nella sperimentazione² della ricarica in fascia F3) o ridurre la potenza di ricarica, o una combinazione delle due soluzioni, compatibilmente con le esigenze dell'utente.

² ARERA, Delibera 15 dicembre 2020 541/2020/R/eel <https://www.arera.it/it/docs/20/541-20.htm>

Potenza nominale delle prese

Un altro aspetto interessante è osservare come varia il profilo di ricarica in base alla potenza delle prese. Si considerano nuovamente 5000 veicoli elettrici per potenze di ricarica crescenti e fabbisogno di energia pari a 6 kWh (Figura 2.3).

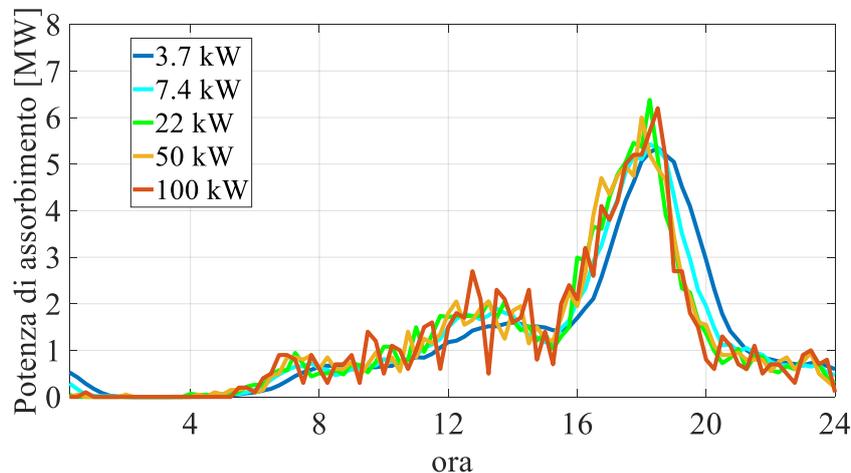


Figura 2.3 – profili di assorbimento ottenuti variando la potenza di ricarica per un fabbisogno energetico di 6 kWh.

All'aumentare della potenza delle prese il picco serale si restringe e si alza leggermente, mentre il profilo diventa progressivamente più irregolare. L'irregolarità del profilo è determinata unicamente da effetti statistici: più brevi sono le ricariche maggiore è l'influenza della casualità dell'istante di tempo di arrivo dei veicoli, mentre per ricariche più lunghe i profili si sovrappongono e si mediano maggiormente. Il picco serale si restringe, dato che con ricariche più rapide serve meno tempo per ricaricare i veicoli in arrivo e, di conseguenza, il profilo medio diventa più simile a quello di Figura 2.1. Nonostante queste differenze, i profili sono piuttosto simili e per un numero maggiore di veicoli elettrici i profili risulterebbero più regolari e più simili tra loro. Il fatto che i profili sono simili è dovuto al fatto che anche con potenze di 3,7 kW nell'ipotesi di percorrere 30 km/giorno la ricarica avviene in meno di 1,5 ore e il profilo di ricarica ricalca comunque abbastanza fedelmente la probabilità di arrivo dei veicoli elettrici.

Questo fornisce un'informazione interessante: **per bassi fabbisogni di energia i profili medi risultati in cabina primaria, ma anche sui feeder MT, sono relativamente indipendenti dal tipo di punto di ricarica. Questo significa che, dal punto di vista di questi elementi di rete, almeno in prima approssimazione la tipologia di punto di ricarica ha rilievo limitato, dato che il profilo totale è dato dalla media di diversi singoli profili. Ci sono comunque degli aspetti che porterebbero a privilegiare le ricariche lente: un profilo più regolare sollecita meno i componenti di rete e determina delle perdite inferiori.**

Delle differenze maggiori si osservano aumentando l'energia di ricarica, portandola per esempio al valore di 42 kWh, e mantenendo costante il numero totale di 5000 veicoli elettrici (Figura 2.4).

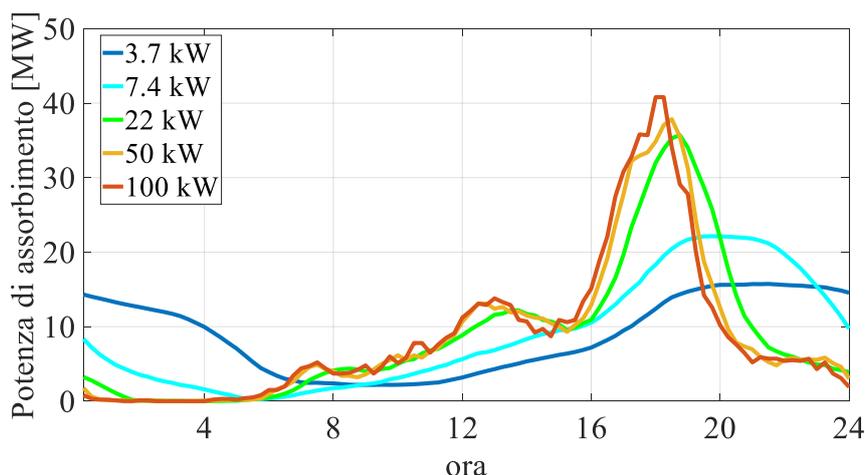


Figura 2.4 – profili di assorbimento ottenuti variando la potenza di ricarica per un fabbisogno energetico di 42 kWh (per 5000 veicoli).

In questo caso si apprezzano meglio le differenze tra le diverse potenze di ricarica, con il profilo che progressivamente si restringe e si alza al crescere della potenza di ricarica. **Questa figura mostra uno dei motivi per cui le ricariche lente determinano in generale un impatto minore sulla rete: per motivi puramente statistici tendono a distribuire la ricarica dei veicoli su periodi di tempo più lunghi. L'effetto è maggiormente visibile per energie elevate, altrimenti, come osservato nella Figura 2.3, l'effetto delle ricariche lente di distribuire l'energia su diverse ore è troppo ridotto per essere apprezzabile. L'effetto è mostrato per un numero di veicoli elettrici confrontabile a quello sotteso ai trasformatori AT/MT, ma un comportamento simile si registra anche per i perimetri di aggregazione più piccoli (es. linee MT e trasformatori MT/BT).**

Gli esempi riportati mostrano come alcuni parametri fondamentali (fabbisogno di energia, potenza di ricarica...) influenzano i profili di assorbimento. Il caso reale è più complesso e, solitamente, si osserva una media dei profili osservati, dato che i veicoli hanno diversi fabbisogni di energia e diverse potenze di ricarica; tuttavia, gli andamenti generali appena descritti sono sempre presenti.

Fattore di contemporaneità

Gli scenari analizzati nelle figure precedenti fanno riferimento a un elevato numero di veicoli elettrici: in questi casi il profilo totale è dato da una sovrapposizione casuale dei profili dei singoli veicoli che porta ad un profilo medio abbastanza regolare e costante per le diverse giornate (feriale, festivo). Questo è un comportamento analogo a quello dei normali utenti domestici, il cui profilo medio aggregato è abbastanza regolare e prevedibile, mentre quello dei singoli utenti è molto più variabile. Inoltre, il profilo aggregato, oltre che essere più regolare, presenta potenza massima inferiore rispetto alla somma dei picchi dei singoli utenti, dato che è poco probabile che tutti gli utenti raggiungano il picco nello stesso intervallo di tempo. Ad esempio, se 5000 veicoli ricaricassero a 3,7 kW la potenza complessiva sarebbe di 18.5 MW, mentre nei profili precedenti il picco è attorno a 5 MW (tranne nel caso "estremo" di Figura 2.4, in cui il picco è circa 15 MW dato che i tempi di ricarica sono così lunghi che una grossa parte dei veicoli ricarica contemporaneamente).

Per un numero inferiore di veicoli il comportamento cambia: il profilo è in proporzione più irregolare ed è più probabile che i veicoli ricarichino contemporaneamente. Per modellizzare questo comportamento è possibile utilizzare il fattore di contemporaneità, che qui definiamo come il rapporto tra il picco massimo di assorbimento dei veicoli e il picco massimo teorico se tutti assorbissero contemporaneamente. Questo parametro può perciò essere al massimo 1 se tutti i veicoli ricaricano contemporaneamente (il fattore è per definizione 1 se è presente un solo veicolo).

Il fattore di contemporaneità è utile per caratterizzare l'impatto che i veicoli elettrici hanno sui componenti di rete e individuare le possibili soluzioni per limitarlo. Il fattore di contemporaneità varia sensibilmente per i diversi componenti di rete (trasformatori AT/MT, linee MT, trasformatori MT/BT, linee BT), dato che sottendono un numero diverso di veicoli elettrici.

L'andamento del fattore di contemporaneità al variare del numero dei veicoli è mostrato in Figura 2.5, ottenuta simulando i profili di assorbimento delle ricariche domestiche con la stessa metodologia dei casi precedenti: i veicoli arrivano presso le prese domestiche in modo casuale secondo la distribuzione di probabilità di Figura 2.1 e si ricaricano appena arrivati con una potenza di 3,7 kW per soddisfare il fabbisogno giornaliero di 6 kWh. Per ogni caso, il profilo di assorbimento è stato ottenuto considerando una simulazione Montecarlo con 1000 repliche del processo, al fine di ottenere la distribuzione di probabilità dei valori del profilo di assorbimento, normalizzata rispetto alla potenza massima. Questa distribuzione è stata così calcolata per un numero crescente di veicoli elettrici.

Si può perciò osservare che fattori di contemporaneità elevati, cioè assorbimenti di potenza prossimi al massimo teorico, si ottengono solo nel caso di un numero di veicoli elettrici limitato; al crescere del numero di veicoli la distribuzione si abbassa, come si può meglio apprezzare nella Figura 2.6. Il limite superiore delle distribuzioni rappresenta il fattore di carico massimo che, dopo una decrescita rapida, si attesta su un valore circa costante. La forma della distribuzione dipende anche dai parametri di ricarica e dalla probabilità di arrivo: per esempio, la distribuzione si alza per fabbisogni energetici maggiori, dato che sarebbero necessari tempi di ricarica più lunghi e diventerebbe quindi più probabile l'assorbimento contemporaneo di un maggior numero di veicoli. Invece, distribuendo l'arrivo dei veicoli su più istanti temporali la distribuzione si abbasserebbe dato che sarebbe meno probabile che i veicoli assorbano contemporaneamente. La struttura generale è però abbastanza costante e **si nota una riduzione sostanziale del fattore di contemporaneità se i veicoli elettrici sono in numero superiori a qualche decina. La variazione nell'andamento del fattore di contemporaneità avviene, in pratica, in corrispondenza del passaggio tra il numero di veicoli sotteso alle linee BT e ai trasformatori MT/BT (che è appunto al massimo di qualche decina) e al numero sotteso alle linee MT e trasformatori AT/MT che può essere di diverse decine o centinaia di veicoli.**

Il progressivo calo del fattore di contemporaneità, nella parte iniziale della curva, permette di appiattire la forma del profilo di assorbimento e di contenere, in parte, la crescita della potenza massima; la riduzione non è comunque tale da compensare completamente la crescita lineare della potenza totale, che continua ad aumentare. Ad esempio, per 5 veicoli il fattore di contemporaneità massimo è pari a 1, determinando così una potenza massima di 18,5 kW. Per 30 veicoli il fattore di potenza massimo scende a circa 0,6, determinando una potenza massima di circa 67 kW. Nonostante il numero di veicoli aumenti di 6 volte, la potenza massima aumenta di circa 3,5 volte.

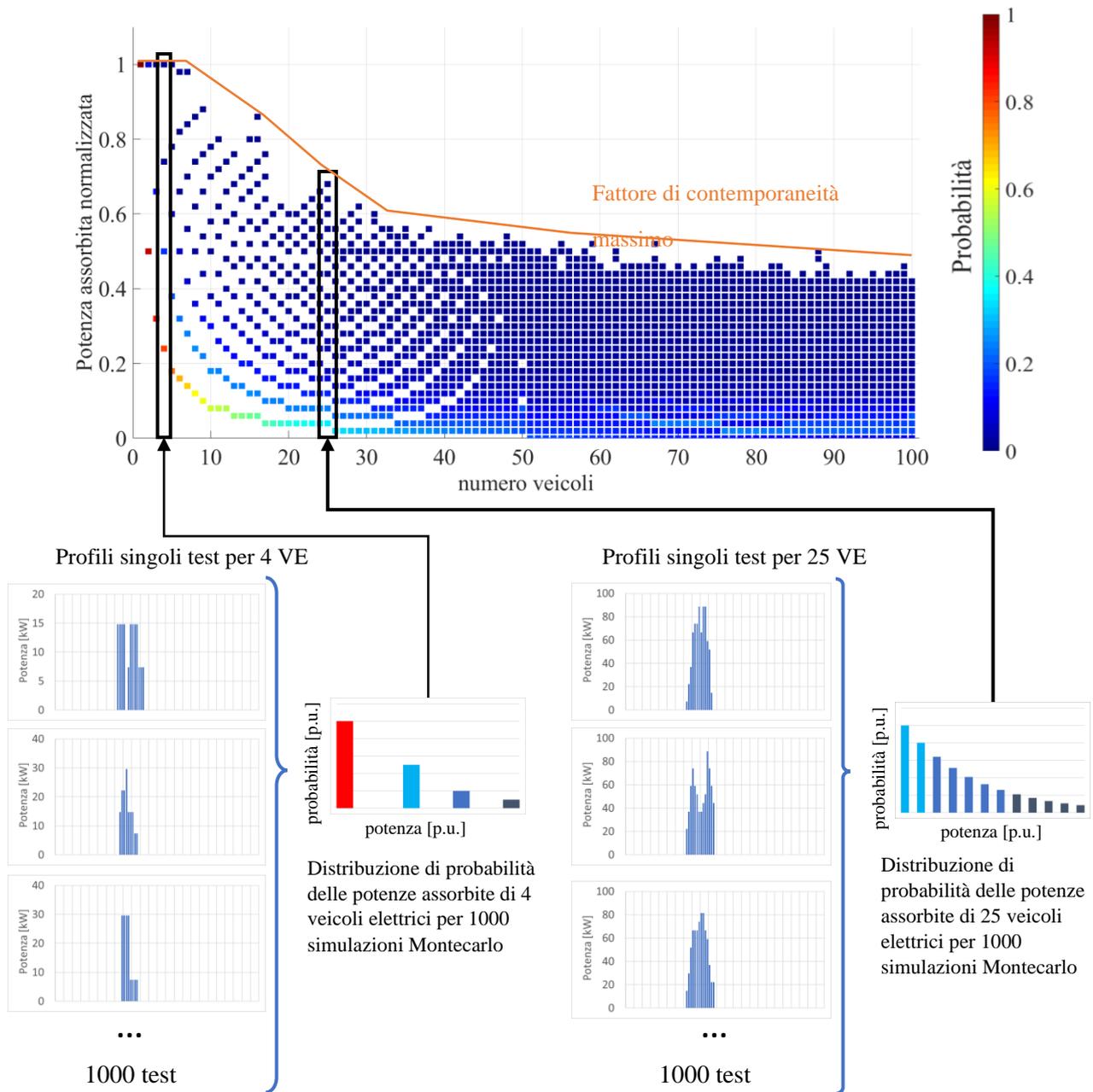


Figura 2.5 – distribuzione di probabilità dei valori dei profili di assorbimento dei veicoli elettrici presso punti di ricarica domestici, normalizzati rispetto alla potenza massima, all’aumentare del numero di veicoli elettrici. La potenza di ricarica di ogni veicolo è di 3,7 kW e il fabbisogno energetico è di 6 kWh. Come mostrato nella parte bassa della figura, ogni colonna del grafico rappresenta la distribuzione di probabilità di 1000 simulazioni Montecarlo del profilo di assorbimento di un numero di veicoli pari al valore dell’asse delle ascisse (escludendo dalla distribuzione i valori di potenza uguali a zero) scalato rispetto alla potenza massima assorbibile. Il colore di ogni quadratino rappresenta l’altezza di ogni singola distribuzione di probabilità, cioè la probabilità che per un dato numero di veicoli elettrici si abbia quel dato assorbimento di potenza, da un minimo di zero (blu) a un massimo di uno (rosso), come meglio evidente dalla Figura 2.6. Il valore più a destra delle singole distribuzioni (quindi il valore più in alto nel primo grafico) è il valore massimo di potenza che è stato registrato almeno una volta nelle 1000 simulazioni e rappresenta perciò il fattore di contemporaneità massimo. Il fattore di contemporaneità massimo è raggiunto raramente e per questo nella scala dei colori è sempre rappresentato in blu. Nel caso di un singolo veicolo elettrico, per definizione, la distribuzione di probabilità è sempre pari ad 1. Al crescere del numero dei veicoli elettrici la probabilità che assorbano contemporaneamente si riduce: questo determina un appiattimento della distribuzione di probabilità e in particolare della probabilità di assorbire la massima potenza possibile.

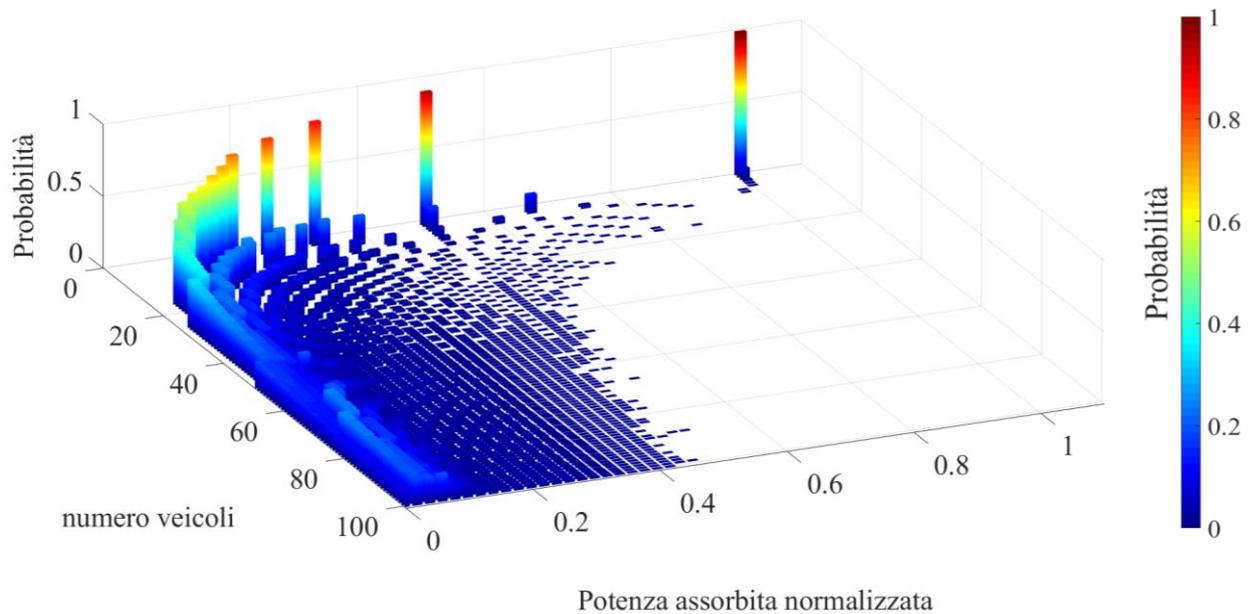


Figura 2.6 – Figura 2.5 ruotata per meglio apprezzare le distribuzioni dei singoli casi.

La forma della distribuzione del fattore di contemporaneità comporta diverse conseguenze dal punto di vista dell'impatto delle IdR sulla rete. La prima è che, come anticipato, **i componenti di rete a cui sono sottesi pochi veicoli elettrici (es. linee BT e trasformatori MT/BT) devono essere dimensionati considerando delle potenze medie assorbite dai veicoli più elevate. Allo stesso tempo, dato che il fattore di contemporaneità massimo è molto alto ma è raggiunto per brevi intervalli di tempo, adottare delle soluzioni di controllo che limitino i picchi di potenza può rappresentare una strategia efficace.** Questo effetto si osserva chiaramente in Figura 2.7, dove sono confrontate le distribuzioni nel caso di 5 e 5000 veicoli: nel caso di 5 veicoli, limitando la potenza di ricarica nel 5% del tempo è possibile abbassare il picco di carico massimo da 0,8 a 0,4. Nel caso di 5000 veicoli il fattore di carico massimo è più basso, grazie alle compensazioni statistiche, ma è anche più difficile abbassarlo ulteriormente: riducendo l'assorbimento nel 5% del tempo è possibile ridurre il picco massimo da 0.3 a circa 0.26.

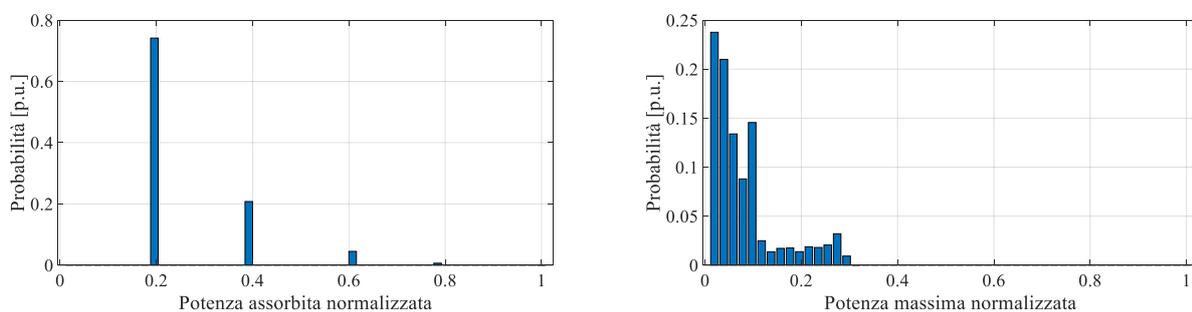


Figura 2.7 – sinistra: distribuzione dei valori del profilo di assorbimento nel caso di 5 veicoli elettrici. Destra: distribuzione dei valori del profilo di assorbimento nel caso di 5000 veicoli elettrici.

2.2 Punti di ricarica accelerata (luoghi di lavoro)

Il caso si riferisce a EV che ricaricano presso i luoghi di lavoro, escludendo le flotte aziendali che richiedono valutazioni specifiche in funzione del settore (logistica, veicoli per manutenzione impianti,..). Per questo caso

si assume nuovamente che il fabbisogno di energia sia di 6 kWh, che ogni punto di ricarica abbia una potenza di 7,4 kW, che ogni veicolo abbia a disposizione un punto di ricarica e che la probabilità di arrivo sia quella di Figura 2.8, ricavata sempre in [27]. Questo caso ha molti punti in comune al precedente: i veicoli elettrici arrivano in un intervallo di tempo relativamente breve e ben definito (la mattina) e si ricaricano presso colonnine di potenza limitata.

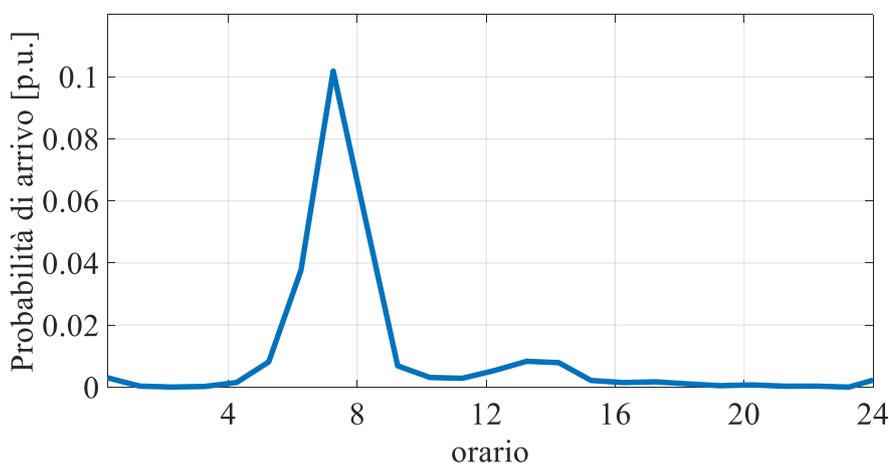


Figura 2.8 – probabilità quartoraria di arrivo dei veicoli elettrici presso i punti di ricarica sui luoghi di lavoro.

Sotto queste ipotesi si sono generati in modo casuale dei profili di assorbimento e se ne sono studiate le caratteristiche: per 5000 veicoli, il profilo di assorbimento totale ha la forma riportata in Figura 2.9, che è molto simile alla curva di arrivo dei veicoli di Figura 2.8. In questo caso il picco di ricarica dei veicoli è ancora più alto e stretto che nel caso delle ricariche domestiche, dato che i veicoli arrivano tutti entro un breve intervallo di tempo e ricaricano a potenze più elevate.

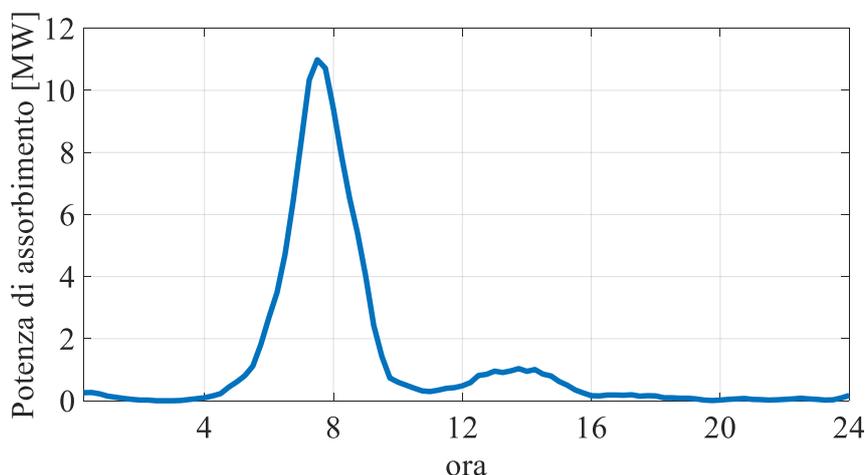


Figura 2.9 – profilo di assorbimento dei veicoli elettrici presso i punti di ricarica sui luoghi di lavoro. Si assume per ogni veicolo un fabbisogno di energia di 6 kWh e una potenza di ricarica di 7,4 kW.

Il fattore di contemporaneità, come visto nel caso delle ricariche domestiche, è fortemente dipendente dal numero di veicoli. In Figura 2.10 si riportano le distribuzioni di assorbimento normalizzate dei veicoli elettrici (solo per i valori diversi da zero) in funzione del loro numero, ottenute tramite migliaia di test. Ogni punto dell'asse delle ascisse rappresenta la distribuzione dei valori di assorbimento di 1000 differenti simulazioni; la figura è piuttosto simile a quella delle ricariche domestiche (Figura 2.5), per cui valgono le medesime osservazioni prime esposte.

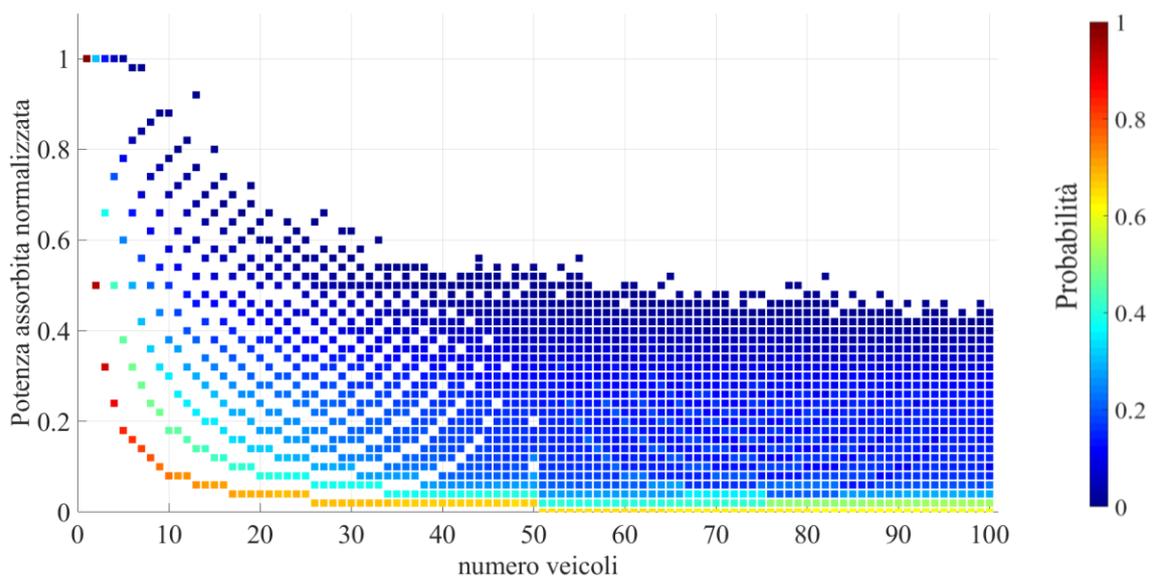


Figura 2.10 – distribuzione di probabilità dei valori dei profili di assorbimento dei veicoli elettrici presso punto di ricarica lavorativi, normalizzati rispetto alla potenza massima, all’aumentare del numero di veicoli elettrici nel caso di ricariche lavorative. Si assume per ogni veicolo un fabbisogno di energia di 6 kWh e una potenza di ricarica di 7,4 kW.

Nel caso dei punti presso il posto di lavoro è più facile coordinare il processo di ricarica dei veicoli elettrici, dato che la IdR è solitamente sotto il controllo di un singolo gestore. Inoltre, come nel caso delle ricariche domestiche, i veicoli rimangono in ricarica solitamente per tempi piuttosto lunghi ed è quindi possibile modularne la potenza senza causare disagi all’utente. Per esempio, nel seguente caso (Figura 2.11) si può osservare come ritardare la ricarica di un veicolo permetta di ottenere un profilo di assorbimento più uniforme e di minore potenza massima.

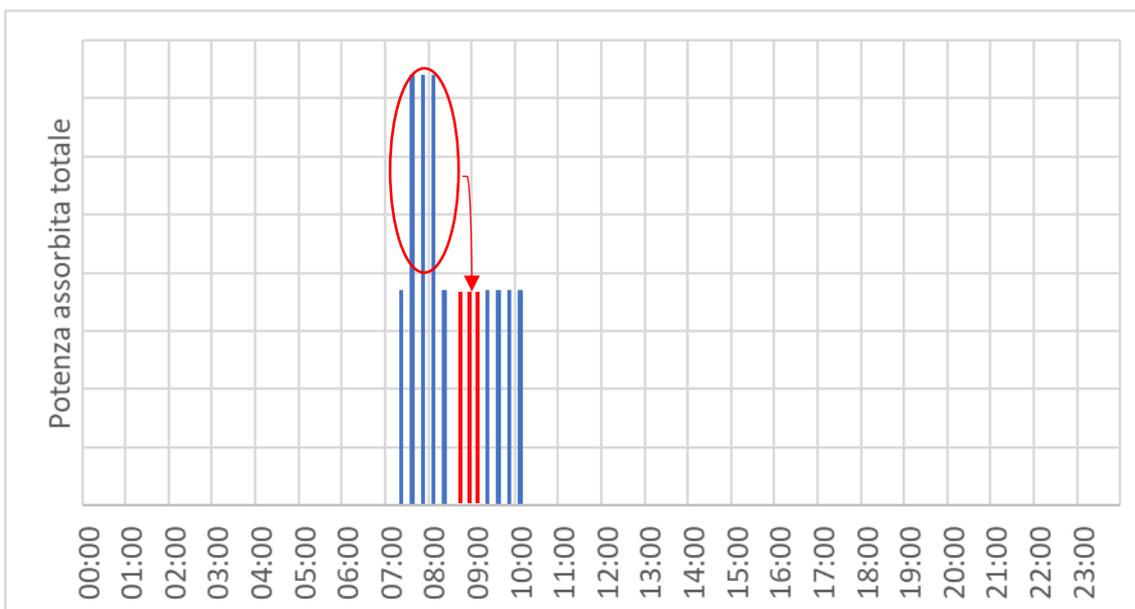


Figura 2.11 - la ricarica di un veicolo è ritardata in modo da abbassare il picco del profilo.

Oltre a soluzioni di controllo diretto, per migliorare l'utilizzo delle colonnine di ricarica è possibile ipotizzare che non tutti i veicoli si debbano ricaricare ogni giorno e che la ricarica avvenga a rotazione (in modo simile a quanto riportato in Figura 2.2). Si prende come esempio il caso in cui alla stazione di ricarica arrivano ogni giorno 20 veicoli e si assume di ricaricarli a rotazione (Figura 2.12). Sotto queste ipotesi si riduce il numero di prese necessarie, aumenta il fattore di utilizzazione e il profilo totale di assorbimento si riduce. Il profilo totale non scala con la stessa proporzione del numero di veicoli in ricarica perché, pur riducendosi il numero di veicoli in ricarica, aumenta la durata delle ricariche e di conseguenza il fattore di contemporaneità. Questi due effetti in parte si bilanciano e di conseguenza la riduzione del picco massimo risulta contenuta.

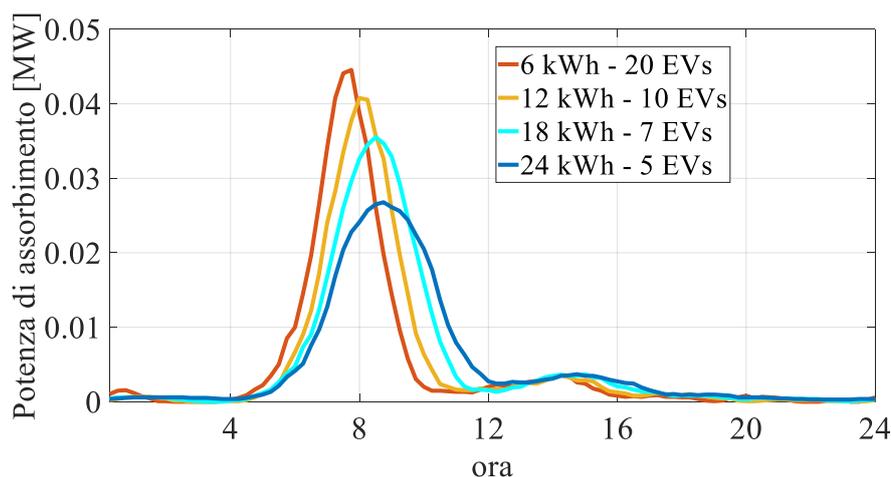


Figura 2.12 – profilo di assorbimento medio (calcolato come media di 100 singole simulazioni) di assorbimento dei veicoli presso i punti di ricarica lavorativi al variare dell'energia e del numero dei veicoli.

Un altro aspetto interessante è che, ritardando il processo di ricarica dei veicoli (in questo esempio di 4 ore), è possibile sovrapporre il prelievo della IdR al profilo di produzione di un impianto fotovoltaico (Figura 2.13).

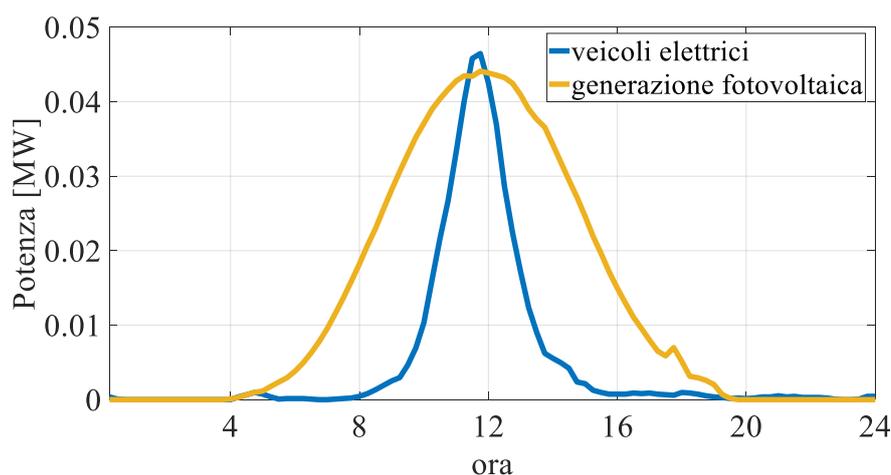


Figura 2.13 – profilo di assorbimento medio (calcolato come media di 100 singole simulazioni) di assorbimento di 20 veicoli presso i punti di ricarica lavorativi e di un generico impianto fotovoltaico.

2.3 Punti di ricarica veloce ad accesso pubblico

Analizzare il caso delle colonnine di ricarica rapida è particolarmente complesso perché i possibili scenari sono estremamente numerosi, a causa dell'alta variabilità di numerosi parametri quali la potenza nominale

delle prese, il numero delle prese, il numero di veicoli elettrici serviti, la probabilità di arrivo dei veicoli elettrici, il fabbisogno di energia dei veicoli elettrici e la loro potenza massima di assorbimento. Per condurre delle valutazioni puntuali sarebbe perciò necessario analizzare ogni singolo caso con delle opportune assunzioni; per questo motivo si sottolineano solo alcune caratteristiche comuni a tutte le stazioni di ricarica rapida.

Il primo aspetto rilevante è che nel caso delle ricariche rapide è molto più difficile modulare la potenza di ricarica dei veicoli elettrici: il tempo di ricarica è una componente fondamentale del servizio stesso. Il secondo è che il fattore di contemporaneità decresce molto rapidamente al crescere del numero dei veicoli serviti; questo si può osservare per un caso particolare, che è però rappresentativo del comportamento generale. Si assume una stazione di ricarica che serve giornalmente un numero crescente di veicoli elettrici e, per ipotesi, l'infrastruttura ha un numero sufficiente di punti di ricarica da poter servire tutti i veicoli in arrivo. Si assume che i punti di ricarica abbiano una potenza nominale da 100 kW ciascuno e che il fabbisogno di energia dei veicoli sia di 42 kWh. La probabilità di arrivo è riportata in Figura 2.14 ed è stata ricavata considerando i viaggi occasionali nelle matrici Origine Destinazione di Regione Lombardia.

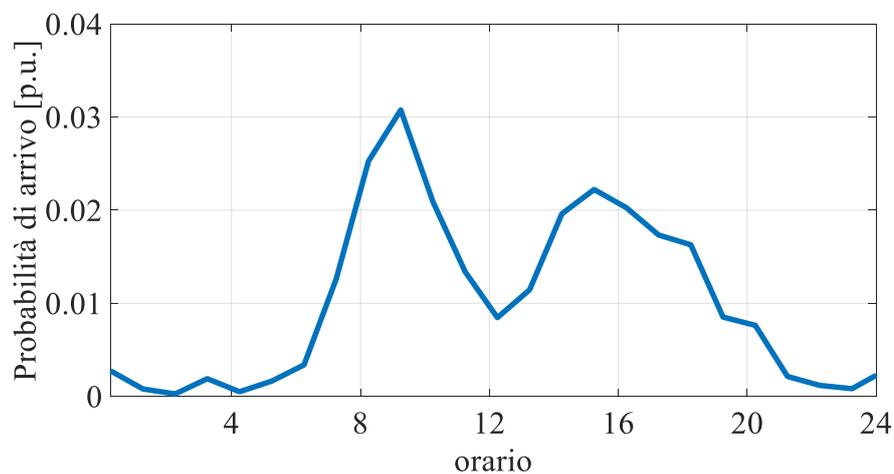


Figura 2.14 – probabilità di arrivo quartoraria dei veicoli elettrici presso i punti di ricarica pubblici.

Sotto queste ipotesi il fattore di contemporaneità, all'aumentare del numero dei veicoli serviti, risulta quello di Figura 2.15.

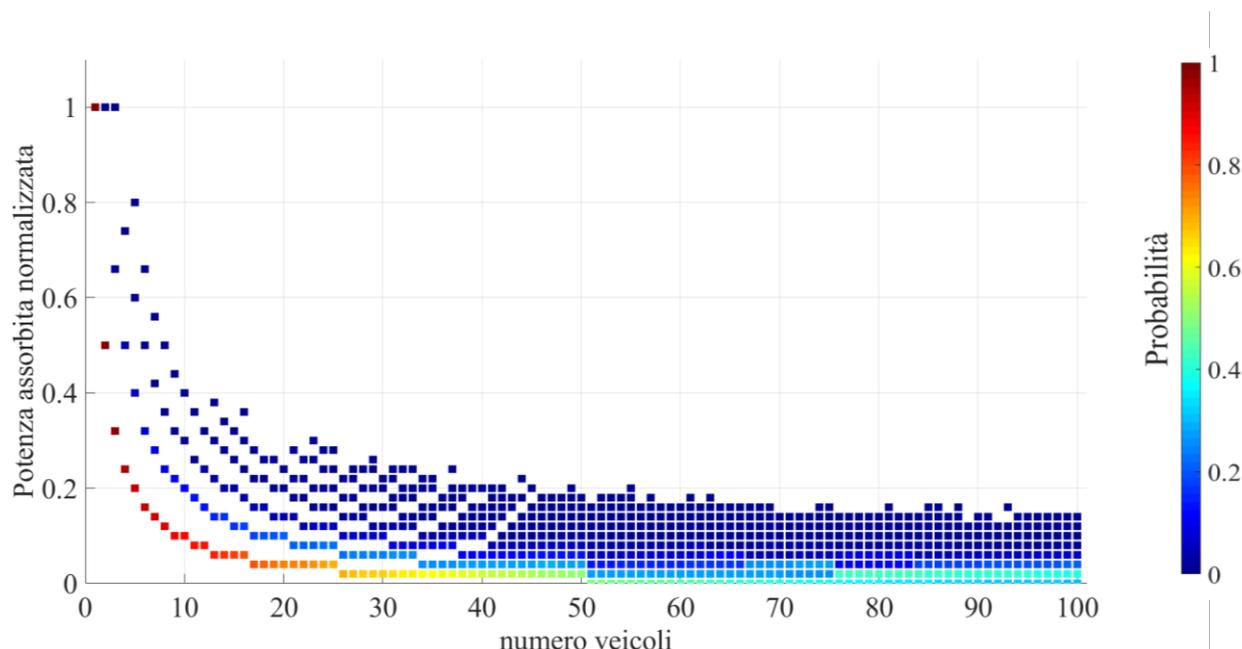


Figura 2.15 – distribuzione di probabilità dei valori dei profili di assorbimento dei veicoli elettrici presso punto di ricarica pubblici, normalizzati rispetto alla potenza massima, all’aumentare del numero di veicoli elettrici (vedere Figura 2.5 per la spiegazione della figura). Si assume per ogni veicolo un fabbisogno di energia di 42 kWh e una potenza di ricarica di 100 kW.

Il fattore di contemporaneità si riduce fortemente al crescere del numero di veicoli elettrici: con tempi di ricarica brevi, è poco probabile che i profili di assorbimento di diversi veicoli si sovrappongano. Inoltre, per ipotesi, i tempi di arrivo dei veicoli sono maggiormente distribuiti nell’arco della giornata rispetto alle ricariche domestiche o lavorative. Questa riduzione si osservava anche nel caso delle ricariche lente (Figura 2.5) ma nel caso delle ricariche rapide la riduzione è molto più marcata e la pendenza è tanto più ripida tanto è maggiore la potenza di ricarica. In particolare, nel caso delle ricariche rapide la potenza massima normalizzata scende sotto il valore di 0,2, mentre nel caso delle ricariche lente si attesta a circa 0,5. Questo significa che i punti di ricarica rapida hanno un impatto maggiore soprattutto sui componenti di rete che sottendono pochi punti di ricarica, mentre sui perimetri più ampi l’impatto diventa più simile a quello dei punti di ricarica a minore potenza nominale.

Bisogna comunque osservare che questo andamento è stato ottenuto nell’ipotesi che ci siano abbastanza punti di ricarica per servire tutti i veicoli: nel caso reale il numero di veicoli potrebbe essere maggiore rispetto ai punti di ricarica e alcuni veicoli dovrebbero restare in attesa del proprio turno. Questo modifica il profilo di assorbimento della stazione e la potenza massima potrebbe essere mantenuta per tempi elevati. Un’ultima importante nota riguardo alla potenza massima: non tutti i veicoli potrebbero essere in grado di sfruttare la potenza nominale del punto di ricarica, abbassando la probabilità che si raggiunga la potenza massima.

Fattore di utilizzazione

Il fattore di utilizzazione dei punti di ricarica rapida è un parametro interessante da investigare: i punti di ricarica domestici, e generalmente quelli lavorativi, hanno lo svantaggio di servire tendenzialmente un solo veicolo elettrico, determinando un fattore di utilizzazione ridotto. I punti di ricarica rapida pubblici hanno invece il potenziale vantaggio di poter servire numerosi veicoli elettrici, cosa che ne aumenta il fattore di utilizzazione. Un limite all’aumento del fattore di utilizzazione è però dato dal fatto che i veicoli elettrici rischiano di trovare tutti i punti di ricarica già occupati: i veicoli in arrivo potrebbero perciò dover attendere

che un punto di ricarica diventi libero oppure andare a cercare un'altra stazione di ricarica. Quest'ultimo caso limita il fattore di utilizzazione, dato che riduce il numero di veicoli serviti.

Per modellizzare questo comportamento, si sono ripetute le simulazioni precedenti per una stazione con due punti di ricarica e aumentando progressivamente il numero di veicoli elettrici in arrivo. Si assume che se un veicolo arriva quando le prese sono occupate non si ferma ad attendere, ma va in ricerca di un'altra stazione di ricarica libera e viene registrato come veicolo non servito. Le simulazioni sono state per diversi tempi di ricarica dei veicoli elettrici, non considerando il fabbisogno energetico e la potenza nominale. In Figura 2.16 si riporta la percentuale di veicoli non serviti in funzione del fattore di utilizzazione del punto di ricarica: si può osservare che la relazione è all'incirca lineare per fattori di utilizzazione superiori al 20% e abbastanza indipendente dal tempo di ricarica. L'andamento è dovuto, sostanzialmente, al fatto che tempi di ricarica brevi permettono la ricarica di più veicoli, ciascuno dei quali occupa per poco tempo il punto di ricarica. All'opposto, tempi di ricarica lunghi permettono la ricarica di meno veicoli che occupano però il punto di ricarica per più tempo. Dalla figura si osserva chiaramente che ad alti fattori di utilizzazione corrisponde un'elevata porzione di veicoli non serviti, condizione che non è auspicabile che avvenga nelle condizioni reali perché causerebbe un disagio elevato ai fruitori del servizio.

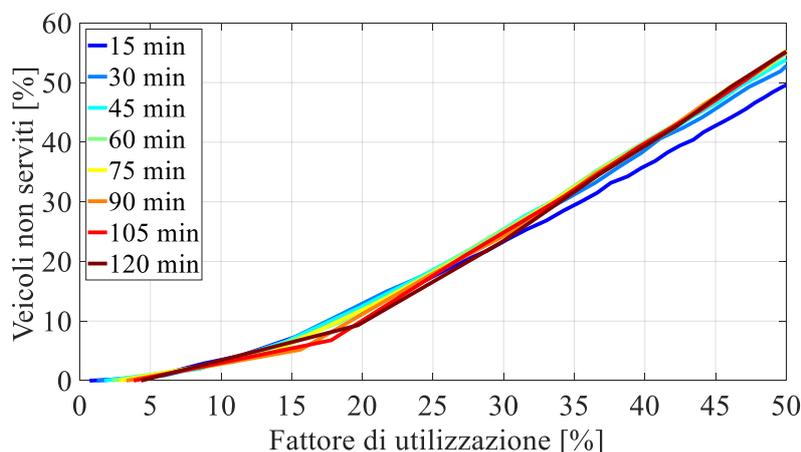


Figura 2.16 – percentuale di veicoli non serviti in funzione del fattore di utilizzazione nel caso di stazione con due punti di ricarica, per differenti tempi di ricarica.

Un modo per ridurre il numero di veicoli non serviti è ovviamente quello di aumentare il numero di punti di ricarica della stazione, così da aumentare la probabilità che almeno una presa sia disponibile all'arrivo dei veicoli. Nella figura seguente si può osservare che con 6 punti di ricarica si possono raggiungere fattori di utilizzazione del 20% (riferiti in questo caso all'insieme dei punti di ricarica) senza determinare disagi eccessivi per i veicoli in arrivo.

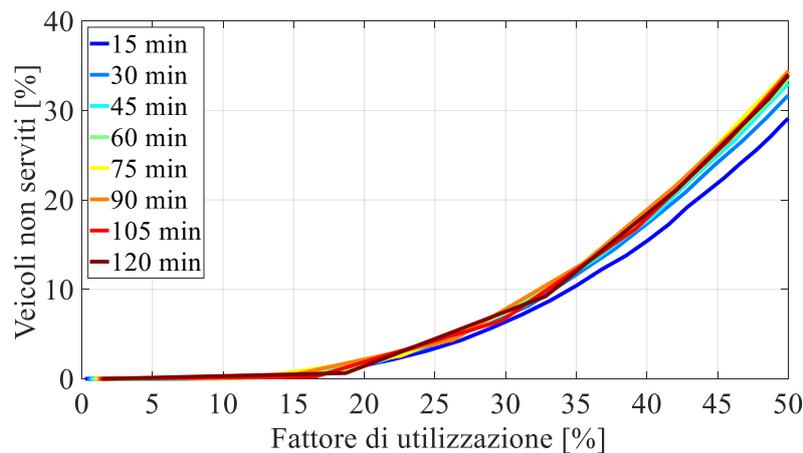


Figura 2.17 – percentuale di veicoli non serviti in funzione del fattore di utilizzazione nel caso di 6 punti di ricarica per differenti tempi di ricarica.

Per meglio evidenziare l'influenza del numero di prese sulla relazione tra fattore di utilizzazione e veicoli non serviti, nella Figura 2.18 si riporta l'andamento del numero di veicoli non serviti in funzione del fattore di utilizzazione per un tempo di ricarica di 30 minuti al variare del numero delle prese. Si osserva chiaramente che, come atteso, all'aumentare delle prese si riducono i veicoli non serviti a parità di fattore di utilizzazione.

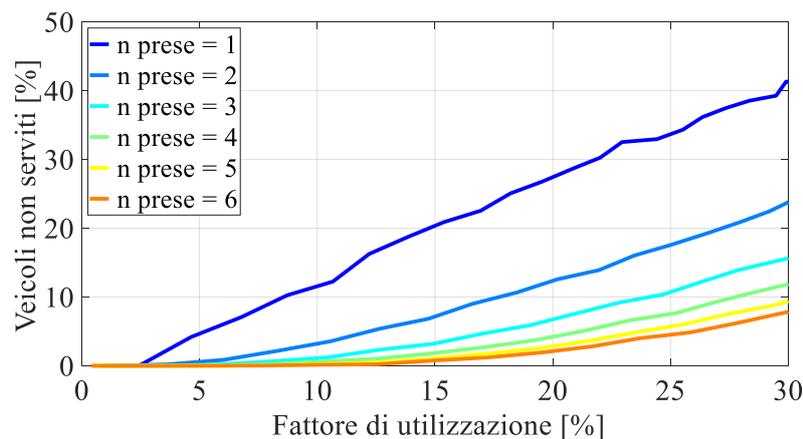


Figura 2.18 – percentuale di veicoli non serviti in funzione del fattore di utilizzazione al variare del numero delle prese e per un tempo di ricarica di 30 minuti.

Le relazioni osservate dipendono naturalmente anche da altri fattori, quale la probabilità di arrivo dei veicoli (se i veicoli arrivano tutti in un breve intervallo di tempo è maggiore la probabilità che tutti i punti di ricarica siano occupati), ma dimostrano che **in genere il fattore di utilizzazione dei punti di ricarica non può essere elevato a piacere a meno di determinare disagi legati ai tempi di attesa.**

Il problema può essere affrontato in diversi modi: ottimizzando la posizione delle stazioni di ricarica e coordinando l'arrivo dei veicoli tra le diverse IdR (es. tramite *app* per la visualizzazione e la prenotazione delle postazioni libere). Un altro aspetto importante, anche in questo caso, è la potenza di ricarica massima effettiva dei veicoli elettrici: se i punti di ricarica sono da 100 kW ma la potenza massima assorbita dai veicoli è 50 kW, di fatto il fattore di utilizzazione della stazione è dimezzato, dato che solo metà della potenza nominale è sfruttata.

Le analisi di questo paragrafo mostrano che la modellizzazione delle stazioni di ricarica pubbliche è molto complessa, a causa della variabilità dei parametri e della mancanza di dati significativi su casi reali

rappresentativi del loro comportamento futuro. Questo rende molto difficile definire dei criteri generali per dimensionare i punti di ricarica (potenza e numero) ed eventuali soluzioni, come la taglia dei sistemi di accumulo.

3 CASO STUDIO

Le caratteristiche dei profili di assorbimento presentate in capitolo §2 sono fondamentali per comprendere l'impatto delle infrastrutture di ricarica sulla rete elettrica di distribuzione.

Nel seguito si farà riferimento a un particolare caso studio condotto sulla rete di distribuzione di Brescia servita da Unareti [4], per la quale il Distributore ha messo a disposizione i dati per condurre le analisi. La rete di distribuzione considerata nel caso studio non serve solo la città di Brescia, ma anche circa 50 comuni dell'Alto Garda, permettendo così di studiare reti che servono territori con caratteristiche differenti (es. per densità di carico). La rete consiste di 40 trasformatori AT/MT, per una potenza totale di circa 1250 MVA, 1860 km di linee in media tensione e serve circa 220'000 utenti. La rete è stata studiata determinando l'impatto dei veicoli elettrici sotto diverse ipotesi di scenario; in questo documento si riportano solo le principali conclusioni, le analisi di dettaglio su diversi aspetti del problema (es. distribuzione delle infrastrutture di ricarica sul territorio, impatto congiunto con le pompe di calore...) sono riportati in [4] e nei rapporti degli anni precedenti. Lo scopo delle analisi qui descritte non è solo quello di stimare, almeno in modo approssimativo, il numero di componenti che potrebbero presentare criticità, ma soprattutto di determinare le differenze degli impatti tra le diverse tipologie di ricarica.

Confronto punti di ricarica lenta-rapida

Per confrontare l'impatto di diverse tipologie di punti di ricarica sono stati investigati 4 scenari, per penetrazioni crescenti dei veicoli elettrici:

1. Base: scenario di riferimento, i veicoli sono serviti sia da punti di ricarica pubblici da 50 kW e lavorativi da 7.4 kW, sia da punti di ricarica domestici da 3.7 kW. Il numero dei veicoli in arrivo è determinato tramite le matrici Origine Destinazione di regione Lombardia. I punti di ricarica pubblici sono localizzati in corrispondenza dei parcheggi ad accesso pubblico, i punti di ricarica lavorativi presso le utenze non domestiche e i punti di ricarica domestici presso le utenze domestiche.
2. Fast Only: come lo scenario Base, ma si considera solo il contributo dei punti di ricarica pubblici e lavorativi.
3. Slow Only: come lo scenario Base, ma si considera solo il contributo punti di ricarica domestici.
4. Slow Shifted: come lo scenario Base, ma si considera solo il contributo punti di ricarica domestici con un profilo di ricarica ritardato di 4 ore.

I profili complessivi nei 4 scenari per una penetrazione dei veicoli elettrici del 25% del parco circolante è riportata in Figura 3.1. Nello scenario considerato il contributo dei punti di ricarica domestici determina il picco maggiore la sera, mentre le infrastrutture pubbliche determinano un picco, meno alto, la mattina.

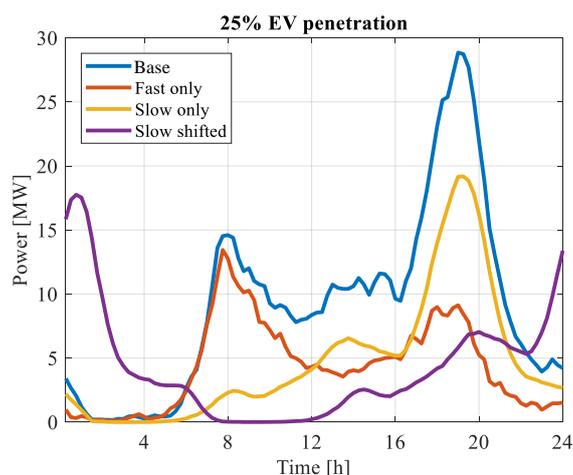


Figura 3.1 – profilo totale di assorbimento dei veicoli elettrici nei 4 scenari per una penetrazione di EV del 25% del parco circolante.

Le reti sono simulate tramite degli algoritmi di Power Flow nei 4 scenari per penetrazioni crescenti di veicoli elettrici in una giornata particolarmente critica per la rete. In questo modo è stato determinato il numero dei componenti di rete che superano alcune soglie di corrente significative. Questi risultati sono ottenuti senza applicare alcuna soluzione di pianificazione, ma solo aggiungendo i profili di assorbimento dei veicoli al profilo degli utenti esistenti.

Per prima cosa si è analizzato l’impatto sui *trasformatori AT/MT*, in particolare si è valutato il numero di trasformatori nei quali, rispetto al caso senza veicoli elettrici, la corrente supera la soglia del 60% della portata nominale (Figura 3.2).

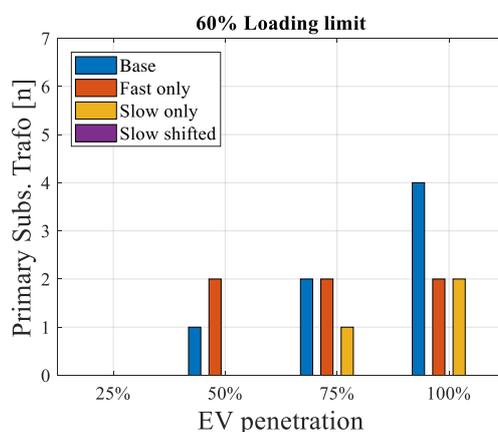


Figura 3.2 – Numero di trasformatori AT/MT in cui le potenze superano le soglie del 60% e del 80% della portata nominale negli scenari considerati, per penetrazioni crescenti dei veicoli elettrici.

Nonostante alcune piccole variazioni, non si osservano differenze marcate tra i vari scenari anche perché il fattore di carico dipende dal profilo base che può essere influenzato da utenze significative (es. impianti industriali o generatori) direttamente connessi alla cabina primaria. Per perimetri di aggregazione così ampi quello che conta è il picco massimo di assorbimento complessivo dei veicoli, che è abbastanza simile per i punti di ricarica rapida e lenta. Significativo è osservare che ritardando il profilo di ricarica degli utenti domestici è possibile limitarne l’impatto (come proposto dalla citata sperimentazione di ricarica in fascia F3).

Si riporta la lunghezza delle *linee MT* nelle quali, rispetto al caso senza veicoli elettrici, la corrente supera le soglie del 60% e dell'80% della portata nominale (Figura 3.3).

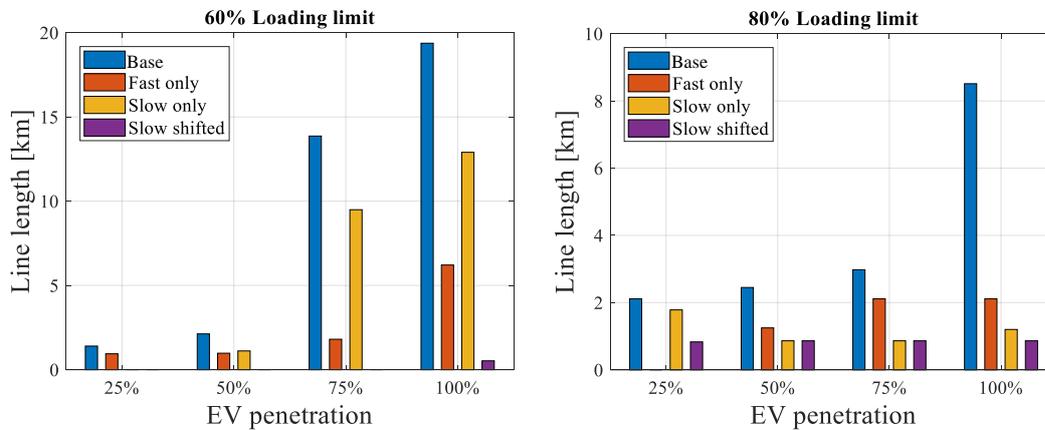


Figura 3.3 – Lunghezza di linee MT in cui le correnti superano le soglie del 60% e del 80% negli scenari considerati, per penetrazioni crescenti dei veicoli elettrici.

Generalmente l'impatto maggiore è determinato dalle ricariche domestiche, soprattutto per la soglia del 60%; anche in questo caso, ritardando la ricarica delle *wallbox* domestiche se ne limita sensibilmente l'impatto sulla rete. Per la soglia dell'80% il comportamento è più complesso, dato che spesso le violazioni dipendono dalle condizioni iniziali delle linee che possono essere già prossime alla soglia limite. In generale, i punti di ricarica rapida sono quelli che localmente possono determinare dei picchi di maggiore entità, se diversi punti di ricarica sono connessi in nodi vicini.

Infine, si riporta il numero dei *trasformatori MT/BT* in cui, rispetto al caso senza veicoli elettrici, la corrente supera le soglie del 60% e dell'80% (Figura 3.4).

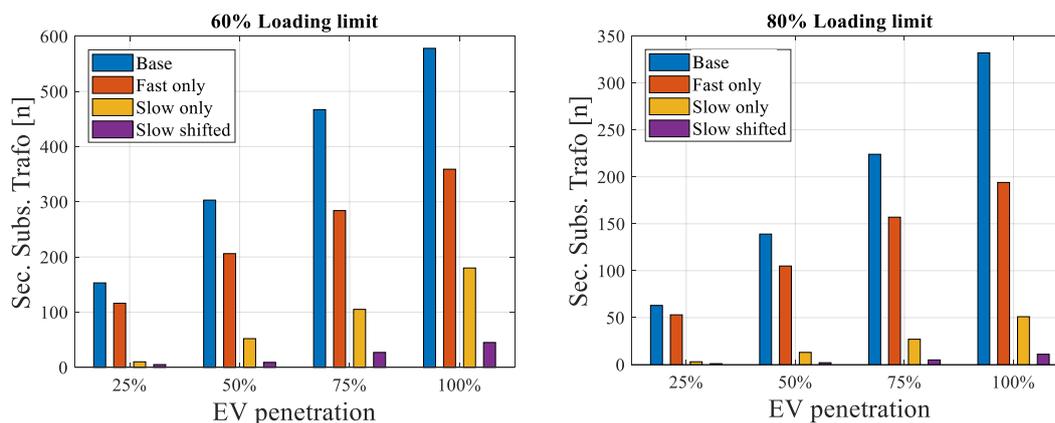


Figura 3.4 – Numero di trasformatori MT/BT in cui le correnti superano le soglie del 60% e del 80% negli scenari considerati, per penetrazioni crescenti dei veicoli elettrici.

Per i trasformatori MT/BT l'impatto maggiore è determinato dai punti di ricarica rapida, mentre i punti di ricarica domestiche determinano un impatto limitato, che è quasi eliminato posticipando la ricarica. In questo caso, come mostrato nella sezione iniziale, il fattore di contemporaneità dei punti di ricarica rapida è molto

elevato per perimetri di aggregazione così ristretti, determinando un impatto maggiore rispetto ai punti di ricarica lenta a causa dell'elevata potenza nominale delle prese.

Per le *linee BT* valgono le stesse considerazioni condotte per i trasformatori MT/BT, anche se spesso la potenza elevata dei punti di ricarica rapida richiede una connessione diretta alla cabina secondaria o alla media tensione e, di conseguenza, non impattano sulle linee BT esistenti ma richiedono la posa di nuove linee (caso non investigato nelle analisi qui riportate).

Impatto delle potenze nominali dei punti di ricarica rapida

Le analisi precedenti si sono focalizzate sulle differenze tra punti di ricarica rapida-pubblici e quelli lenti-domestici, nel seguito si approfondirà brevemente lo studio dei punti di ricarica rapida. Si sono considerati 3 scenari: lo scenario Base uguale al caso precedente, un secondo scenario (Base - 2E) nel quale si è raddoppiato il fabbisogno dei veicoli elettrici, e un terzo scenario (Base - 22 kW) nel quale i punti di ricarica rapida da 50 kW sono sostituiti da punti di ricarica accelerata da 22 kW. I profili di assorbimento totali per una diffusione dei veicoli elettrici del 25% sono riportati in Figura 3.5.

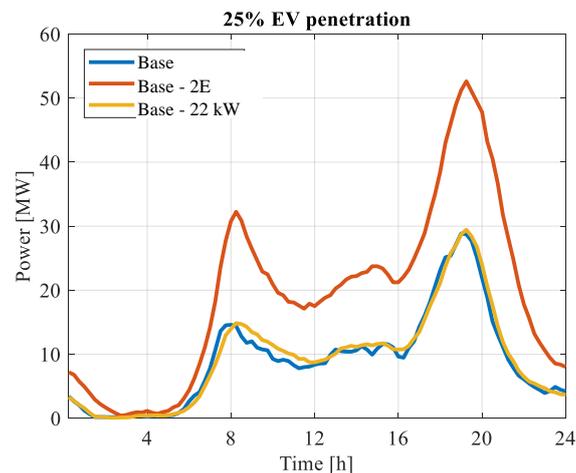


Figura 3.5 – profilo totale di assorbimento dei veicoli elettrici nei 3 scenari per una penetrazione del 25% rispetto al parco circolante.

Si osserva che raddoppiando il fabbisogno di energia il valore del picco mattutino aumenta di 2 volte, mentre quello serale si alza di un fattore pari a circa 1.7. L'aumento del profilo è determinato da un aumento del fattore di contemporaneità, aumento maggiore nel picco mattutino dovuto alle ricariche rapide (che presentano fattori di contemporaneità inferiori rispetto ai punti di ricarica lenta e che quindi hanno margini più ampi di aumento). Lo scenario ottenuto riducendo la potenza nominale delle colonnine pubbliche ha un profilo praticamente coincidente con quello base: come osservato in Figura 2.3 la potenza di ricarica su ampi perimetri di aggregazione ha un impatto ridotto sul profilo di assorbimento.

L'impatto sulle linee MT è riportato in Figura 3.6.

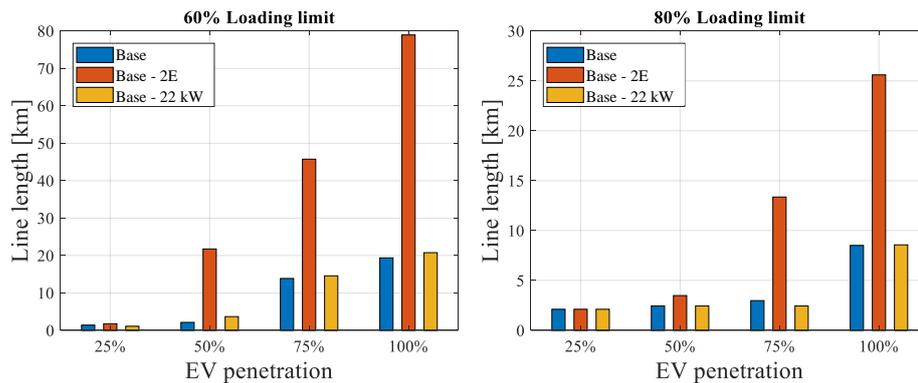


Figura 3.6 – Lunghezza di linee MT in cui le correnti superano le soglie del 60% e del 80% della portata nominale, per penetrazioni crescenti dei veicoli elettrici.

Si osserva che nel primo (base) e nel terzo scenario (Base-22 kW) la lunghezza delle linee più critiche è la stessa: la potenza di ricarica su ampi perimetri di aggregazione non ha effetti particolari. Nello scenario con un'energia doppia, invece, gli impatti sono maggiori dato che i picchi di assorbimento sono più alti. Questa differenza è comunque evidente solo per alte diffusioni di veicoli elettrici: le linee MT sono solitamente abbastanza robuste e le possibili violazioni dipendono molto anche dalle condizioni iniziali di funzionamento.

L'impatto sui trasformatori MT/BT è riportato in Figura 3.7.

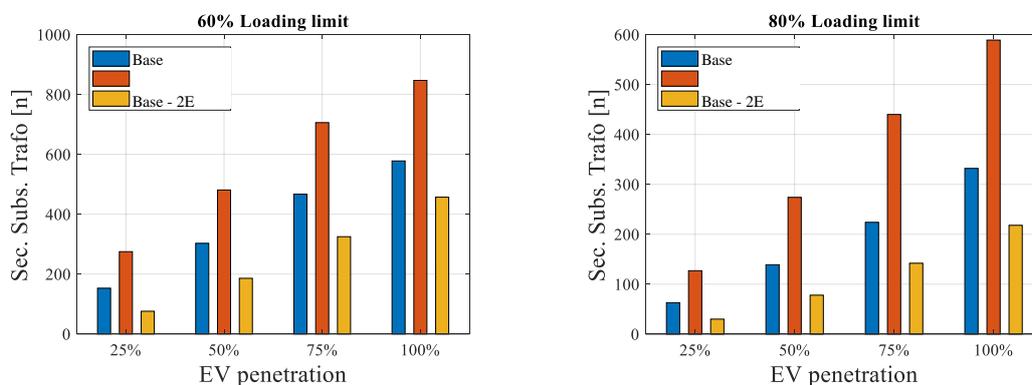


Figura 3.7 – Numero di trasformatori MT/BT in cui le correnti superano le soglie del 60% e del 80% negli scenari considerati, per penetrazioni crescenti dei veicoli elettrici.

In questo caso l'impatto dei diversi scenari è differente rispetto alle linee MT. Nel terzo scenario (Base – 22 kW), riducendosi la potenza di ricarica l'impatto si riduce sensibilmente. Invece, nel secondo scenario (BASE - 2E) l'impatto è maggiore ma non particolarmente più alto, cosa che si può osservare meglio studiando l'impatto unitario, ossia il numero di elementi che superano le due soglie per ogni MW di picco di potenza (Figura 3.8): nella maggior parte dei casi è maggiore nel caso base.

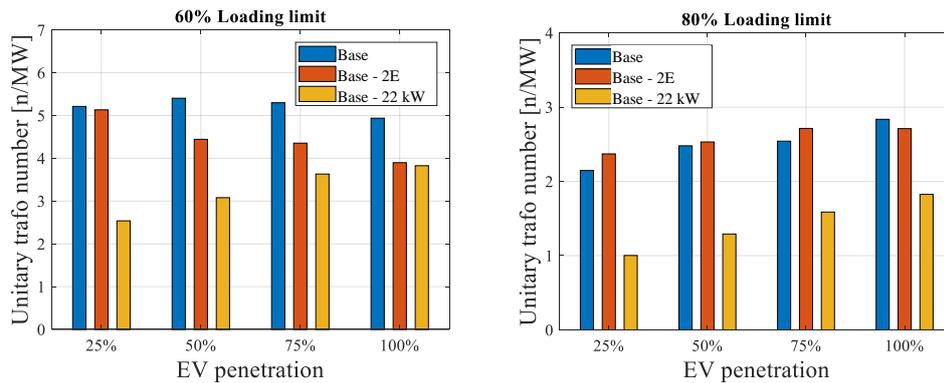


Figura 3.8 – variazione unitaria [n/MW] del numero di trasformatori MT/BT in cui le correnti superano le soglie del 60% e del 80% negli scenari considerati, per penetrazioni crescenti dei veicoli elettrici.

Il comportamento è dovuto al fatto che a livello di cabina secondaria è particolarmente importante la potenza dei singoli punti di ricarica, dato che il fattore di contemporaneità è sempre elevato anche per alte potenze nominali (Figura 2.15). Se il trasformatore è già prossimo alle soglie di carico considerate, due punti di ricarica da 50 kW possono essere sufficienti a superarle, anche se l'assorbimento massimo viene raggiunto per brevi intervalli di tempo. Invece, per le linee MT diventa significativo l'assorbimento di molteplici veicoli, di conseguenza diventano nuovamente importanti elevati fattori di contemporaneità (derivanti da un fabbisogno maggiore dei veicoli, per esempio).

Riducendo la potenza di ricarica l'impatto sui trasformatori MT/BT, come atteso, si riduce sensibilmente: ritornando all'esempio precedente, i due punti di ricarica assorbono una potenza totale inferiore e quindi l'impatto sul trasformatore MT/BT è inferiore, anche se questa potenza massima viene mantenuta per intervalli di tempo più lunghi (abbassando le potenze si allungano i tempi di ricarica). Invece, per le linee, tempi di ricarica maggiori determinano fattori di contemporaneità maggiori, che alzano il picco di assorbimento. Questo ragionamento vale, a maggiore ragione, anche per le linee BT, che hanno perimetri di aggregazione ancora più ristretti, come dimostrato in Figura 3.9.

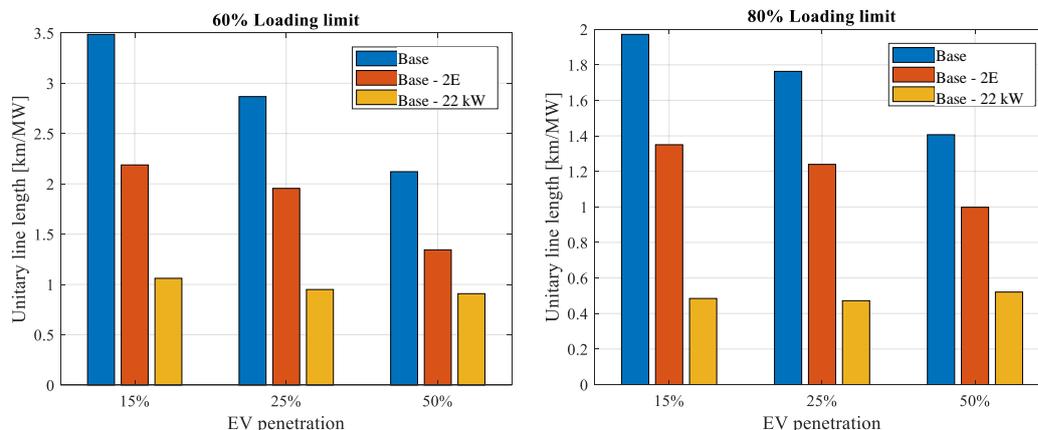


Figura 3.9 – Lunghezza di linee BT in cui la corrente supera i limiti di riferimento per ogni MW di variazione totale del profilo di assorbimento negli scenari considerati, per penetrazioni crescenti dei veicoli elettrici, nel terzo mercoledì di aprile.

4 POSSIBILI SOLUZIONI

Nei paragrafi precedenti sono state già introdotte alcune soluzioni di controllo per limitare l'impatto dei veicoli elettrici sulla rete. In questo capitolo si vogliono richiamare le principali opzioni, senza scendere nei dettagli implementativi dato che lo stesso effetto (quale il posticipare le ricariche domestiche nelle ore notturne) può essere raggiunto attraverso diversi sistemi (es. tariffe, controllo diretto da parte di soggetto abilitato).

Ritardare la ricarica

Ritardare il processo di ricarica di una porzione di veicoli elettrici è una soluzione efficace nel caso delle ricariche domestiche e delle ricariche sui luoghi di lavoro. Nel caso delle ricariche domestiche questo permette di abbassare il picco di assorbimento e di non farlo sovrapporre con il picco domestico serale; anche nel caso delle ricariche sui luoghi di lavoro questo permette di abbassare il picco e, in presenza di generazione fotovoltaica, di sovrapporre il consumo alla generazione. Nel caso delle colonnine pubbliche ad alta potenza questa non è solitamente una soluzione implementabile (i veicoli devono riprendere il viaggio in poco tempo).

Limitare la potenza di connessione nel caso di assorbimento contemporaneo

Nel caso di stazioni di ricarica che consistono di più punti di ricarica, una strategia può essere quella di richiedere una potenza di connessione minore della somma della potenza nominale dei punti di ricarica, limitando l'assorbimento di potenza solo quando la maggior parte dei punti di ricarica è occupata ("balancer"). Questo permetterebbe di trovare un compromesso tra la rapidità di ricarica e il numero di veicoli che possono essere serviti contemporaneamente; la soluzione può essere interessante nel caso di stazioni di ricarica sui luoghi di lavoro, dato che solitamente ad una stessa stazione sono connessi numerosi veicoli per intervalli temporali più lunghi.

Ridurre la potenza di assorbimento

La riduzione della potenza in assorbimento permette di ridurre il picco distribuendo la ricarica su un intervallo di tempo maggiore: questa misura è particolarmente efficace per gli elementi di rete ai livelli di tensione più bassi (es. trasformatori MT/BT e linee BT), mentre è meno praticabile ai livelli di tensione superiori perché ad una riduzione della potenza corrisponde un aumento del fattore di contemporaneità. L'implementazione pratica di questo approccio richiederebbe di poter ridurre il valore di potenza di connessione rispetto a quanto richiesto dai vari gestori di IdR (CPO) in una determinata area, o di poter inviare CPO in tempo reale la limitazione della potenza in prelievo.

Coordinare in tempo reale l'assorbimento di stazioni di ricarica vicine

Le misure precedenti prevedono di considerare le varie stazioni di ricarica in modo indipendente: più di frequente, i problemi sulla rete, specialmente quelli sui trasformatori MT/BT e sulle linee BT, possono essere causati da poche stazioni vicine ma afferenti a diversi gestori (CPO). In questo caso potrebbe essere utile poter coordinare l'assorbimento in base anche al fattore di carico dell'elemento di rete critico.

Il coordinamento è meno importante per gli altri componenti di rete dato che, aggregando un maggior numero di utenti, subiscono meno gli effetti locali.

Questo tipo di applicazione rientrerebbe nei *servizi locali di flessibilità*³.

³ ARERA, deliberazione 352/2021/R/eel <https://www.arera.it/it/docs/21/352-21.htm>

Sistemi di accumulo

Un'altra soluzione per ridurre la potenza prelevata da una infrastruttura di ricarica è quella di installare un sistema di accumulo *behind the meter*, eventualmente accoppiato ad un impianto di generazione fotovoltaica.

I sistemi di accumulo possono rappresentare una soluzione interessante per limitare l'impatto delle ricariche dei veicoli elettrici, specialmente nel caso delle IdR di ricarica pubbliche ad alta potenza. Negli scenari investigati si è sempre osservato che i picchi massimi di potenza sono raggiunti per intervalli temporali relativamente brevi, caratterizzati da rapporti energia/potenza ridotti (Figura 4.1). Questo significa che non sono necessari accumuli con autonomie elevate per risolvere le violazioni. Inoltre, il comportamento è in genere abbastanza regolare, nel senso che il picco massimo di assorbimento è raggiunto alcune volte al giorno tutti i giorni: questo aspetto garantisce di massimizzare l'utilizzo di un sistema di accumulo, che non rischia di rimanere inutilizzato. Infine, un sistema di accumulo permetterebbe di accoppiare le ricariche con, per esempio, la generazione fotovoltaica e, infine, di partecipare ai servizi di flessibilità (per ora MSD, in futuro anche per servizi locali).

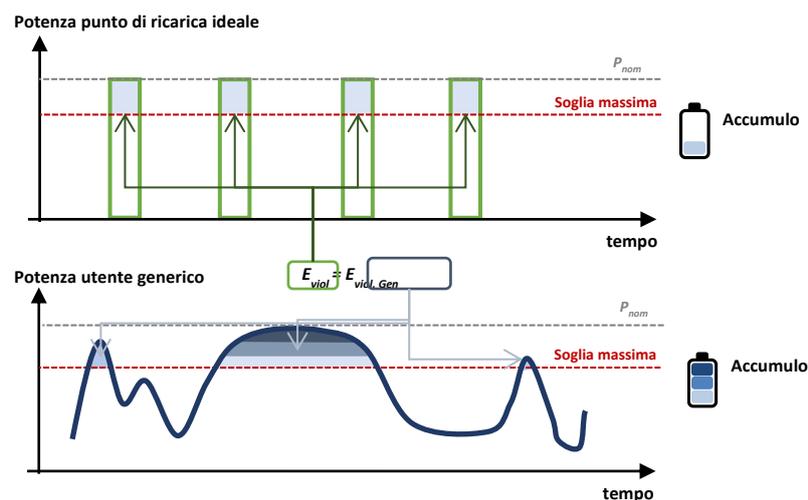


Figura 4.1 – confronto tra l'uso di un sistema di accumulo per ridurre la potenza massima assorbita da un punto di ricarica e un utente generico. A causa dei picchi elevati e brevi servono sistemi di accumulo con bassi rapporti energia/potenza per ridurre l'assorbimento rispetto a utenti generici.

Le considerazioni sopra esposte, tuttavia, anche se generali dipendono fortemente dal caso specifico in analisi. Il numero di punti di ricarica della stazione, la loro potenza nominale e la probabilità di arrivo dei veicoli nonché il loro fabbisogno energetico sono tutti elementi da considerare per definire la taglia di un eventuale sistema di accumulo. Se, per esempio, una stazione di ricarica è localizzata nel parcheggio di un supermercato il sistema di accumulo deve essere dimensionato tenendo conto della maggiore affluenza nei fine settimana. Bisogna considerare, inoltre, che non tutti i veicoli potrebbero ricaricare alla potenza nominale delle prese, riducendo la frequenza di utilizzo del sistema di accumulo (Figura 4.2).

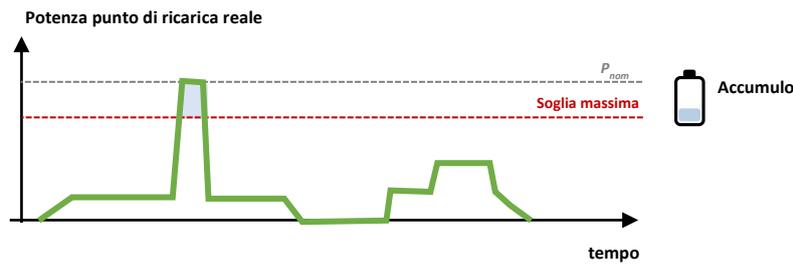


Figura 4.2 – il profilo di ricarica reale dei punti di ricarica può essere più irregolare rispetto a quello ideale, a causa ad esempio di una potenza di ricarica delle auto inferiore alla potenza nominale delle prese. Questo riduce la frequenza di utilizzo dei sistemi di accumulo, riducendone allo stesso tempo la convenienza.

Inoltre, il costo di questa soluzione deve essere confrontato con il costo della connessione della stazione di ricarica alla rete e dalla struttura della tariffa di fornitura di energia elettrica, che dipendono in modo significativo dalla potenza contrattuale che il CPO vuole richiedere. Per esempio, se la stazione di ricarica è piccola (es. due punti di ricarica da 22 o 50 kW) il sistema di accumulo potrebbe non fare una grossa differenza. Per stazioni di ricarica più grandi, invece, l'adozione di un sistema di accumulo potrebbe fare la differenza tra una connessione in BT, relativamente economica, e una connessione in media tensione, più onerosa (anche per quanto riguarda gli spazi da mettere a disposizione per la cabina secondaria, incluse le tempistiche autorizzative). Infine, il sistema di accumulo potrebbe non essere sufficiente per compensare l'assorbimento dei veicoli in tutte le condizioni (es. le stazioni di ricarica autostradali sarebbero maggiormente sollecitate nei periodi dei trasferimenti per le vacanze) e in questi casi si dovrebbe limitare la potenza assorbita dai veicoli – azione che potrebbe anche comportare delle penali, in base al contratto di ricarica con l'utente. La taglia del sistema di accumulo dovrebbe perciò essere dimensionata anche tenendo conto di questi fattori.

Infine, la presenza di un sistema di accumulo equivale, in termini di riduzione dei picchi di assorbimento, alla riduzione della potenza nominale delle prese, dato che il sistema di accumulo permette di distribuire l'assorbimento su più ore. Come però osservato in Figura 3.5 e nelle analisi seguenti, questa soluzione permette di ridurre le violazioni sui perimetri di aggregazione più ristretti (BT), ma è meno influente sui perimetri di aggregazione più ampi (es. trasformatori AT/MT).

Le considerazioni sopra riportate mostrano infine che è difficile individuare dei criteri generali affidabili per definire la taglia dei sistemi di accumulo in base alla tipologia di stazione di ricarica e determinare il loro impatto sulla rete. Sicuramente rappresentano delle soluzioni interessanti, soprattutto al crescere della potenza dei punti di ricarica, ma sono necessarie maggiori indagini basate soprattutto su casi reali.

Modulazione della potenza reattiva

Si osserva infine che, se la potenza reattiva delle stazioni di ricarica fosse liberamente modulabile, potrebbe costituire una risorsa utile per contenere le correnti delle linee (soprattutto quelle con rapporto X/R favorevole) ed evitare sotto tensioni (nelle aree più rurali).

5 CONSIDERAZIONI RIASSUNTIVE

Lo studio ha riepilogato i risultati di numerose indagini condotte da RSE al fine di valutare l'impatto sulla rete di distribuzione delle infrastrutture di ricarica (IdR) per veicoli elettrici (EV).

Le analisi sono state condotte considerando differenti tipologie di ricarica (lenta, accelerata, veloce), sotto diverse ipotesi di fabbisogno di energia, numero di veicoli, perimetro (cabina secondaria, linea MT, cabina primaria). In particolare, le simulazioni hanno permesso di evidenziare le principali relazioni tra questi parametri e indicatori quali il fattore di contemporaneità e il fattore di utilizzazione.

I principali risultati delle analisi si possono riassumere come segue:

- si conferma che, sei veicoli privati ricaricano ogni giorno al momento dell'arrivo all'abitazione, il picco di ricarica si sovrappone quasi completamente al picco del carico domestico, risultando particolarmente critico per la rete;
- per bassi fabbisogni di energia i profili medi in cabina primaria e sui feeder MT sono relativamente indipendenti dal tipo di punto di ricarica. Questo significa che, almeno in prima approssimazione, la tipologia di punto di ricarica ha poco rilievo, dato che il profilo totale è dato dalla media di diversi singoli profili;
- i componenti di rete a cui sono sottesi pochi veicoli elettrici (es. linee BT e trasformatori MT/BT) devono essere dimensionati considerando delle potenze medie assorbite dai veicoli più elevate. In questi casi, dato che il fattore di contemporaneità massimo è molto alto ma è raggiunto per brevi intervalli di tempo, adottare delle soluzioni di controllo che limitino i picchi di potenza può rappresentare una strategia efficace;
- l'impatto delle IdR sulla rete di distribuzione può essere ridotto tramite diverse soluzioni: ritardando la ricarica delle *wallbox* domestiche (sperimentazione in fascia F3), riducendo la potenza e allungando i tempi di ricarica (prese accelerate), adozione di sistemi di accumulo (stazioni di elevata potenza, per le quali il ridotto tempo di ricarica è parte integrante del servizio).

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] Motus-e, "Le infrastrutture di ricarica pubbliche in Italia", terza edizione, dicembre 2021, <https://www.motus-e.org/wp-content/uploads/2022/01/Le-infrastrutture-di-ricarica-pubbliche-in-Italia-1.pdf>
- [2] Claudio Carlini, Danilo Bertini, Fabio Lanati, Chiara Michelangeli, Giacomo Viganò, "La mobilità elettrica: scenari e impatti dell'elettrificazione nel trasporto pubblico e privato," Rapporto RDS, Dicembre 2018, <https://www.rse-web.it/rapporti/18007625/>.
- [3] Claudio Carlini, Danilo Bertini, Daniele Clerici, Chiara Michelangeli, Diana Moneta, Giacomo Viganò, "Mobilità sostenibile e infrastrutture energetiche nelle nuove forme del trasporto," Rapporto RDS, Dicembre 2021 (di prossima pubblicazione).
- [4] Daniele Clerici, Giacomo Viganò, Chiara Michelangeli, Claudio Carlini, Diana Moneta, "Evoluzione del sistema energetico urbano e impatti attesi sulle infrastrutture: risultati e raccomandazioni," Rapporto RDS, Dicembre 2021 (di prossima pubblicazione).
- [5] Giacomo Viganò, Chiara Michelangeli, Marco Rossi, Diana Moneta, "Confronto tecnico-economico delle alternative di sviluppo al 2030 della rete di distribuzione," Rapporto RDS, Dicembre 2021 (di prossima pubblicazione).