

**POLITECNICO DI TORINO**  
Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale  
Analisi energetico-economica della diffusione di autoveicoli  
elettrici in Italia: Vehicle-to-Home e scenari futuri



Relatore:

Prof. Filippo Spertino

Relatore Aziendale:

Ing. Massimo Cellino

Candidato:

Edoardo Bava

Dicembre 2018

Anno Accademico 2017/2018

# Indice

---

ABSTRACT .....	3
1. INTRODUZIONE .....	4
1.1 Produzione di energia elettrica .....	4
1.2 Dispacciamento e bilancio della potenza .....	11
1.3 Stoccaggio dell'energia .....	13
2. MOBILITÀ ELETTRICA.....	18
2.1 Sistemi di ricarica .....	22
2.2 Installazione di colonnine di ricarica – opportunità.....	34
2.3 L'auto elettrica .....	36
3. INSTALLAZIONE DI COLONNINE DI RICARICA.....	42
3.1 La proposta EGEA .....	42
3.2 Business Plan .....	58
3.3 Analisi di sensibilità .....	69
4. RICARICA EFFICIENTE DI VEICOLI ELETTRICI.....	72
4.1 Vehicle to Everything – V2X .....	73
4.2 Microgrid .....	76
5. INTEGRAZIONE TRA V2H E FOTOVOLTAICO.....	77
5.1 Consumi domestici .....	77
5.2 Produzione fotovoltaica .....	79
5.3 Scenari di utilizzo dell'auto elettrica .....	83
5.4 Controllo della ricarica .....	85
5.5 Simulazione di calcolo e risultati.....	92
5.6 Analisi di sensibilità .....	109
6. MICROGRID E AUTO ELETTRICHE .....	115
6.1 Risultati.....	118
7. CONCLUSIONE .....	121
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA .....	123
RINGRAZIAMENTI .....	125

# ABSTRACT

---

Questo lavoro si pone come obiettivo la valutazione dei vantaggi e degli svantaggi che si verificherebbero grazie alla transizione del parco automobilistico verso la mobilità elettrica.

In primo luogo è stata analizzata, tramite un business plan, la possibilità, per un'azienda, di ottenere un ritorno economico investendo nella creazione di una infrastruttura di ricarica (sia pubblica che privata) sul territorio; con lo sviluppo attuale di veicoli elettrici, in Italia, l'investimento non risulta vantaggioso, ma se si suppone un adeguamento ai numeri dei paesi più sviluppati si ottiene un ritorno economico considerevole.

In secondo luogo si sono valutati i vantaggi dal punto di vista di chi utilizza l'auto elettrica e si è studiata l'integrazione tra impianto fotovoltaico e ricarica domestica della batteria.

Considerando diversi scenari di utilizzo del veicolo elettrico si è verificato l'effettivo risparmio economico, legato all'esercizio, rispetto alle auto convenzionali e i vantaggi, in termini di autoconsumo di fotovoltaico e di risparmio, che si ottengono se si sfrutta la tecnologia Vehicle-to-Home (V2H) connessa ad una nanogrid. In ogni scenario valutato si ottiene un vantaggio economico e un aumento di autoconsumo.

Infine, si sono valutate le conseguenze, dal punto di vista ambientale, energetico ed economico, della diffusione di veicoli elettrici in un quartiere in cui circolano 100 automobili in totale; al fine di effettuare un ulteriore confronto, la rete del quartiere è stata dapprima ipotizzata in modo tradizionale (a gestione centralizzata e unidirezionale) e poi in una configurazione a microrete (microgrid), in modo da migliorare l'autoconsumo. Le emissioni di anidride carbonica si riducono considerevolmente e se le auto sono connesse alla microrete migliora l'autoconsumo dell'intero quartiere (un miglior autoconsumo garantisce anche un risparmio economico).

# 1.INTRODUZIONE

La produzione di energia elettrica è sempre più differenziata. Negli ultimi anni, a causa del forte sviluppo di fonti di energia rinnovabile, si è registrata la crescita di una generazione di elettricità distribuita e non più localizzata in grandi centrali di produzione; la generazione diffusa ha comportato cambiamenti nella gestione e nel dispacciamento dell'energia elettrica.

## 1.1 Produzione di energia elettrica

L'energia elettrica, tradizionalmente, viene prodotta da grandi centrali di produzione localizzate sul territorio (solitamente centrali termoelettriche, nucleari o idroelettriche), viene trasmessa su linee ad alta o altissima tensione (380kV - 220kV - 150kV) fino alla cabina primaria e, infine, viene distribuita agli utenti finali su linee di media tensione (10 kV, 15 kV o 20 kV) e bassa tensione (normalmente 400V).

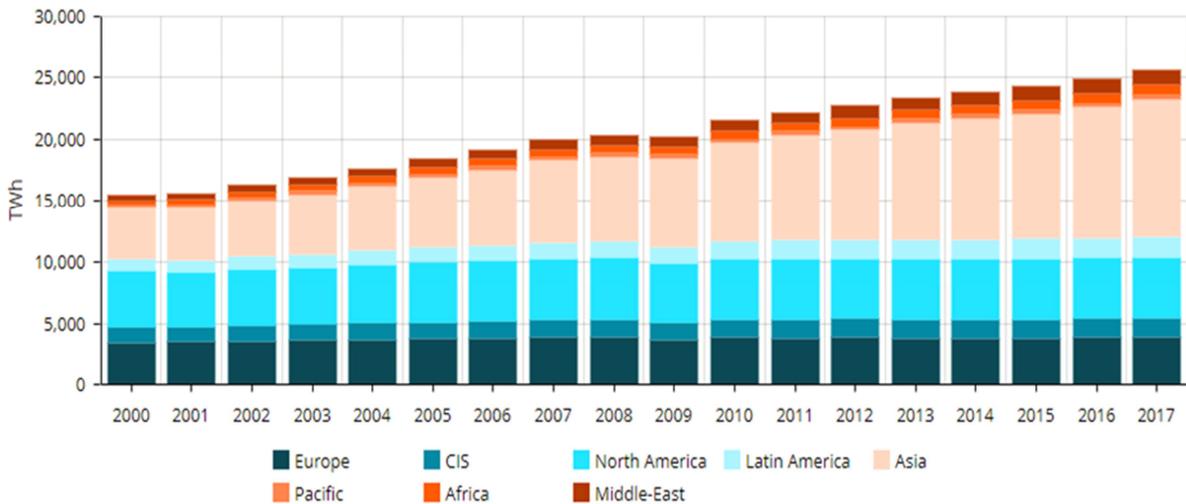


Figura 1 Produzione di elettricità mondiale in TWh (fonte Enerdata – Global Energy Statistical Yearbook 2018) – (CIS: Commonwealth of Independent States: membro principale Russia)

Osservando la figura 1 si può notare che la produzione mondiale di energia elettrica è in continua crescita (si nota una flessione solo nel 2009 dovuta alla crisi economica e, quindi, alla conseguente riduzione dei consumi). L'aumento di produzione, negli ultimi anni, è dovuto principalmente al crescente fabbisogno energetico dell'Asia, in particolare della Cina,

che è passata da una produzione di circa 3.400 TWh nel 2000 a circa 10.000 TWh nel 2017 (più di 1/3 del totale mondiale).

La produzione in Europa e Nord America è rimasta, invece, piuttosto costante variando, per quanto riguarda l'Europa, da circa 3.000 TWh a 3.400 TWh e da 4.000 TWh a circa 4.400 TWh per il Nord America.

In figura 2, invece, è possibile vedere la situazione italiana nello specifico.

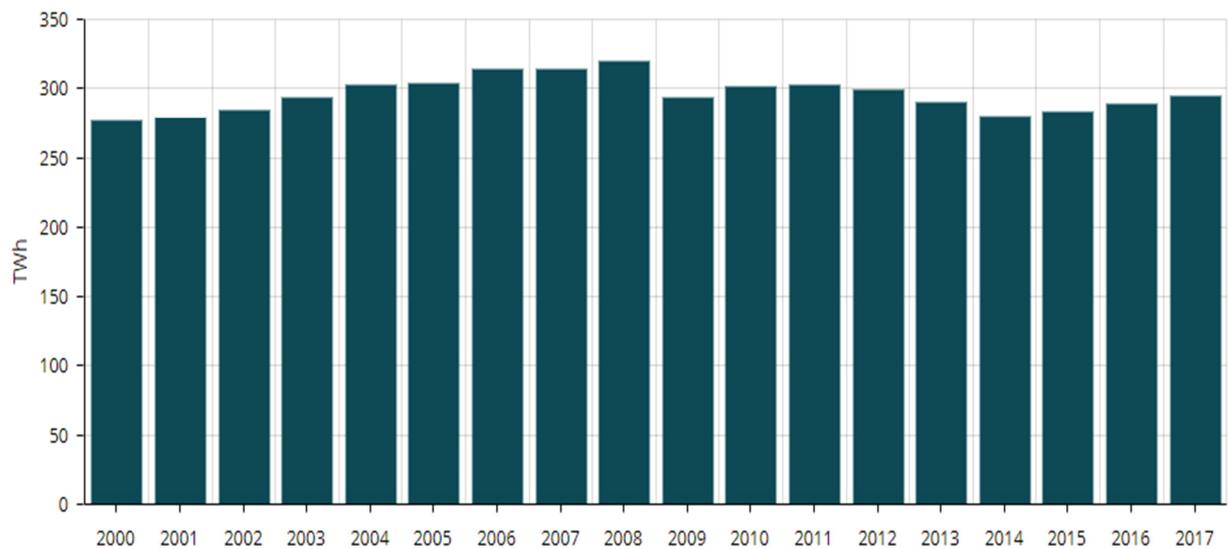


Figura 2 Produzione di elettricità in Italia in TWh (fonte Enerdata – Global Energy Statistical Yearbook 2018)

Il profilo di produzione di energia elettrica in Italia è sulla falsariga di quello Europeo; le variazioni, di anno in anno, sono contenute e la produzione è gradualmente aumentata dai 279 TWh del 2000 ai 319 TWh del 2007, per poi scendere a causa della crisi nel 2009; nel 2017 la produzione è stata di 301 TWh.

La situazione è diversa se si va ad analizzare nello specifico la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili e, in particolare, la generazione fotovoltaica ed eolica.

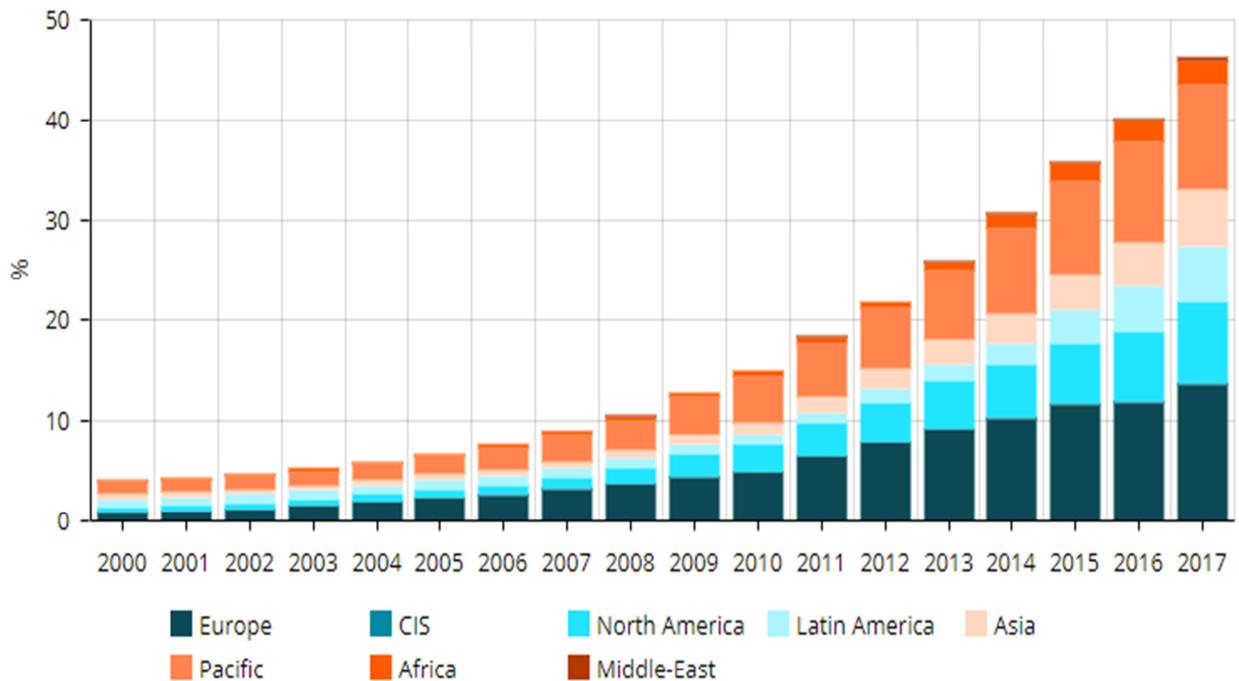


Figura 3 Produzione di energia elettrica da sole e vento in percentuale (fonte Enerdata – Global Energy Statistical Yearbook)

La quota di elettricità prodotta utilizzando sole e vento è in continua crescita e, in particolare, si è avuto un aumento di 1 punto percentuale rispetto al 2016 (considerando l'intero mix energetico); il costante aumento è dovuto soprattutto alla diminuzione dei costi e alle politiche ambiziose di alcuni stati, specialmente in Asia (in Cina, ad esempio, la quota di eolico e fotovoltaico è triplicata dal 2012 e ha raggiunto il 6,8%). Dal 2010 ad oggi è stata installata una potenza di circa 600 GW soltanto di impianti che sfruttano vento e sole. L'aumento più importante, nel 2017, si è avuto in Europa (principalmente in Germania e Regno Unito) seguita da Cina, Brasile, Stati Uniti, India e Giappone.

La quota di energia elettrica prodotta da vento e sole nel mix energetico mondiale ha raggiunto il 7%, come si può vedere in figura 4.

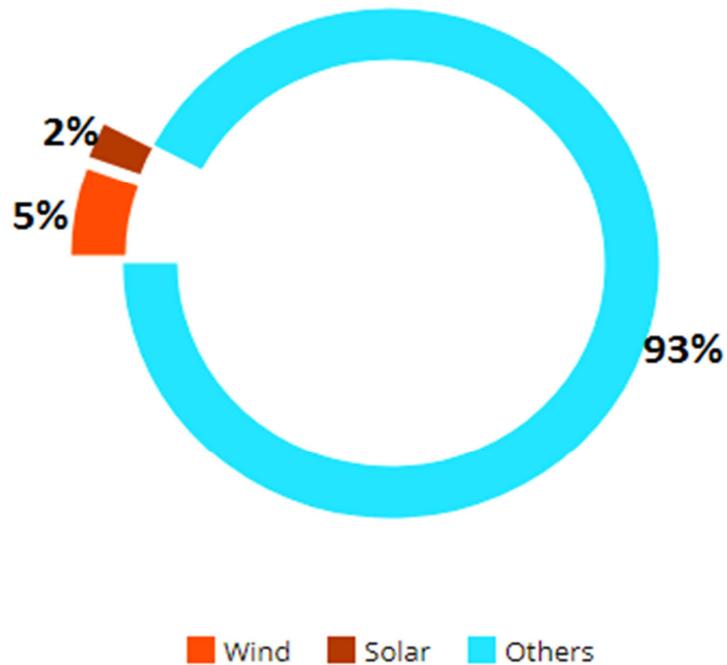


Figura 4 - % di sole e vento nella produzione elettrica mondiale (fonte Enerdata: Global Energy Statistical Yearbook 2018)

In particolare, il 5% dell'elettricità mondiale è prodotta con impianti eolici e il 2% è prodotta sfruttando l'energia del sole (impianti fotovoltaici e impianti a concentrazione solare – CSP). Anche in questo caso è interessante vedere nel dettaglio la situazione italiana.

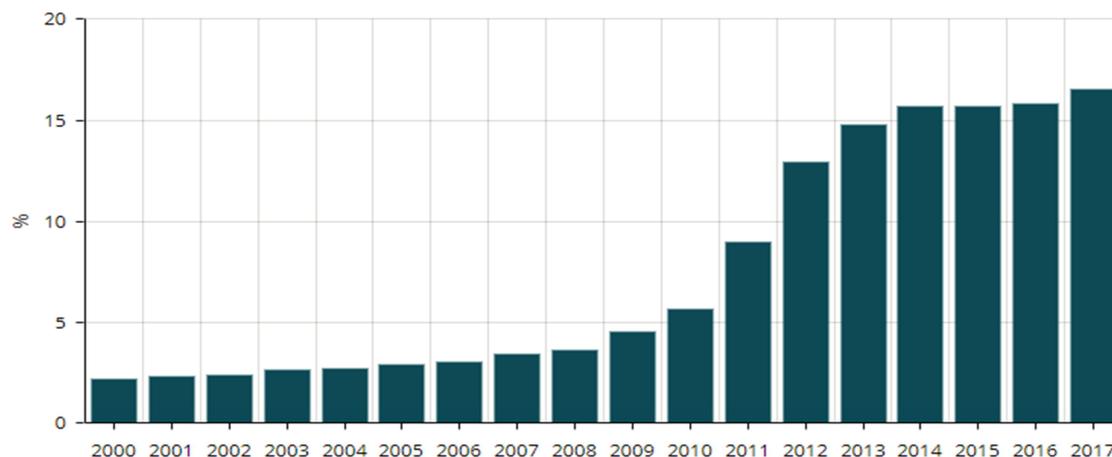


Figura 5 energia elettrica prodotta da sole e vento in Italia (fonte Enerdata – Global Energy Statistical Yearbook 2018)

Fino al 2008 l'andamento è stato piuttosto costante, successivamente, a causa delle politiche di incentivazione del fotovoltaico (Conto Energia), si può notare un notevole incremento fino al 2014; tra il 2014 e il 2017 l'incremento è stato molto modesto.

L'Italia si attesta come uno dei maggiori produttori mondiali di energia elettrica da fonti rinnovabili intermittenti, infatti la quota di energia elettrica (figura 6) prodotta da impianti fotovoltaici ed eolici supera abbondantemente la media mondiale.

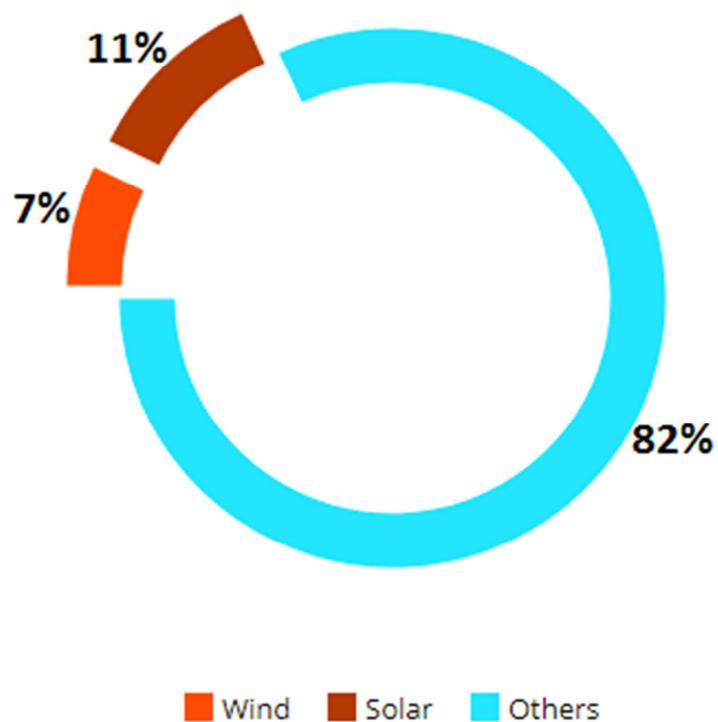


Figura 6 % di sole e vento nella produzione elettrica in Italia (fonte Enerdata: Global Energy Statistical Yearbook 2018)

In Italia la quantità di energia elettrica da impianti fotovoltaici rappresenta l'11% del totale, mentre la produzione da impianti eolici è il 7%. In Italia la quota di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili intermittenti è il 18% del totale, contro il 7% di media mondiale.

Per quanto riguarda la potenza installata, in Italia, parlando esclusivamente di impianti eolici e fotovoltaici la situazione è la seguente (figura 7 e figura 8):

### EOLICO 2012 - 2018 (GW)

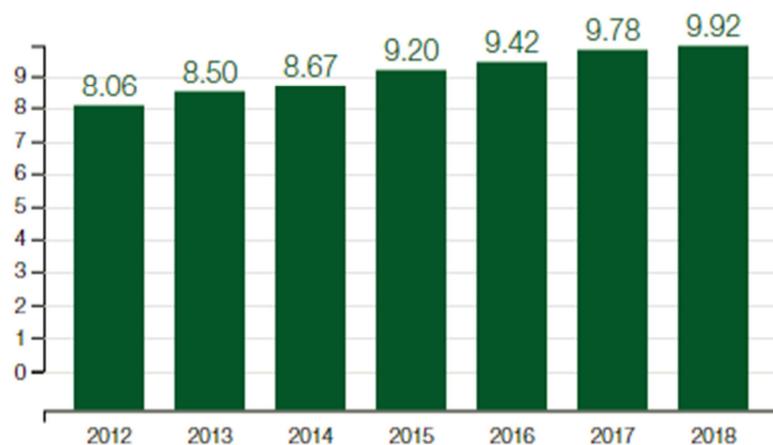


Figura 7 Potenza installata in Italia – impianti eolici (fonte: Terna)

### FOTOVOLTAICO 2012 - 2018 (GW)

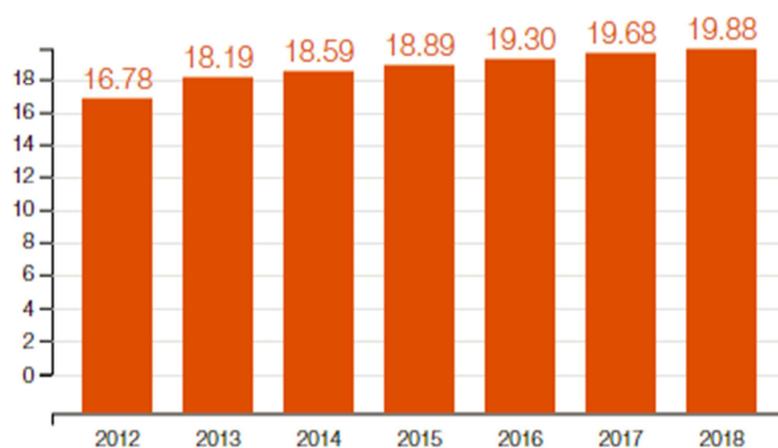


Figura 8 Potenza installata in Italia - impianti fotovoltaici (fonte Terna)

Sono installati, quindi, 29 GW di fonti rinnovabili intermittenti diffusi sul territorio (generazione diffusa) che complicano il dispacciamento dell'energia e obbligano, in un futuro prossimo, all'adozione di misure per la mitigazione degli effetti (batterie di accumulo più diffuse, per esempio).

## 1.2 Dispacciamento e bilancio della potenza

Il dispacciamento è definito come la gestione dei flussi di energia sulla rete; dato che l'elettricità non si può immagazzinare in quantità significative, almeno come tale, bisogna produrre in ogni momento l'esatta quantità richiesta dall'insieme dei consumatori.

Il sistema elettrico richiede che venga continuamente soddisfatto il teorema di Boucherot per la potenza attiva, che afferma che la potenza attiva generata ( $P_G$ ) deve essere uguale, in ogni istante, alla potenza assorbita dai carichi ( $P_C$ ) sommata alle perdite di rete ( $P_P$ ):

$$P_G = P_C + P_P$$

Il sistema elettrico opera ad inseguimento del carico; si adatta la generazione per seguire l'evoluzione nel tempo del carico richiesto. Viene eseguita una previsione statistica del carico orario giornaliero, sulla quale vengono programmati gli automatismi di regolazione; il centro di controllo confronta la previsione statistica con i dati reali (il carico reale viene ricavato ogni 15 minuti dai misuratori sulla rete) e provvede ad effettuare gli aggiustamenti necessari. In Italia il compito della gestione dei flussi di energia è affidato a TERNA, che si occupa anche delle analisi previsionali e fornisce i diagrammi di domanda elettrica nazionale.

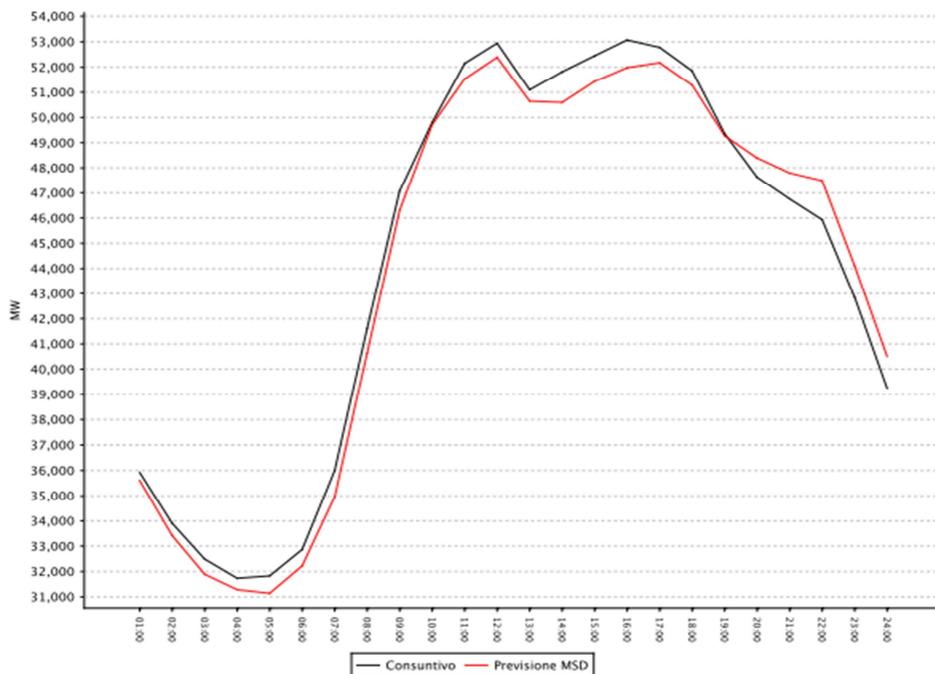


Figura 9 Domanda elettrica nazionale del 26 luglio 2018 (TERNA)

Come si può notare dalla figura 9 il carico di base, in quella giornata, è stato di circa 31 GW mentre il carico di punta, che si raggiunge in mattinata e in serata tra le 17.00 e le 18.00, è di circa 53 GW.

I costi dell'energia variano durante la giornata; la produzione di elettricità nelle ore di punta costringe, infatti a utilizzare centrali a rendimento minore e ad aumentare la quota di energia importata dall'estero, aumentando i costi per l'utente finale; potrebbe essere interessante, quindi, operare nell'ottica di una riduzione dei picchi (peak shaving), utilizzando dei sistemi di accumulo dell'energia elettrica.

I sistemi di stoccaggio dell'energia possono essere utili per un'altra motivazione; nel sistema centralizzato, infatti, l'energia elettrica, prodotta da grandi centrali, viene trasmessa su grandi distanze da reti ad alta tensione, tramite linee di trasmissione. Giunta poi in prossimità dell'utenza, l'energia elettrica passa alla rete di distribuzione (MT e BT) che si occupa della consegna agli utenti finali. Il sistema è progettato e ottimizzato per la trasmissione della potenza unidirezionalmente dalle centrali alle utenze. Lo sviluppo recente di fonti rinnovabili (figura 5) ha portato a un sistema di generazione distribuita dell'energia elettrica (le sorgenti private sono allacciate alla rete di distribuzione sia in bassa tensione che in media tensione) che ha avuto, come conseguenza, un aumento dei problemi legati alla regolazione dell'intero sistema elettrico; infatti, la rete di distribuzione non è stata dimensionata e progettata per una generazione diffusa. Sistemi di accumulo dell'energia elettrica, installati direttamente presso l'utilizzatore finale, possono aumentare l'autoconsumo dell'utente, diminuendo, di conseguenza, la quota di elettricità reimmessa in rete; con conseguente riduzione dei problemi di regolazione e sovraccarico. Il vantaggio sarebbe duplice: diminuzione dei problemi di regolazione sulla rete di distribuzione e risparmio per l'utilizzatore finale che decida di investire su un sistema di accumulo.

## 1.3 Stoccaggio dell'energia

Come detto precedentemente, il problema del dispacciamento dell'elettricità può essere arginato aumentando la capacità di stoccaggio di energia elettrica sulla rete.

Una condizione necessaria per sfruttare appieno le fonti rinnovabili intermittenti, e aumentare la loro presenza nella generazione totale di elettricità, è di modificare e rinnovare la rete elettrica secondo la logica delle smart grid, ma ciò non è sufficiente; occorre, infatti, prevedere un'adeguata capacità di immagazzinamento. I sistemi di accumulo dell'energia elettrica sono, quindi, molto importanti e dovranno essere sfruttati al meglio in futuro.

Per stoccare l'elettricità è necessario convertirla in una forma accumulabile che possa essere riconvertita al bisogno; questi sistemi esistono e sono utilizzati da tempo, ma hanno, spesso, caratteristiche che ne rendono complicato l'utilizzo nel campo delle generazione distribuita (ad esempio, gli impianti idroelettrici a pompaggio sono poco adattabili alle reti di distribuzione, a causa delle dimensioni elevate).

I sistemi di accumulo vengono categorizzati in base alla forma di energia che possono accumulare, le tipologie principali utilizzabili per immagazzinare energia elettrica sono:

- Sistemi di accumulo meccanici.
- Sistemi di accumulo chimici.
- Sistemi di accumulo elettrici.
- Sistemi di accumulo elettrochimici.

Ogni tipologia dell'elenco precedente verrà spiegata utilizzando opportuni esempi.

Accumulo meccanico: esistono 2 tipologie di accumulo meccanico principali (su larga scala), le centrali idroelettriche a pompaggio e il sistema CAES (Compressed Air Energy System).

- Centrale idroelettrica a pompaggio: sono i sistemi con maggior capacità di accumulo a livello mondiale. Il funzionamento è piuttosto semplice: nei momenti della giornata in cui si ha una bassa richiesta di energia l'eventuale eccesso di elettricità viene utilizzato per pompare acqua da un bacino di valle a un bacino di monte. Quando la domanda cresce l'acqua viene scaricata a valle e produce elettricità passando attraverso una turbina. L'energia elettrica in eccesso viene, quindi, trasformata in energia potenziale.
- CAES: lo scopo di una centrale CAES è quello di utilizzare gli eccessi di energia per comprimere (tramite dei compressori connessi alla rete) dell'aria in serbatoi naturali

(caverne) o artificiali. Quando si ha un picco nell'offerta, e, di conseguenza, il costo dell'energia elettrica aumenta, l'aria compressa viene utilizzata in un impianto turbogas e, quindi, passa in camera di combustione e i fumi vengono espansi in turbina. Esistono soltanto 2 centrali di questa tipologia al mondo, una in Germania (Huntorf, da 290 MW di potenza) e una in Alabama (Mcintosh, da 110 MW). Questa tecnologia non è molto utilizzata perché poco conveniente; è possibile, tuttavia, individuare degli utilizzi interessanti nell'ottica dello stoccaggio del surplus di energia derivante dalle fonti rinnovabili non programmabili.

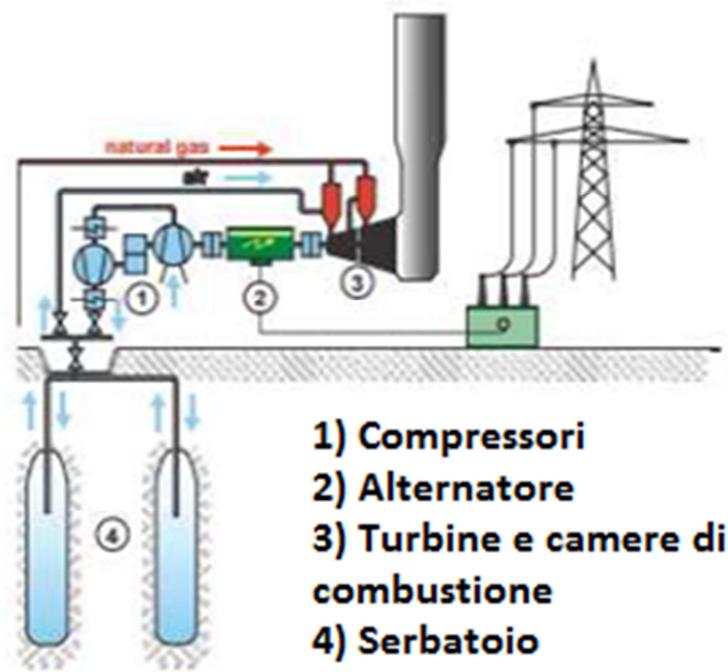
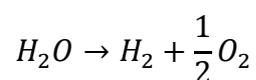


Figura 10 Schema impianto CAES di Huntorf

Accumulo chimico: un esempio di accumulo chimico è la produzione di idrogeno. Si utilizza la corrente elettrica in eccesso per produrre un combustibile che può essere stoccato e utilizzato in un secondo momento.

Per la produzione di idrogeno si possono utilizzare delle celle elettrolitiche, nelle quali avviene la reazione chimica non spontanea (elettrolisi dell'acqua):



La reazione avviene soltanto in caso di passaggio di corrente tra gli elettrodi della cella; si può, dunque, utilizzare l'eventuale eccesso di energia elettrica per produrre idrogeno, che può essere stoccato e utilizzato all'occorrenza.

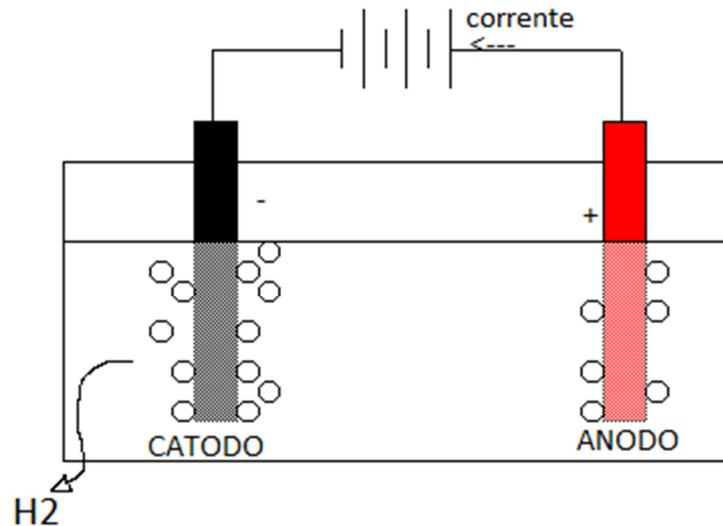


Figura 11 Schema di una cella elettrolitica

Accumulo elettrico: un esempio di accumulo elettrico è il supercapacitore. Questo è una tipologia di condensatore che ha come caratteristica principale quella di avere una capacità molto maggiore rispetto ai condensatori tradizionali: i condensatori tradizionali hanno, infatti, capacità dell'ordine del milliFarad o addirittura del microFarad, un supercapacitore può raggiungere le migliaia di Farad.

Accumulo elettrochimico: un esempio è la comune batteria. Una batteria è composta da più celle Galvaniche in serie. Le celle che compongono una batteria sono strutturate, solitamente, nel seguente modo: 2 semicelle, costituite da un elettrodo a contatto con una soluzione elettrolitica, separate da una membrana semipermeabile; le reazioni chimiche che avvengono tra l'elettrodo e la soluzione in cui l'elettrodo è immerso rilasciano elettroni. Le batterie elettrochimiche accumulano, quindi, energia elettrica per via chimica e la rilasciano, quando necessario, sotto forma di energia elettrica. Il processo può essere invertito tramite l'applicazione di una corrente continua, che inverte le reazioni avvenute precedentemente.

Le applicazioni per questi sistemi di accumulo sono le più interessanti e sono molto utilizzate in vari ambiti, quali elettronica di consumo, telecomunicazioni, auto tradizionali, auto elettriche e batterie domestiche per l'integrazione con le fonti rinnovabili intermittenti.

Le due tipologie principali di accumulatori elettrochimici sono le batterie piombo/acido e le batterie agli ioni di litio Li-Ion.

- Batterie piombo/acido: gli elettrodi sono in piombo (in particolare, l'anodo è in piombo e il catodo in ossido di piombo), mentre l'elettrolita è una soluzione acquosa che contiene acido solforico. Sono storicamente utilizzate nelle auto a motore termico per l'accensione e per la gestione dei sistemi ausiliari; sono state anche utilizzate nelle prime auto ibride, ma non sono adeguate per le auto completamente elettriche e per l'accumulo di energia da fonti rinnovabili intermittenti, infatti queste batterie sono caratterizzate da una durata troppo breve e da un'efficienza modesta, oltre ad essere troppo pesanti e voluminose, per questi utilizzi.
- Batterie Li-Ion: gli elettrodi sono in litio (in particolare, l'anodo è costituito da litio metallico intercalato con carbonio e il catodo è un sale di litio), mentre l'elettrolita è una soluzione di perclorato di litio. Le batterie agli ioni di litio sono le più utilizzate, attualmente sia per quanto riguarda la mobilità elettrica, sia per quanto riguarda le batterie di accumulo per la casa.

I parametri che descrivono le performance di un accumulatore sono molteplici, i principali sono i seguenti:

- Tensione della cella galvanica (V)
- Energia specifica (Wh/kg): energia che può essere accumulata per unità di peso della batteria
- Densità di energia (Wh/m<sup>3</sup>): energia che può essere accumulata per unità di volume della batteria
- Potenza specifica (W/kg): potenza massima di scarica per unità di massa
- Numero di cicli: numero di cicli di carica/scarica durante la vita utile della batteria
- Capacità(Ah oppure kWh): quantità di carica elettrica accumulabile in una batteria

Al livello attuale di maturità tecnologica le batterie al litio (oltre alle batterie agli ioni di litio esistono accumulatori litio-polimero e litio-ferro-fosfato con caratteristiche interessanti) rappresentano senza dubbio la tecnologia più interessante sia per quanto riguarda la mobilità elettrica sia per quanto riguarda l'accumulo di energia da impianti fotovoltaici; queste batterie, infatti, sono caratterizzate da un'alta densità di energia, sono leggere (se confrontate con le altre tipologie di batterie) e non sono soggette all'effetto memoria.

Inoltre, a causa dell'utilizzo sempre in maggiore quantità di questa tipologia di accumulatori, il prezzo delle batterie Li-Ion è in continua diminuzione.

Una diffusione di veicoli elettrici sul territorio, stando a quanto detto precedentemente, potrebbe rappresentare un vantaggio almeno per quanto riguarda la gestione dei flussi di energia elettrica dovuti alla generazione distribuita, oltre che un possibile risparmio economico in caso di un corretto utilizzo della risorsa.

Le batterie delle auto si ricaricano con la rete, ma, in momenti di bisogno, possono invertire i flussi e fornire elettricità alla casa, tecnologia Vehicle to Home, oppure direttamente alla rete elettrica, Vehicle to Grid. Una vasta flotta di automobili può essere, quindi, utile nella stabilizzazione delle fluttuazioni derivanti dalla produzione irregolare di sole e vento e garantire un'integrazione migliore delle fonti rinnovabili nella rete (fotovoltaico in particolare).

## 2.MOBILITÀ ELETTRICA

---

L'auto elettrica, negli ultimi anni, ha vissuto un importante sviluppo, soprattutto nei paesi europei; in Italia lo sviluppo è stato, invece, di minore entità.

Secondo il World Energy Outlook del 2016, dell'Agenzia Internazionale dell'Energia, nel 2040, nel mondo, circoleranno 150 milioni di auto elettriche. Nel World Energy Outlook del 2017 i dati sono stati revisionati, a causa, infatti, della decisione dei governi di Francia e Regno Unito di proibire la vendita di veicoli con motori convenzionali (diesel e benzina) entro il 2040 le stime sono state riviste al rialzo; attualmente la proiezione è quella di avere 280 milioni di veicoli elettrici circolanti entro il 2040 contro i 2 milioni attuali.

Le statistiche per quanto riguarda il numero di auto elettriche circolanti vedono l'Italia come fanalino di coda, in Europa.

Paese	Auto elettriche (BEV+PHEV)	P.ti di ricarica pubblici
Norvegia	113.000	8.700
Olanda	111.200	27.300
Inghilterra	87.400	12.100
Francia	83.000	13.500
Germania	80.000	24.300
Svezia	29.200	2.800
Austria	17.800	2.900
Spagna	9.100	1.750
Italia	8.700	2.010

Tabella 1 Statistiche su numero di auto elettriche circolanti e numero di colonnine pubbliche in Europa (fonte: Alpiq, 2° trim. 2016)

Gli scenari di sviluppo sono positivi. Infatti, sempre secondo il World Energy Outlook del 2016, oltre a raggiungere i 150 milioni di auto elettriche entro il 2040 come già detto, si raggiungerà quota 30 milioni entro il 2025.

Le case automobilistiche sono consapevoli che il futuro della mobilità su strada sarà elettrico e quindi, oltre a Nissan, Renault e soprattutto Tesla (che hanno fatto da capofila), anche

BMW Mercedes e Volkswagen stanno impegnando importanti investimenti nello sviluppo delle auto elettriche.

In Italia, con il decreto legislativo 257 del 2016, si è deliberata l'installazione obbligatoria di sistemi di ricarica per auto elettriche in:

- Stazioni di carburante nuove, ristrutturate e in quelle con erogazione di benzina/diesel maggiore di 10 milioni di litri nel 2015 situate nelle province con capoluoghi che hanno superato i limiti di PM<sub>10</sub> per almeno 2 anni negli ultimi 6.
- Nuovi edifici commerciali con superficie superiore a 500 m<sup>2</sup>.

L'azienda EGEA, una multi-utility che si occupa principalmente di energia elettrica (produzione e vendita), di vendita di gas naturale e di energia termica per teleriscaldamento, ha interesse nell'installazione di infrastrutture di ricarica per veicoli elettrici in Piemonte (province di Cuneo, Asti, Alessandria e Torino) e Liguria (Savona e Imperia); utilizzando le relazioni annuali ARPA si può vedere se le zone di interesse di EGEA ricadono nell'ambito descritto dal decreto legislativo di cui sopra. Esistono 2 limiti di legge per la concentrazione di PM<sub>10</sub> nell'aria: il valore massimo per la media annuale è di 40 µg/m<sup>3</sup>, mentre il valore massimo giornaliero (media pesata sulle 24 ore) è di 50 µg/m<sup>3</sup> di cui sono consentiti fino a un massimo di 35 superamenti all'anno. Il limite più critico da rispettare è il limite giornaliero ed è quello che verrà preso in analisi.

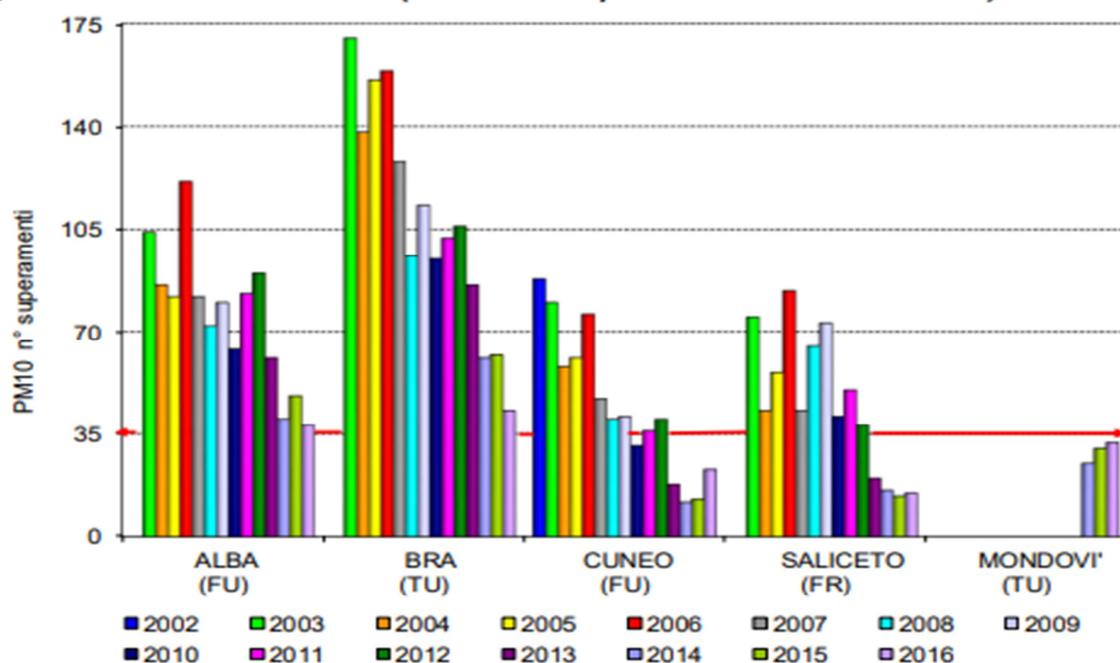


Figura 12 Numero di superamenti del limite giornaliero di PM<sub>10</sub> in provincia di Cuneo (fonte: ARPA)

Per quanto riguarda la provincia di Cuneo, e in particolare il suo capoluogo, la situazione non è critica (però la misurazione è effettuata soltanto sul fondo urbano); si contano però 2 superamenti dei limiti nei 6 anni precedenti all'attuazione del d.Lgs 257 (nel 2011 e nel 2012), di conseguenza l'installazione di colonnine di ricarica sarà obbligatoria in tutta la provincia (è utile notare anche come la situazione nelle zone di Alba, sede di EGEA, e Bra sia molto peggiore).

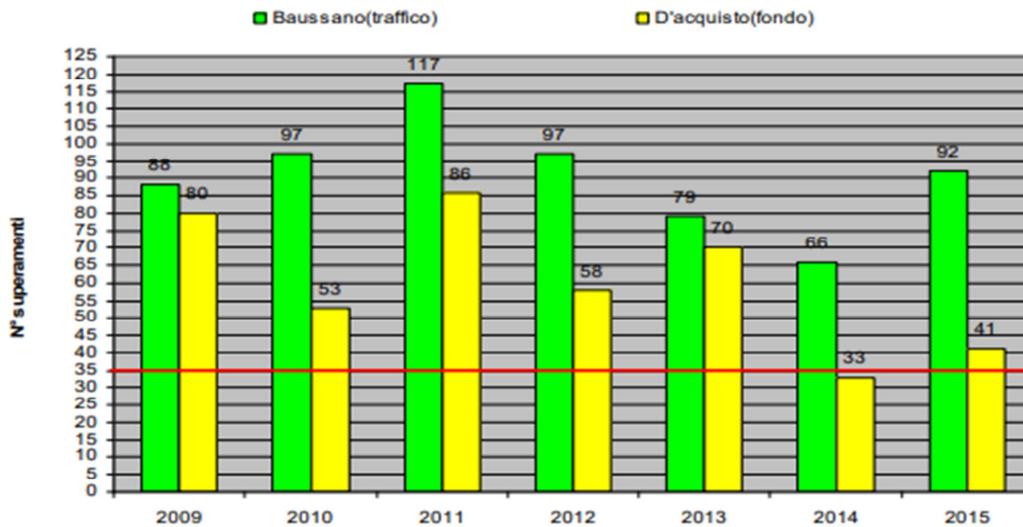


Figura 13 Numero di superamenti del limite giornaliero di PM10 nella città di Asti (fonte: ARPA)

La situazione è più critica ad Asti dove i limiti giornalieri vengono superati costantemente ogni anno.

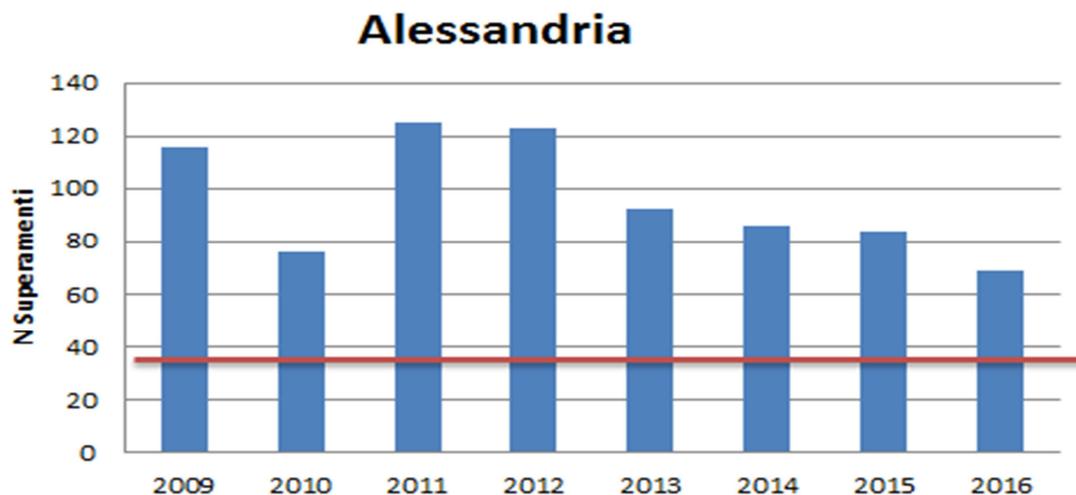


Figura 14 Numero di superamenti del limite giornaliero di PM10 nella città di Alessandria (fonte: ARPA)

Anche ad Alessandria il limite giornaliero viene superato ogni anno.

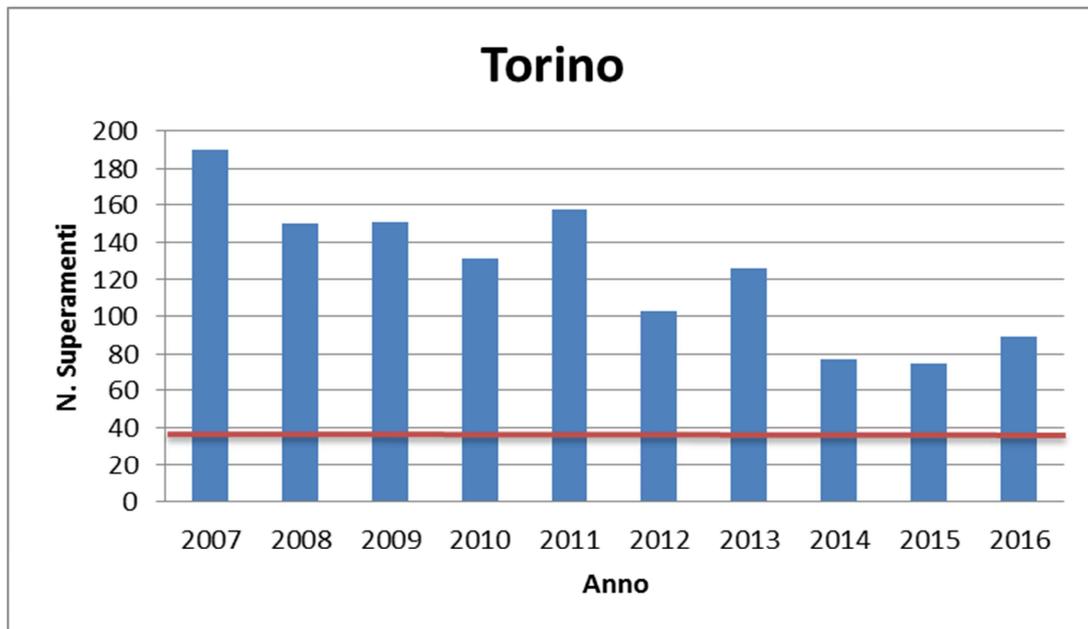


Figura 15 Numero di superamenti del limite giornaliero di PM10 nella città di Torino (fonte: ARPA)

Infine, anche a Torino la situazione non cambia. Ogni anno il limite giornaliero viene superato molto più di 35 volte.

Per quanto riguarda la Liguria, e in particolare Imperia e Savona, a causa dell'esiguo numero di stazioni per il rilevamento della qualità dell'aria è impossibile effettuare la stessa analisi fatta per il Piemonte (inoltre la presenza del mare riduce la quantità di inquinanti).

Dai dati ARPA risulta obbligatoria l'installazione di colonnine per la ricarica di auto elettriche nelle stazioni di servizio, con le caratteristiche di cui sopra, almeno nelle provincie di Cuneo, Asti, Alessandria e Torino. Per l'azienda EGEA l'obbligo di installazione comporta un vantaggio, data l'intenzione di investire in questo business.

Il decreto legislativo 257 ha come scopo la realizzazione di una infrastruttura per i combustibili alternativi, per motivi perlopiù ambientali.

I vantaggi ambientali legati all'utilizzo di auto elettriche sono importanti. Considerando l'attuale mix di generazione elettrica italiano, le vetture elettriche comportano emissioni di anidride carbonica del 50% inferiori a quelle delle vetture diesel e benzina di ultima generazione, anche le emissioni di altri inquinanti (particolato, ossidi di azoto e di zolfo) sono molto ridotte o addirittura nulle. L'emissione di inquinanti, inoltre, sarà localizzata presso le centrali di produzione e non si avrà più un inquinamento diffuso lungo il tragitto delle auto. L'aria delle città sarà molto più salubre e i livelli di particolato (PM10 e PM2,5) nell'aria molto ridotti.

## 2.1 Sistemi di ricarica

Come già evidenziato nella Tabella 1 il numero di auto elettriche e il numero di colonnine di ricarica, in Italia, è molto più contenuto rispetto agli altri paesi europei; In Europa, al 2016, la classifica è guidata da Olanda e Germania. A livello globale, la diffusione maggiore di punti di ricarica si ha in Cina e USA seguiti dal Giappone.

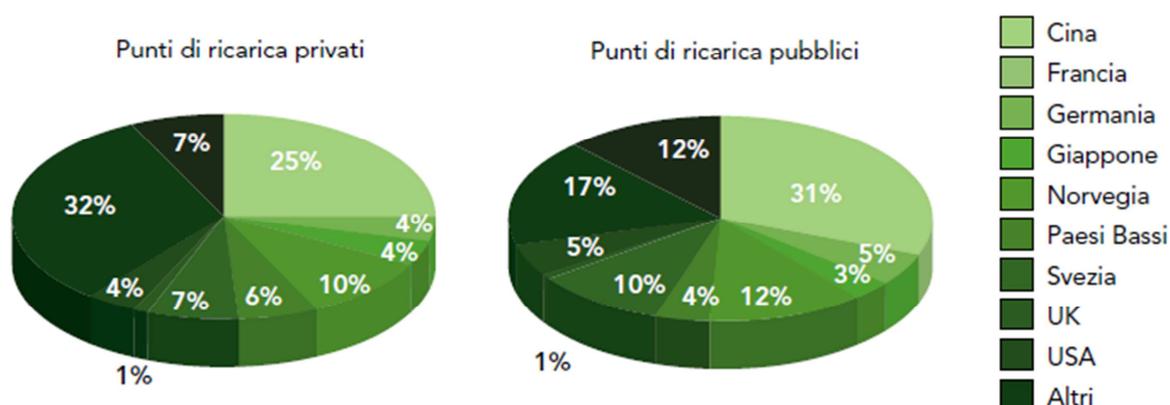


Figura 16 Punti di ricarica a livello globale al 2016 (fonte: E-Mobility REPORT 2017)

Nel mondo, alla fine del 2016, si contano circa 1.450.000 punti di ricarica in notevole crescita rispetto ai circa 800.000 del 2015. Anche a livello europeo si nota una continua crescita nel numero di stazioni di ricarica.

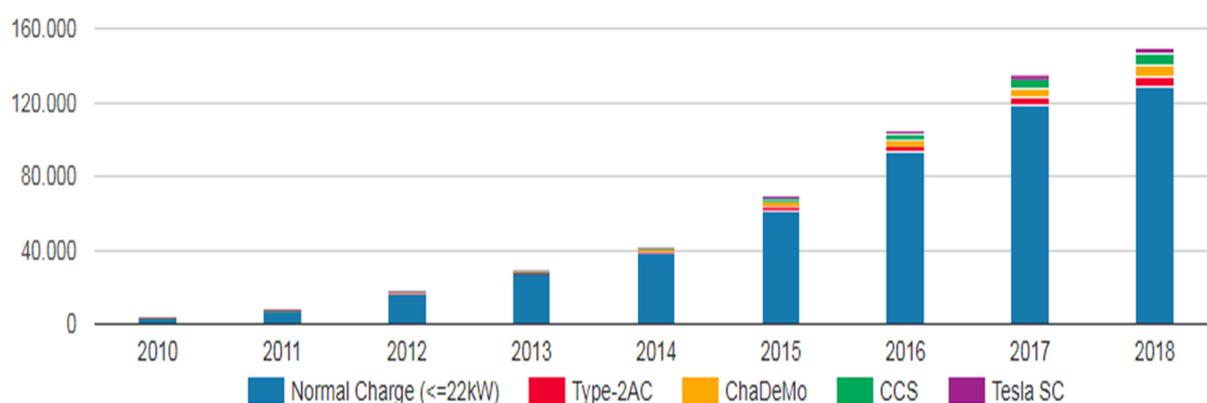


Figura 17 Evoluzione del numero di punti di ricarica pubblici in Europa (fonte: eafo.eu)

Infine, nel grafico sottostante è possibile vedere la crescita in Italia:

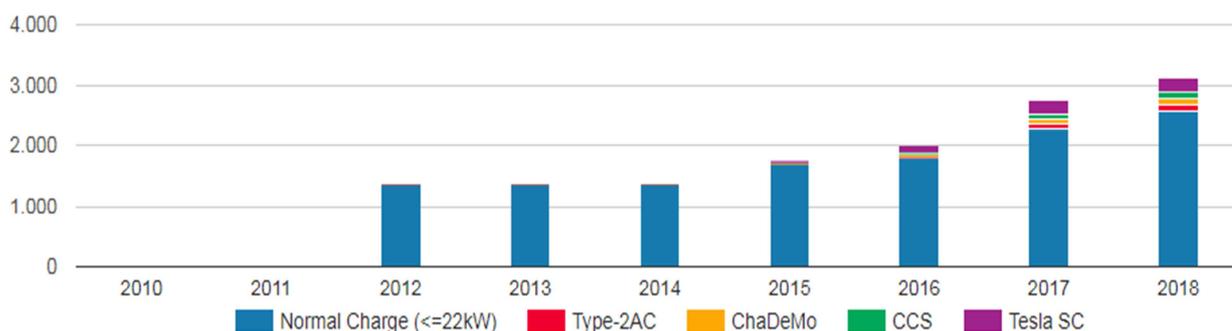


Figura 18 Punti di ricarica pubblici in Italia – circa 2.750 a fine 2017, poco più di 3.000 al 2018 (fonte: eafo.eu)

Al fine di quantificare il livello di maturazione della mobilità elettrica in uno stato può essere interessante mettere in relazione il numero di colonnine elettriche installate con il numero di veicoli elettrici circolanti; si valuta, quindi, il rapporto veicoli elettrici/punti di ricarica.

A livello mondiale il valore medio del rapporto è di 0,86, in un mercato sviluppato e maturo bisogna raggiungere all'incirca un rapporto pari a 1 (con 0,9 colonnine private e 0,1 colonnine pubbliche per ogni veicolo).

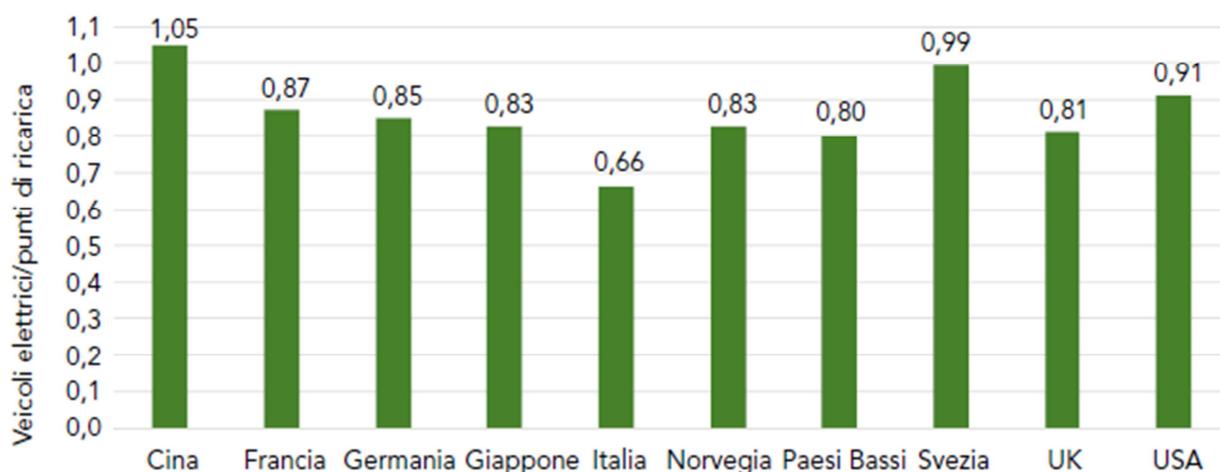


Figura 19 Rapporto Veicoli elettrici-punti di ricarica (fonte: E-Mobility REPORT 2017)

Come si può notare dalla figura 19, i paesi che più si avvicinano al valore 1 sono Cina, che addirittura lo supera, e Svezia. L'Italia con il valore 0,66 si conferma, ancora una volta, come fanalino di coda tra i paesi valutati nel "E-Mobility Report" redatto dal Politecnico di Milano. Il valore del rapporto indica come il mercato dei veicoli elettrici sia poco sviluppato in Italia e, di conseguenza, ci siano più colonnine di ricarica, sia pubbliche che private, che veicoli;

questa informazione potrebbe porre un freno, per le aziende italiane, nell'investire sull'installazione di infrastrutture di ricarica, ma la tendenza, anche in Italia, sarà quella di uniformarsi agli altri paesi nel breve periodo. Inoltre le infrastrutture disponibili sono quasi del tutto localizzate nelle grandi città rendendo difficile l'utilizzo dei veicoli elettrici in tutto il territorio. Le aziende interessate potrebbero investire su colonnine localizzate nelle piccole-medie città.

Come già precedentemente anticipato esistono 2 macro-categorie di sistemi di ricarica: pubblici e privati.

I sistemi di ricarica pubblici sono utilizzabili da chiunque e si possono localizzare facilmente utilizzando delle apposite mappe, i punti di ricarica privati sono generalmente installati presso l'abitazione del proprietario del veicolo elettrico. Partendo dalla distinzione tra punti di ricarica pubblici e privati si può effettuare la distinzione tra colonnine elettriche e wall-box; infatti, nella maggioranza dei casi, l'infrastruttura per la ricarica pubblica è la colonnina elettrica e l'infrastruttura per la ricarica privata è la wall-box (anche se le wall-box vengono spesso utilizzate anche in ambito pubblico, in hotel, ristoranti eccetera).

Le colonnine elettriche sono progettate per essere installate lungo la strada, in parcheggi riservati e appositamente segnalati; vengono anche denominate "stazioni a terra".



Figura 20 Colonnina Con logo Egea-Enel X

Le wall-box, chiamate anche "stazioni a parete", vengono invece installate a muro solitamente in garage o cortili privati e non.



Figura 21 Due wall-box marchiate Egea

Le infrastrutture di ricarica presenti sul mercato si differenziano anche, e principalmente, per la potenza di ricarica; comunemente per le wall-box si utilizzano potenze compatibili con un contratto di utenza elettrica domestico, mentre per quanto riguarda le colonnine si utilizzano potenze più elevate.

Le taglie di potenza classiche che si trovano sul mercato sono:

- Wall-box:
  - 3,7 kW, in ambito domestico
  - 7,4 kW, in ambito domestico e pubblico
  - 22 kW, in ambito pubblico
- Colonnine:
  - 7,4 kW
  - 22 kW, con 1 o 2 prese di ricarica (22 kW per ogni presa)
  - 43 kW
  - 50 kW in corrente continua

Oltre alle taglie elencate esistono delle eccezioni, si arriva, infatti, fino ai 120 kW di potenza del sistema “Tesla Supercharger”. Enel, insieme ad Ionity, ha intenzione di installare, entro fine 2018, la prima stazione di ricarica ultrafast in Italia, da 350kW.

Esistono diverse modalità di ricarica da colonnina; le alternative principali sono la ricarica in corrente continua e la ricarica in corrente alternata. Lo standard IEC 61851-1 (“Electric

vehicle conductive charging system” del 2010) individua 4 differenti modalità di ricarica che dipendono da alcuni fattori:

- Tipologia di corrente che ricarica il veicolo (corrente continua, alternata monofase e alternata trifase)
- Valore della tensione
- Presenza di messa a terra e di linee di controllo per un dialogo monodirezionale o bidirezionale tra auto elettrica e colonnina di ricarica
- Presenza e posizionamento di dispositivi di sicurezza

Le 4 modalità di ricarica sono denominate “Modo 1”, “Modo 2”, “Modo 3” e “Modo 4”; nelle prime tre alternative la ricarica avviene con corrente alternata, soltanto con la modalità “Modo 4” la ricarica avviene in corrente continua.

Le 4 modalità verranno ora analizzate più nel dettaglio.

Modo 1: il veicolo è connesso all’infrastruttura di ricarica attraverso un sistema presa-spina standard; il dialogo è monodirezionale e non è presente un interruttore differenziale sul cavo. Questo sistema supporta una corrente massima di 16 A e una tensione massima pari a 250V monofase o 480V trifase. La potenza massima di ricarica varia tra 3,7 kW e 7,4 kW e questa modalità di ricarica può essere utilizzata soltanto in ambito domestico (non ammessa per motivi di sicurezza in alcuni paesi, ad esempio USA) ed è quasi esclusivamente utilizzata per la ricarica di biciclette elettriche o scooter elettrici.



Figura 22 Schema di ricarica Modo 1 (fonte: E-Mobility REPORT 2017)

Modo 2: : il veicolo è connesso all’infrastruttura di ricarica attraverso un sistema presa-spina standard; il dialogo è monodirezionale ed è presente un interruttore differenziale sul cavo. Questo sistema supporta una corrente massima di 16 A (in ambito domestico) e di 32 A (in ambito industriale) e una tensione massima pari a 250V monofase o 480V trifase.

Sul cavo di alimentazione è inoltre installato un sistema di controllo PWM (Pulse-Width Modulation) per motivi di sicurezza.

Questa modalità di ricarica è utilizzabile in ambito domestico e industriale (ad esempio, ricarica privata nel parcheggio di un'azienda), ma non in ambito pubblico ed è adatto per una ricarica lenta (6-8 ore) dell'autoveicolo.

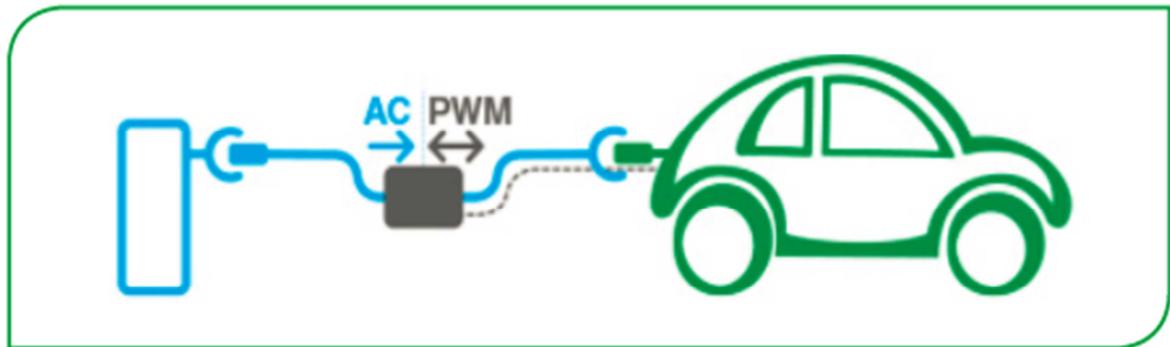


Figura 23 Schema di ricarica Modo 2 (fonte: E-Mobility REPORT 2017)

Modo 3: il veicolo è connesso alla rete attraverso una presa, in corrente alternata, dedicata. La ricarica può essere effettuata con corrente fino a 63 A e tensione pari a 230/400 V, la potenza massima può quindi variare da 3 kW a 22 kW. È necessaria l'installazione di un controllore di ricarica nella colonnina che dialoghi con il caricatore a bordo del veicolo. Inoltre, è installato un sistema di sicurezza PWM, ma, a differenza del Modo 2, esso è installato all'interno dell'infrastruttura di ricarica.

Questa modalità di ricarica è utilizzabile in ambito domestico, industriale e pubblico ed è adatto per ricariche lente, accelerate (circa 1-2 ore).

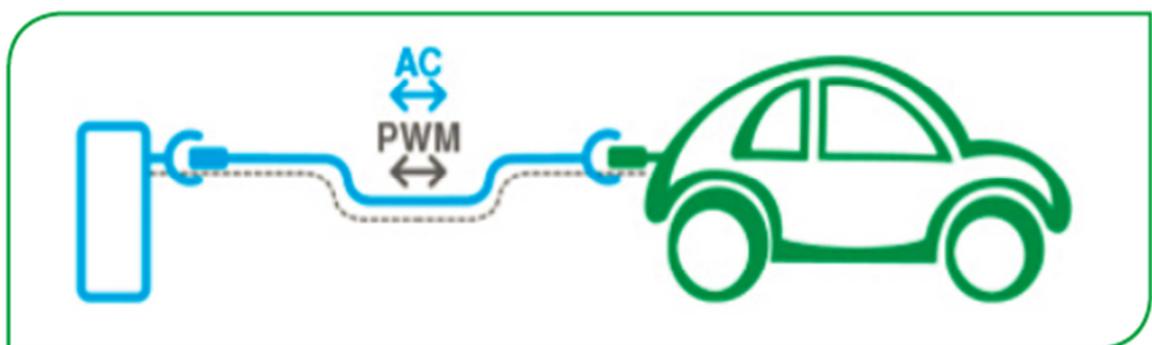


Figura 24 Schema di ricarica Modo 3 (fonte: E-Mobility REPORT 2017)

Modo 4: nell'ultima modalità di ricarica la corrente arriva alla colonnina in alternata, dove viene convertita in corrente continua. I sistemi di controllo e di sicurezza installati sono simili a quelli descritti nella tipologia di ricarica precedente. Mediante PWM vengono inviati dei segnali che vengono utilizzati per capire se il veicolo è connesso in modo corretto e se è pronto per la ricarica; finché il segnale non è quello corretto la carica non viene avviata. Questa tipologia di ricarica può essere utilizzata in ambito domestico industriale e pubblico per ricariche veloci del veicolo.

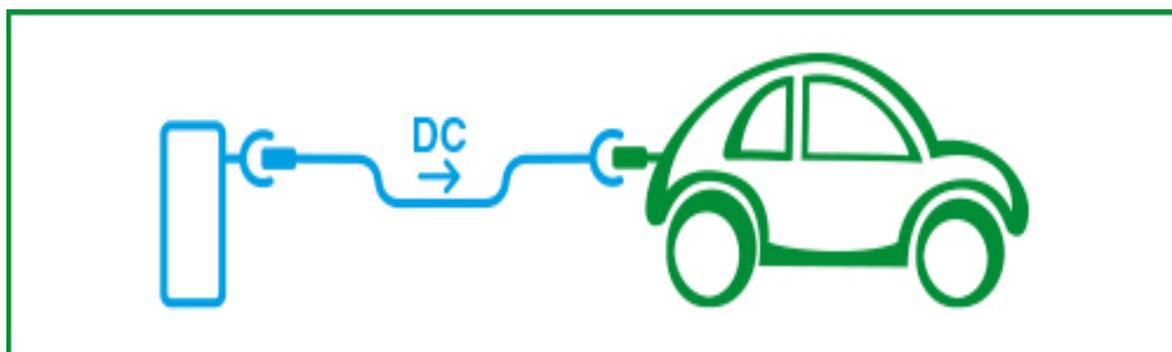


Figura 25 Schema di ricarica Modo 4 (fonte: E-Mobility REPORT 2017)

Nella tabella seguente sono riassunte le caratteristiche più importanti delle 4 tipologie di ricarica.

Modalità	Intervallo di corrente	Intervallo di potenza	Tipologia di ricarica	Ambito di utilizzo
Modo 1	Fino a 16 A	3-7 kW	Lenta	Domestico
Modo 2	Fino a 16 A (domestico) Fino a 32 A (industriale)	3-7 kW	Lenta	Domestico Industriale
Modo 3	Fino a 63 A	3-22 kW	Lenta Accelerata	Domestico Industriale Pubblico
Modo 4	Da 80 A fino a 200 A	> 22 kW	Veloce	Domestico Industriale Pubblico

Tabella 2 Caratteristiche principali delle 4 modalità di ricarica di auto elettriche

Per ogni modalità di ricarica descritta precedentemente esistono e sono utilizzati differenti connettori; per motivi di chiarezza verranno inizialmente riassunti nella tabella seguente.

Modalità	Connettore
Modo 1	Spina Schuko Spina Industriale
Modo 2	Schuko/industriale Tipo 1 Tipo 2 Tipo 3a Tipo 3b
Modo 3	Tipo 1 Tipo 2 Tipo 3a Tipo 3b
Modo 4	CHAdeMO CCS Combo

Tabella 3 Connettori utilizzati per ogni modalità di ricarica.

Schuko: le spine elettriche di tipo Schuko sono utilizzate per caricare i veicoli in Modo 1; come già detto, però, questa modalità di ricarica viene utilizzata quasi esclusivamente per la ricarica di biciclette o scooter elettrici.



Figura 26 Presa Schuko

La ricarica di veicoli elettrici in modo 2 e in modo 3 prevede l'utilizzo di una presa, in corrente alternata dedicata, almeno lato veicolo. Si possono utilizzare 4 tipologie di connettori.

Tipo 1: il connettore di tipo 1 (Yazaki) funziona con corrente AC monofase e può erogare al massimo 32 Ampere e 230 V. Questo connettore si trova solamente sul lato veicolo. La presa di tipo 1 ha grado di protezione IPXXB secondo la norma EN 60529 (protetto contro l'accesso con un dito).



Figura 27 Connettore Tipo 1 (fonte: E-Mobility REPORT 2017)

Tipo 2: Il connettore di tipo 2 (Mennekes) funziona con corrente alternata sia monofase che trifase e eroga fino a 32/63A e 230/400V. Questo connettore si trova sia lato veicolo che lato colonnina e ha un grado di protezione IPXXB.



Figura 28 Connettore Tipo 2 (fonte: E-Mobility REPORT 2017)

Tipo 3a: il connettore di tipo 3 (Scame) funziona con corrente alternata solo monofase ed eroga al massimo 16A e 230V. Questo connettore si trova solo lato colonnina ed è utilizzato esclusivamente per veicoli leggeri. Il grado di protezione è IPXXD (protetto contro l'accesso con un filo).



Figura 29 Connettore Tipo 3a (fonte: E-Mobility REPORT 2017)

Tipo 3c: il connettore di tipo 3c (Scame) funziona con corrente alternata sia monofase che trifase, i parametri massimi di funzionamento sono 32/63A e 230/400V. Questo connettore si trova solo lato colonnina ed è ormai in disuso. Il grado di protezione è IPXXD.



Figura 30 Connettore Tipo 3c (fonte: E-Mobility REPORT 2017)

Per la ricarica del veicolo elettrico in corrente continua esistono 2 tipologie di connettori. CHAdeMO: il connettore CHAdeMO è il più utilizzato a livello mondiale per la ricarica veloce in corrente continua. Viene utilizzato principalmente da Nissan, Peugeot, Citroen e Mitsubishi. I veicoli che utilizzano questo connettore sono anche provvisti di un connettore (solitamente Tipo 1) per la ricarica lenta in corrente alternata.



Figura 31 Connettore CHAdeMO (fonte: E-Mobility REPORT 2017)

Combo CCS: CCS significa “Combined Charging System”; si tratta di un connettore unico che permette di effettuare sia la ricarica rapida in DC sia la ricarica in AC. In Europa prende il nome di Combo 2 perché è realizzato a partire dal connettore Tipo 2 Mennekes. Viene utilizzato principalmente da BMW e Volkswagen.



Figura 32 Connettore CCS Combo 2 (fonte: E-Mobility REPORT 2017)

In Europa sono stati individuati, con la direttiva 2014/94/UE 3 connettori che devono essere utilizzati nelle varie condizioni di ricarica.

Nel caso di ricarica in AC la modalità di ricarica sarà il Modo 3 e si dovrà utilizzare il connettore Tipo 2.

Nel caso di ricarica in DC (Modo 4) si potranno utilizzare entrambi i connettori CHAdeMO e Combo CCS (il CHAdeMO sarà, però, uno standard valido in Europa soltanto fino al termine del 2018).

I produttori di auto tedeschi (Audi, BMW, Mercedes) preferiscono utilizzare lo standard Combo CCS; le case automobilistiche giapponesi, Nissan in primis, utilizzano lo standard CHAdeMO.

## 2.2 Installazione di colonnine di ricarica – opportunità

Le colonnine elettriche garantiscono alcuni vantaggi a chi decide di installarle per uso pubblico:

- Richiamo – L'utente, possessore di veicolo elettrico, si dirigerà verso i punti di interesse (hotel, supermercati, ristoranti) dove potrà effettuare una ricarica. I sistemi di ricarica sono inseriti in apposite mappe a disposizione di tutti i proprietari di veicoli elettrici (Es. chargemap).

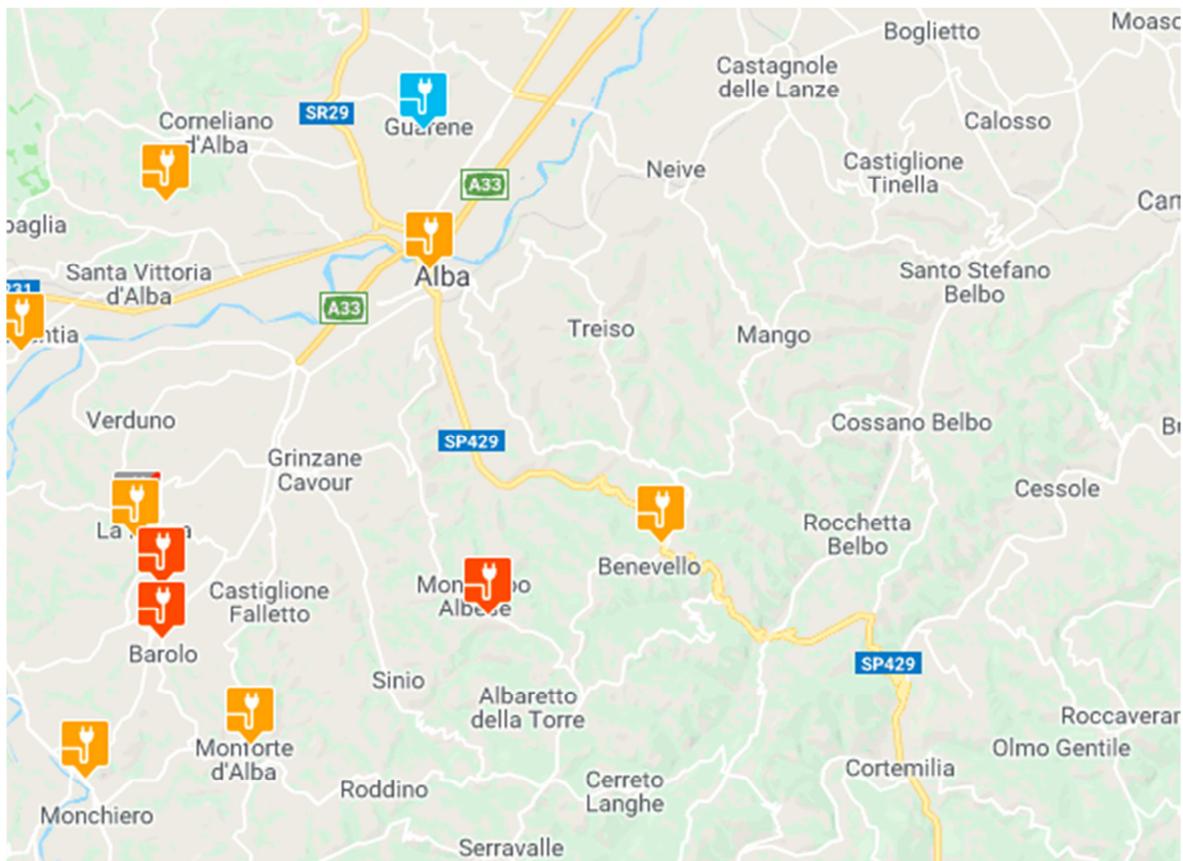


Figura 33 Zona di Alba e dintorni su Chargemap (<https://chargemap.com/map>)

- Marketing – la presenza di una colonnina elettrica rafforza l'immagine dell'attività che la installa.
- Passaggio – I transiti occasionali si possono dirigere appositamente verso una colonnina di ricarica in caso di bisogno; durante il tempo della ricarica diventeranno clienti dell'hotel, del ristorante o del supermercato che fornisce il servizio.
- Pubblicità – Le colonnine sono dotate di schermi digitali su cui possono passare messaggi pubblicitari (fonte di guadagno per l'attività che ospita la colonnina).

Dunque, l'installazione di un parcheggio con delle infrastrutture di ricarica si traduce in un ottimo vantaggio per l'attività che la ospita.

La scelta della colonnina da installare va effettuata con criterio e dipende dal tempo medio di sosta e, di conseguenza, dall'attività che intende installarla. Considerando che attualmente la capacità media di una batteria, come vedremo in seguito, si aggira intorno ai 25 kWh si può supporre:

- Hotel – Il cliente si ferma almeno per il pernottamento, si hanno a disposizione almeno 8 ore di ricarica; è sufficiente installare colonnine che permettano una ricarica lenta (potenza 3,7 kW o 7,4 kW).
- Ristorante – Si hanno a disposizione fino a 2 ore; la potenza da installare varia tra 7,4 kW e 22 kW.
- Supermercato/centro commerciale – Il tempo a disposizione varia da 1/2h a 3 ore, si potrebbero installare anche colonnine per ricarica veloce (con potenza maggiore di 22 kW).
- Musei/Cinema/Teatro – Permanenza media di 2-3 ore, sono sufficienti colonnine da 7,4 kW.
- Soste in autostrada – Sono necessarie colonnine in corrente continua per la ricarica veloce (50 kW di potenza).

Le considerazioni precedenti sono valide compatibilmente con la potenza disponibile dove si intende installare la colonnina; se la potenza della colonnina eccede i limiti di contratto si può richiedere un aumento di potenza al fornitore di energia elettrica, se la potenza supera anche la potenza supportata dalla cabina secondaria è necessario richiedere una manovra in cabina all'Enel.

## 2.3 L'auto elettrica

Nei primi 3 trimestri del 2016 sono state vendute, nel mondo, 518.000 auto elettriche, con un aumento del 53% rispetto allo stesso periodo del 2015 (in tutto il 2015 le vendite sono state 550.000); alla fine del 2016 le vendite sono state di circa 800.000 unità (Si considerano qui sia le auto completamente elettriche sia le auto Plug-In Hybrid).

Nel 2017 le vendite totali sono state circa 1.300.000, con un incremento del 62% rispetto all'anno precedente. Nel primo trimestre del 2018 i risultati continuano ad essere incoraggianti, sono state vendute, infatti, più di 300.000 auto elettriche, con un incremento del 58% rispetto ai primi 3 mesi del 2017.

Con 132.000 unità vendute sulle 300.000 totali, la Cina si conferma primo mercato mondiale; in seconda posizione troviamo il mercato Europeo (93.000 vendite) e sul gradino più basso del podio gli Stati Uniti (55.000 auto vendute).

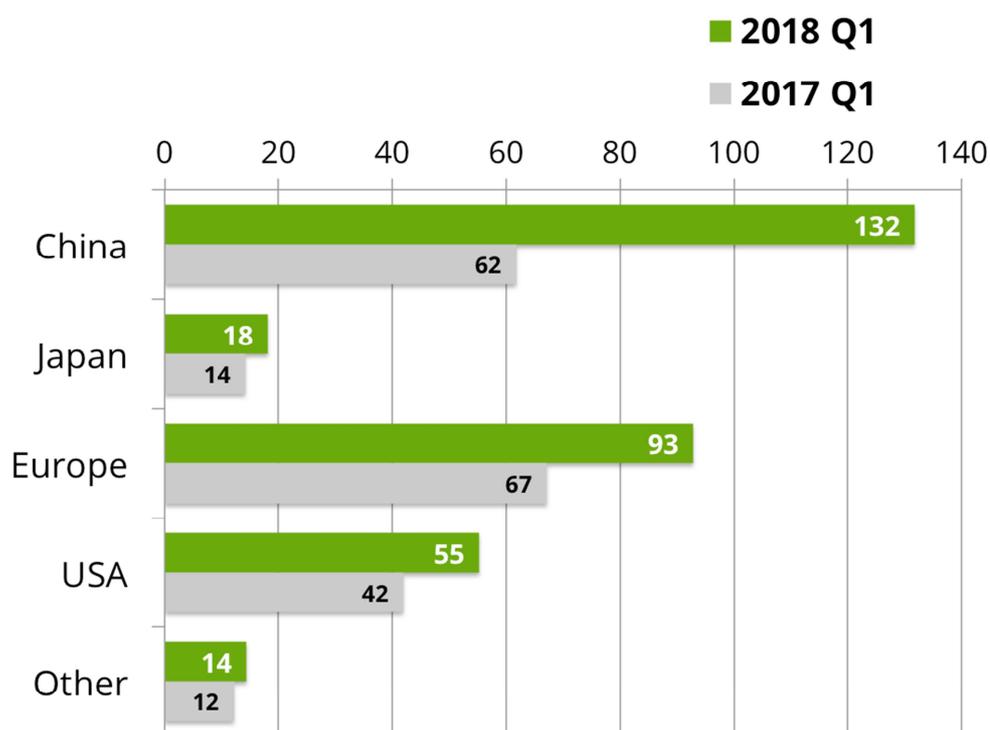


Figura 34 Confronto vendite di auto BEV+PHEV nei primi trimestri di 2017 e 2018 – valori in migliaia (fonte: EV-Volumes.com)

Le auto completamente elettriche (BEV) rappresentano una quota del 60% (fino al 68% nel 2017) del totale di auto elettriche vendute.

Olanda e Norvegia sono i mercati più floridi in Europa, circa il 40% di veicoli elettrici immatricolati nel continente è norvegese o olandese; più indietro troviamo Regno Unito (14%), Francia (12%) e Germania (12%).

L'Italia pesa per circa 1 punto percentuale nel mercato europeo. Per fare un confronto si può dire che nel 2016 sono state vendute in Italia 1370 auto elettriche (BEV), meno dello 0,1% del totale delle auto vendute in Italia in quell'anno, mentre in Norvegia le immatricolazioni di veicoli elettrici sono state il 23%.

Nel 2017 sono stati venduti 1879 veicoli elettrici che rappresentano lo 0,1% del totale; nel 2018 si può osservare una crescita abbastanza importante nelle vendite di auto BEV (4000 vendite entro ottobre, lo 0,26% del totale), inoltre sono state importanti anche le vendite di auto PHEV (circa 3700 auto Plug-In Hybrid vendute fino a ottobre 2018). La crescita nelle vendite è apprezzabile osservando la figura seguente.

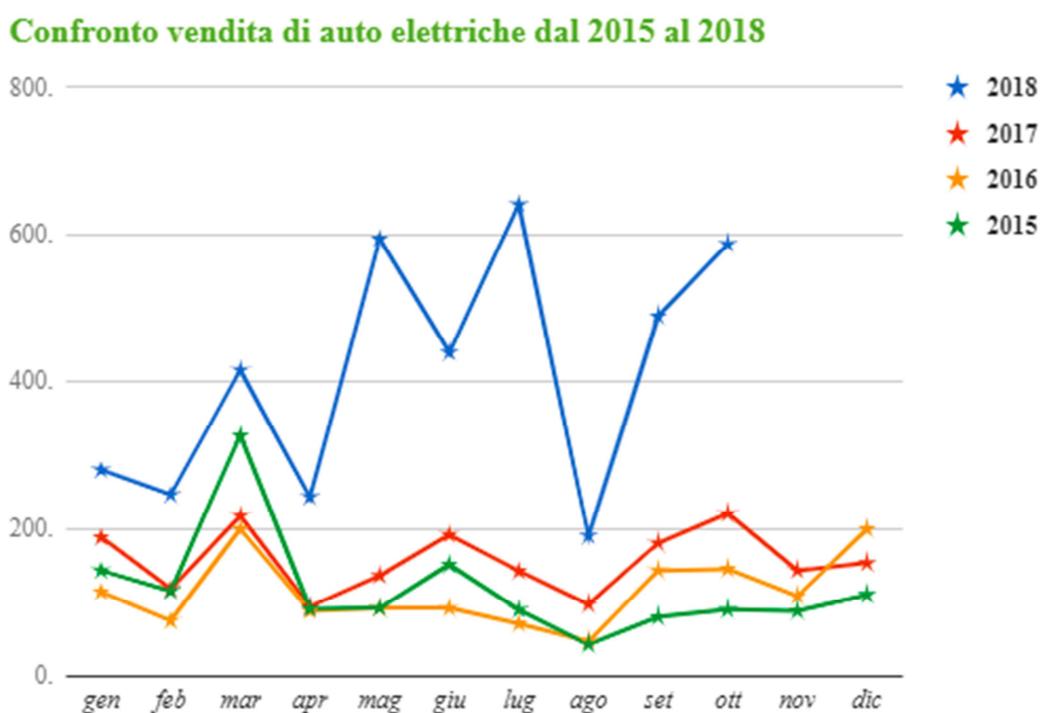


Figura 35 Vendite di auto elettriche (BEV) in Italia (fonte: greenstart.it)

Come si può notare l'andamento delle vendite, nel corso del 2018, si discosta positivamente dall'andamento degli anni precedenti. Nel mese di maggio 2018, ad esempio, sono state vendute circa 600 auto elettriche contro le 150 dello stesso mese del 2017, a luglio la soglia delle 600 auto vendute è stata addirittura superata.

L'E-Mobility Report, già citato in precedenza, indica 2 scenari differenti di crescita per la mobilità elettrica in Italia: uno scenario denominato "EV pull" e uno scenario denominato "PNIRE push".

Scenario "EV pull": in questo scenario si è stimato, intervistando gli operatori di settore, il numero di auto elettriche che circoleranno in Italia nel 2020, da cui si otterrà il numero di colonnine da installare, secondo i concetti espressi nella Figura 19. Secondo gli operatori di settore tra l'inizio del 2017 e la fine del 2020 verranno venduti 70.000 veicoli elettrici (la quota di mercato delle auto elettriche arriverà fino al 2%). Supponendo di voler raggiungere un rapporto veicolo elettrico/punto di ricarica pari a 1 dovranno essere presenti complessivamente, nel 2020, 70.000 colonnine di ricarica, il cui 10%, 7.000 colonnine, dovrà essere pubblico. La sostituzione di 70.000 veicoli causerebbe l'emissione, in media, di 63mila tonnellate di anidride carbonica all'anno, una diminuzione del 54% rispetto alle 136.000 tonnellate che emetterebbero i veicoli tradizionali.

Scenario "PNIRE push": secondo questo scenario, la creazione di una rete di colonnine di ricarica fornirà il pretesto per l'aumento della quota di mercato dei veicoli elettrici. Il PNIRE (Piano Nazionale Infrastrutturale per la Ricarica dei veicoli alimentati ad energia Elettrica), del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, ha come obiettivo l'installazione di 4.500-13.000 colonnine di ricarica pubbliche di potenza minore o uguale a 22kW e di 2.000-6.000 colonnine di potenza superiore a 22kW. La stima di veicoli immatricolati entro il 2020 si alza fino a 130.000, con una riduzione di CO2 da 253.000 tonnellate a 138.000 tonnellate annue. Il periodico "Nuova Energia" ha svolto un sondaggio sull'auto elettrica che ha coinvolto 1.012 intervistati; il 60,5% degli intervistati afferma che il punto debole dell'auto elettrica è la difficoltà a fare rifornimento, principalmente a causa del numero esiguo di colonnine presenti che, quindi, potrebbero essere occupate. Questo risultato indica che un aumento di punti di ricarica faciliterà anche la diffusione di veicoli elettrici, così come nei piani del PNIRE. Secondo i 2 scenari individuati in precedenza, si vedrà una forte crescita del parco di veicoli elettrici circolanti in Italia; per veicoli elettrici, in questa analisi, si considerano solamente i veicoli denominati "plug-in" e cioè i veicoli che si connettono alla rete elettrica per la ricarica. Come già anticipato esistono almeno 2 tipologie di veicoli "plug-in": i veicoli elettrici veri e propri (BEV) e i veicoli Plug-In Hybrid (PHEV).

BEV significa “Battery-Electric Vehicle” e indica un veicolo che è dotato soltanto di uno o più motori elettrici, alimentati da batterie che devono necessariamente essere ricaricate utilizzando la rete elettrica.

PHEV significa “Plug-In Hybrid Electric Vehicle” e indica un veicolo dotato di due propulsori che lavorano insieme: un motore elettrico e un motore a combustione interna convenzionale. In condizioni normali la propulsione deriva dal motore elettrico, quando la batteria è scarica o durante accelerazioni rapide interviene il motore termico. I veicoli PHEV sono differenti dai veicoli ibridi classici; questi ultimi infatti sono caratterizzati da batterie di capacità minore e non possono essere connessi alla rete elettrica per la ricarica.

Esiste un’ultima categoria di veicolo elettrico “plug-in”: i veicoli E-REV.

E-REV significa “Extended Range Electric Vehicle”, sono veicoli simili ai PHEV, ma caratterizzati da un motore a combustione interna di dimensioni minori, che ha soltanto la funzione di generatore di energia elettrica per la ricarica della batteria.

Nella tabella seguente vengono riassunte le caratteristiche di alcuni modelli di BEV, PHEV e E-REV.

Marca e modello	Tipologia	Costo (€)	Potenza (kW)	Batteria (kWh)	Consumo (kWh/100km)	Autonomia dichiarata (km)
Nissan Leaf	BEV	36.360	110	40	~19	250
Renault Zoe	BEV	33.800	68	41	~17	370
BMW i3	BEV	39.150	125	27,2	~16	245
Kia Soul Eco Electric	BEV	37.000	81,4	27	~15	212
Tesla Model S 100D	BEV	117.650	386	100	~20	632
Mitsubishi Outlander	PHEV	47.800	60	12	~20	54
Toyota Prius Plug In	PHEV	41.650	53	8,8	-	50
BMW i3 Range Extender	E-REV	43.850	125	27,2	~16	330

Tabella 4 Alcuni modelli di auto BEV, PHEV e E-REV sul mercato

Per le auto BEV la capacità della batteria varia, in media, tra i 15 kWh e i 40 kWh (fatta eccezione per la Tesla che arriva a 100 kWh); Le auto Plug-In Hybrid sono, invece, caratterizzate da batterie di capacità minore. Per quanto riguarda i consumi dichiarati si va dai 16 kWh/100km della BMW i3 fino ai 20 kWh/100km della Tesla Model S.

I dati di potenza e di autonomia relativi alle auto PHEV riguardano il funzionamento a motore soltanto elettrico.

La BMW i3 Range Extender è dotata di un motore benzina bicilindrico da circa 50CV che funziona esclusivamente da generatore di energia elettrica e permette di portare l'autonomia fino a 330km.

Potrebbe essere interessante studiare le modalità di ricarica di alcune auto elettriche.

Nissan Leaf: ricarica in corrente alternata con presa di tipo 2 (Mennekes) alla potenza massima di 7,4kW (32A e 230V monofase), oppure ricarica veloce in corrente continua con standard CHAdeMO (fino a 50kW). Una ricarica completa alla potenza di 7,4kW si completa in circa 5,4 ore, compatibile con una ricarica notturna, mentre la ricarica Modo 4 in corrente continua permette di ricaricare l'80% della batteria in circa 45 minuti.

BMW i3: ricarica in corrente alternata alla potenza massima di 7,4kW; si utilizza un connettore di ricarica CCS Combo2 che permette la ricarica sia in corrente alternata che in corrente continua, fino ad una potenza massima di 50kW. Utilizzando un sistema di ricarica veloce in DC è possibile caricare la batteria all'80% in meno di 30 minuti.

Mitsubishi Outlander: la ricarica può avvenire in corrente alternata in Modo 2 o Modo 3 e utilizzando il connettore Tipo 2 (Mennekes); la potenza massima di ricarica è 3,7kW (16A e 230V monofase). Una ricarica completa, alla potenza massima possibile in AC, avviene in poco più di tre ore. L'auto supporta anche una ricarica veloce in DC con standard CHAdeMO alla potenza massima di 50kW.

Renault Zoe: ricarica esclusivamente in corrente alternata. Supporta fino a 43kW.

Sono stati analizzati i sistemi di ricarica di 4 auto diverse; 2 BEV che utilizzano standard diversi per la ricarica veloce, un modello BEV che non supporta la ricarica DC e un modello PHEV. Come si può notare la potenza massima per la ricarica in AC è di 7,4kW (escludendo Renault Zoe e pochi altri modelli) ,ma la tendenza è di aumentare la potenza fino almeno a 22kW.

Inoltre, Nissan Leaf e Mitsubishi Outlander sono i modelli di auto elettrica, rispettivamente BEV e PHEV, più venduti in Europa, nel 2018.

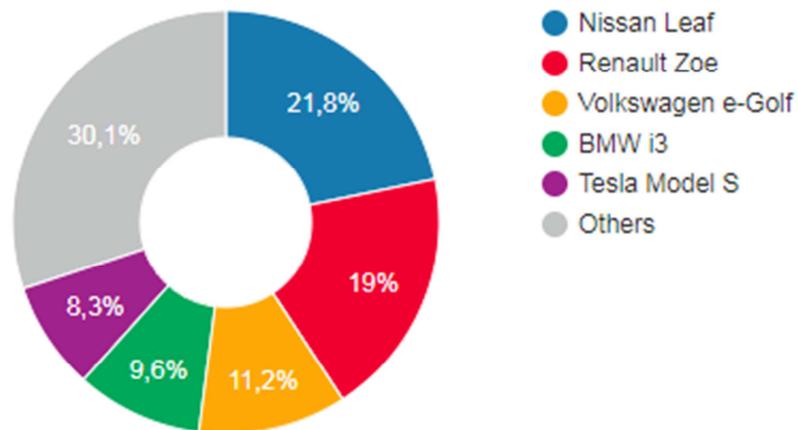


Figura 36 Auto BEV più vendute in Europa (fonte eafo.eu)

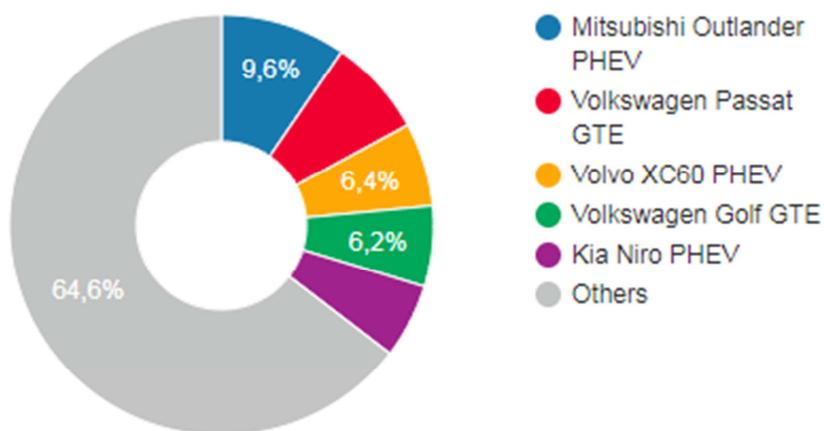


Figura 37 Auto PHEV più vendute in Europa (fonte: eafo.eu)

L'acquisto di un'auto elettrica comporta ancora molti svantaggi: autonomia limitata, investimento elevato e mancanza di una rete di ricarica abbastanza diffusa. Ma allo stesso tempo è vantaggioso per altri motivi: esenzione dal pagamento del bollo, libero accesso alle ZTL, esenzione dal pagamento del parcheggio nelle strisce blu, costo di rifornimento e manutenzione ridotto. Inoltre, la diffusione delle auto elettriche è anche occasione di sviluppo delle energie rinnovabili. L'utilizzo dei veicoli elettrici come accumulatori di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili intermittenti (in particolare fotovoltaico ed eolico) è una possibile strada da percorrere per la lotta ai cambiamenti climatici e all'inquinamento.

## 3.INSTALLAZIONE DI COLONNINE DI RICARICA

---

In questo capitolo verrà analizzata la proposta di installazione di colonnine di ricarica elettrica formulata da EGEA; in particolare, verranno analizzati alcuni scenari di crescita nelle vendite e di utilizzo di auto elettriche, in modo da sviluppare un Business Plan consistente.

### 3.1 La proposta EGEA

Lo schema di proposta Egea comprende 4 diverse tipologie di clienti:

- Business to Government (B2G) – installazione delle colonnine presso le sedi dei vari Comuni interessati, l'utilizzo sarà pubblico. Il costo della colonnina e della gestione è sostenuto da Egea.
- Business to Business (B2B) – Installazione presso hotel, ristoranti, supermercati, stazioni di benzina e altre attività interessate, l'utilizzo sarà pubblico (clientela e clienti occasionali). Il costo della colonnina e di gestione è sostenuto da Egea, oppure in compartecipazione con l'attività.
- Sedi Egea – installazione presso le varie sedi Egea del territorio, utilizzo pubblico e privato. Il costo della colonnina e di gestione è sostenuto da Egea.
- Retail – installazione presso la clientela residenziale per un utilizzo privato. Costo della colonnina e gestione a carico del cliente.

Si è ipotizzata l'installazione della stessa tipologia di colonnina per i primi 3 casi; la potenza di ricarica sarà di 22 kW in corrente alternata e la colonnina sarà dotata di 2 prese e, di conseguenza, saranno necessari 2 parcheggi riservati.

Per quanto riguarda la vendita Retail verranno installate delle wall box con potenza di ricarica limitata a 3,7 kW, compatibile con un contratto luce-casa standard.

È stata, inoltre, ipotizzata la capacità di accumulo media della batteria pari a 25kWh, sulla base dei dati riportati nella tabella 4.

Vengono identificati 3 scenari di frequenza di ricarica:

- Scenario PESS – scenario pessimistico, in linea con le statistiche attuali di ricarica in Italia (circa 80-100 ricariche complete all'anno, secondo le statistiche di Enel Drive).
- Scenario REAL – scenario realistico, in linea con le stime.

- Scenario OPTI – scenario ottimistico, frequenza di ricarica ottimale.

Inoltre, parallelamente vengono considerati 3 scenari di vendita e di diffusione di auto elettriche sul territorio interessato; gli scenari sono stati ipotizzati basandosi sulle stime di vendita, in Italia e in alcuni paesi europei, trattate nei capitoli precedenti.

- Crescita bassa (BS) – sviluppo modesto negli anni, inferiore alle stime.
- Crescita standard (ST) – sviluppo in linea con le stime.
- Crescita accelerata (AC) – sviluppo in linea con i paesi europei più sviluppati.

Gli scenari di frequenza di ricarica e di diffusione di auto elettriche sono dipendenti tra di loro; l'ipotesi utilizzata nei calcoli è riassunta nella tabella seguente; il numero di ricariche per colonnina è stato supposto partendo dai risultati ottenuti in [8].

	Ricariche complete per colonnina			
<b>BS</b>	Diffusione auto elettriche - crescita bassa			
	B2G	Sedi EGEA	B2B	Retail
PESS	50	100	100	36
REAL	100	200	300	72
OPTI	200	400	600	90

	Ricariche complete per colonnina			
<b>ST</b>	Diffusione auto elettriche - crescita standard			
	B2G	Sedi EGEA	B2B	Retail
PESS	50	100	100	36
REAL	200	300	400	72
OPTI	400	600	800	90

	Ricariche complete per colonnina			
<b>AC</b>	Diffusione auto elettriche - crescita accelerata			
	B2G	Sedi EGEA	B2B	Retail
PESS	50	100	100	36
REAL	500	400	500	72
OPTI	1000	1000	1000	90

Tabella 5 Numero di ricariche complete all'anno per colonnina, in funzione dei vari scenari

Si può notare come nei casi B2B, B2G e sedi Egea il numero di ricariche complete all'anno vari in funzione dello scenario di diffusione delle auto elettriche. Nel caso di vendita Retail si ipotizza, invece, che chi compra l'auto elettrica la utilizzi indipendentemente dallo sviluppo della vendita delle auto; le ricariche complete, in questo caso, variano da 36 all'anno

(corrispondente a circa 5000 km percorsi, ipotizzando un consumo medio pari a 18 kWh/100km) a 90 (circa 12500 km).

In base al numero di ricariche annuali ipotizzato è stato calcolato in quale condizioni la colonnina possa sostenersi economicamente. In questa fase sono stati anche supposti i costi di gestione, di manutenzione e dell'energia elettrica.

### B2G

Nel caso di installazione di colonnine pubbliche sono state considerate 4 tariffe di vendita dell'energia elettrica:

- 0,26 €/kWh – costo paragonabile al costo di fornitura elettrica commerciale.
- 0,35 €/kWh – costo di ricarica concorrenziale.
- 0,41 €/kWh – costo in linea rispetto ai prezzi di ricarica praticati da altre compagnie (ad esempio, Alperia società che opera in Trentino Alto Adige).
- 0,50 €/kWh – costo superiore rispetto ai concorrenti.

I costi di cui tenere conto sono:

- Costi di gestione e di fatturazione – stimati in 150 €/anno.
- Costo fornitura energia elettrica commerciale – 0,26 €/kWh.
- Costi di manutenzione – 70 €/anno + 0,2€/ricarica.

Ora, basandosi anche sulle informazioni presenti nella tabella seguente, si possono fare delle considerazioni economiche sulle singole colonnine. I primi risultati riguarderanno lo scenario di crescita bassa (BS)

<b>B2G – scenario BS</b>			
Ipotesi	OPTI	REAL	PESS
Presa su colonnina	2	2	2
Tempo ricarica (h)	1	1	1
Ore giorno disponibili	24	24	24
Giorni anno ricariche	200	200	200
Ricariche giornaliere	1	0,5	0,25
Ricariche totali all'anno	<b>200</b>	<b>100</b>	<b>50</b>

Tabella 6 B2G, alcune informazioni utili (B2G - scenario BS)

In una prima fase sono stati valutati i ricavi annuali della singola colonnina nei vari scenari, variando anche il prezzo dell'energia elettrica.

$$R = C_{E\_bat} \cdot C_E \cdot N_{ric}$$

Dove:

- R: ricavi (€)
- $C_{E\_bat}$ : capacità di accumulo della batteria (kWh)
- $C_E$ : costo dell'energia elettrica (€/kWh)
- $N_{ric}$ : numero di ricariche complete all'anno.

	Capacità Batteria 25 kWh			
Ricavi - BS	Costo ricarica €/kWh			
Ipotesi (netto IVA)	0,26	0,35	0,41	0,50
OPTI	€ 1.300	€ 1.750	€ 2.050	€ 2.500
<b>REAL</b>	<b>€ 650</b>	<b>€ 875</b>	<b>€ 1.025</b>	<b>€ 1.250</b>
PESS	€ 325	€ 438	€ 513	€ 625

Tabella 7 Ricavi B2G, scenario BS

A questo punto è possibile ricavare l'utile lordo ( $U_L$ ) della colonnina come:

$$U_L = R - costi$$

I costi considerati sono riassunti nella tabella seguente:

Costi - B2G		
Gestione - fatturazione	<b>150</b>	€/anno
Costo EE	<b>0,260</b>	€/kWh
Manutenzione	<b>70</b>	€/anno
	<b>0,2</b>	€/ricarica

Tabella 8 Costi B2G

I risultati sono:

	Capacità Batteria 25 kWh			
Utile Lordo - BS	Costo ricarica €/kWh			
Ipotesi	0,26	0,35	0,41	0,5
OPTI	-€ 410	€ 40	€ 340	€ 790
<b>REAL</b>	<b>-€ 390</b>	<b>-€ 165</b>	<b>-€ 15</b>	<b>€ 210</b>
PESS	-€ 380	-€ 268	-€ 193	-€ 80

Tabella 9 Utile lordo di una colonnina, nello scenario di crescita bassa

Come si può notare, nello scenario di crescita bassa, le colonnine iniziano a produrre un utile positivo solo a partire dallo scenario OPTI, con tariffa minima di 0,35 €/kWh; lo scenario PESS porta sempre a perdite.

È possibile, ora, vedere gli stessi risultati anche per gli scenari di crescita standard e di crescita accelerata:

<b>B2G - ST</b>			
Ipotesi	OPTI	REAL	PESS
Presa su colonnina	2	2	2
Tempo ricarica (h)	1	1	1
Ore giorno disponibili	24	24	24
Giorni anno ricariche	200	200	200
Ricariche giornaliere	2	1	0,25
Ricariche totali all'anno	<b>400</b>	<b>200</b>	<b>50</b>

Capacità Batteria 25 kWh				
<b>Ricavi - ST</b>	Costo ricarica €/kWh			
Ipotesi (netto IVA)	<b>0,26</b>	<b>0,35</b>	<b>0,41</b>	<b>0,50</b>
OPTI	€ 2.600	€ 3.500	€ 4.100	€ 5.000
<b>REAL</b>	<b>€ 1.300</b>	<b>€ 1.750</b>	<b>€ 2.050</b>	<b>€ 2.500</b>
PESS	€ 325	€ 438	€ 513	€ 625

Capacità Batteria 25 kWh				
<b>Utile Lordo - ST</b>	Costo ricarica €/kWh			
Ipotesi	<b>0,26</b>	<b>0,35</b>	<b>0,41</b>	<b>0,5</b>
OPTI	-€ 450	€ 450	€ 1.050	€ 1.950
<b>REAL</b>	<b>-€ 410</b>	<b>€ 40</b>	<b>€ 340</b>	<b>€ 790</b>
PESS	-€ 380	-€ 268	-€ 193	-€ 80

Tabella 10 Ricavi e Utile Lordo B2G - scenario ST

Per quanto riguarda lo scenario di crescita standard si inizia ad avere un utile positivo a partire dallo scenario REAL con prezzo dell'energia elettrica pari a 0,35 €/kWh.

<b>B2G - AC</b>			
Ipotesi	OPTI	REAL	PESS
Presa su colonnina	2	2	2
Tempo ricarica (h)	1	1	1
Ore giorno disponibili	24	24	24
Giorni anno ricariche	200	200	200
Ricariche giornaliere	5	2,5	0,25
Ricariche totali all'anno	<b>1000</b>	<b>500</b>	<b>50</b>

Capacità Batteria <b>25 kWh</b>				
Ricavi	Costo ricarica €/kWh			
Ipotesi (netto IVA)	<b>0,26</b>	<b>0,35</b>	<b>0,41</b>	<b>0,50</b>
OPTI	€ 6.500	€ 8.750	€ 10.250	€ 12.500
<b>REAL</b>	<b>€ 3.250</b>	<b>€ 4.375</b>	<b>€ 5.125</b>	<b>€ 6.250</b>
PESS	€ 325	€ 438	€ 513	€ 625

Capacità Batteria <b>25 kWh</b>				
Utile Lordo	Costo ricarica €/kWh			
Ipotesi	<b>0,26</b>	<b>0,35</b>	<b>0,41</b>	<b>0,5</b>
OPTI	-€ 570	€ 1.680	€ 3.180	€ 5.430
<b>REAL</b>	<b>-€ 470</b>	<b>€ 655</b>	<b>€ 1.405</b>	<b>€ 2.530</b>
PESS	-€ 380	-€ 268	-€ 193	-€ 80

Tabella 11 Ricavi e Utile Lordo B2G - scenario AC

Anche per lo scenario di crescita accelerata si inizia a vedere un utile positivo a partire dallo scenario REAL con energia elettrica a 0,35 €/kWh. Lo scenario PESS rimane sempre negativo perché le ricariche all'anno sono costanti e indipendenti dallo scenario di crescita.

## Sedi Egea

L'installazione è effettuata presso le sedi Egea, i principali siti produttivi e gli sportelli localizzati nel territorio.

L'energia è offerta al prezzo di costo (0,26 €/kWh) ai mezzi di servizio Egea, a tariffe agevolate (0,35 €/kWh) ai clienti Egea e alla tariffa piena per gli utenti occasionali (al fine del calcolo la tariffa piena è stata fatta variare da 0,30 €/kWh fino a 0,50 €/kWh, la scelta più plausibile è 0,41 €/kWh).

Si suppone, per tutti gli scenari, un utilizzo distribuito come riassunto nell'elenco seguente:

- 25% delle ricariche dei mezzi elettrici Egea.
- 25% delle ricariche ai clienti Egea.
- 50% delle ricariche a clienti occasionali.

I ricavi sono dunque calcolati utilizzando la formula seguente:

$$R = C_{E\_bat} \cdot N_{ric} \cdot \left( \%_{egea} \cdot C_{E_{egea}} + \%_{clienti_{egea}} \cdot C_{E_{clienti_{egea}}} + \%_{occasionali} \cdot C_{E_{occasionali}} \right)$$

Dove:

- $\%_{egea}$  - rappresenta la percentuale di ricariche a mezzi Egea.
- $C_{E_{egea}}$  - è il costo per i mezzi Egea.
- $\%_{clienti_{egea}}$  - è la percentuale di ricariche che effettuano i clienti Egea.
- $C_{E_{clienti_{egea}}}$  - è il costo per i clienti Egea.
- $\%_{occasionali}$  - percentuale di energia ceduta ai clienti occasionali (variabile).
- $C_{E_{occasionali}}$  - costo energia elettrica per i clienti occasionali.

I costi, utilizzati per ricavare l'utile lordo, sono uguali a quelli ipotizzati nel caso B2G con l'eccezione del costo dell'energia elettrica; infatti, supponendo un utilizzo privato, e non commerciale, delle colonnine elettriche si può supporre un prezzo pari a 0,145 €/kWh con costi fissi pari a 2600 € all'anno a colonnina.

Costi-sedi Egea	
Gestione e fatturazione	150 €/anno
Costo EE	0,145 €/kWh
	2600 €/anno
Manutenzione	70 €/anno
	0,2 €/ricarica

Tabella 12 Costi colonnine installate presso Egea

Nelle tabelle seguenti sono riassunti i risultati ottenuti per le colonnine installate nelle sedi Egea, con scenario di crescita bassa:

<b>Sedi EGEA - BS</b>			
Ipotesi	OPTI	REAL	PESS
Stalli disponibili	2	2	2
Tempo ricarica (h)	1	1	1
Ore giorno disponibili	24	24	24
Giorni anno ricariche	200	200	200
Ricariche giornaliere	2	1	0,5
Ricariche totali all'anno	<b>400</b>	<b>200</b>	<b>100</b>

Ricariche (netto IVA)			
Mezzi EGEA	25%	0,260	€/kWh
Clients EGEA	25%	0,350	€/kWh
Clients occasionali	50%	variabile	

Tabella 13 alcune informazioni utili (sedi Egea, scenario BS)

Ricariche (netto IVA)	Capacità batteria 25 kWh			
	Costo ricarica €/kWh			
Ipotesi (netto IVA)	0,30	0,35	<b>0,41</b>	0,50
OPTI	€ 3.025	€ 3.275	<b>€ 3.575</b>	€ 4.025
REAL	€ 1.513	€ 1.638	<b>€ 1.788</b>	€ 2.013
PESS	€ 756	€ 819	<b>€ 894</b>	€ 1.006

Tabella 14 Ricavi sedi Egea - BS

Utile lordo - BS	Batteria di capacità 25 kWh			
	Costo ricarica €/kWh			
Ipotesi	0,30	0,35	<b>0,41</b>	0,45
OPTI	-€ 1.475	-€ 1.225	<b>-€ 925</b>	-€ 475
REAL	-€ 2.223	-€ 2.098	<b>-€ 1.948</b>	-€ 1.723
PESS	-€ 2.596	-€ 2.534	<b>-€ 2.459</b>	-€ 2.346

Tabella 15 Utile Lordo sedi Egea - BS

In nessuno scenario si ottiene un utile lordo positivo.

Nello scenario di crescita standard si ottengono i seguenti risultati:

<b>Sedi EGEA</b>			
Ipotesi	OPTI	REAL	PESS
Stalli disponibili	2	2	2
Tempo ricarica (h)	1	1	1
Ore giorno disponibili	24	24	24
Giorni anno ricariche	200	200	200
Ricariche giornaliere	3	1,5	0,5
Ricariche totali all'anno	<b>600</b>	<b>300</b>	<b>100</b>

	Capacità batteria 25 kWh			
<b>Ricavi – ST</b>	Costo ricarica €/kWh			
Ipotesi (netto IVA)	0,30	0,35	<b>0,41</b>	0,50
OPTI	€ 4.538	€ 4.913	<b>€ 5.363</b>	€ 6.038
<b>REAL</b>	<b>€ 2.269</b>	<b>€ 2.456</b>	<b>€ 2.681</b>	<b>€ 3.019</b>
PESS	€ 756	€ 819	<b>€ 894</b>	€ 1.006

	Capacità batteria 25 kWh			
<b>Utile lordo - ST</b>	Costo ricarica €/kWh			
Ipotesi	0,30	0,35	<b>0,41</b>	0,50
OPTI	-€ 728	-€ 353	<b>€ 98</b>	€ 773
<b>REAL</b>	<b>-€ 1.849</b>	<b>-€ 1.661</b>	<b>-€ 1.436</b>	<b>-€ 1.099</b>
PESS	-€ 2.596	-€ 2.534	<b>-€ 2.459</b>	-€ 2.346

Tabella 16 Ricavi e Utile lordo, sedi Egea - scenario ST

Nello scenario di crescita standard si verifica un utile positivo soltanto con frequenza di ricarica ottimale e con un prezzo dell'energia, per i soli clienti occasionali, superiore a 0,41 €/kWh.

Infine, nello scenario di crescita accelerata si ottengono i seguenti risultati:

<b>Sedi EGEA</b>			
Ipotesi	OPTI	REAL	PESS
Stalli disponibili	2	2	2
Tempo ricarica (h)	1	1	1
Ore giorno disponibili	24	24	24
Giorni anno ricariche	200	200	200
Ricariche giornaliere	5	2	0,5
Ricariche totali all'anno	<b>1000</b>	<b>400</b>	<b>100</b>

	Capacità batteria 25 kWh			
Ricavi	Costo ricarica €/kWh			
Ipotesi (netto IVA)	0,30	0,35	<b>0,41</b>	0,50
OPTI	€ 7.563	€ 8.188	<b>€ 8.938</b>	€ 10.063
<b>REAL</b>	<b>€ 3.025</b>	<b>€ 3.275</b>	<b>€ 3.575</b>	<b>€ 4.025</b>
PESS	€ 756	€ 819	<b>€ 894</b>	€ 1.006

	Capacità batteria 25 kWh			
Utile lordo	Costo ricarica €/kWh			
Ipotesi	0,30	0,35	<b>0,41</b>	0,50
OPTI	€ 768	€ 1.393	<b>€ 2.143</b>	€ 3.268
<b>REAL</b>	<b>-€ 1.475</b>	<b>-€ 1.225</b>	<b>-€ 925</b>	<b>-€ 475</b>
PESS	-€ 2.596	-€ 2.534	<b>-€ 2.459</b>	-€ 2.346

Tabella 17 Ricavi e Utile lordo, sedi Egea - scenario AC

Anche nello scenario di vendita accelerata si ottiene un utile positivo soltanto con frequenza di ricarica ottimale. L'installazione di colonnine elettriche presso le sedi Egea non si rivela un investimento molto vantaggioso, ma contribuisce a creare un'immagine green all'azienda che si doterebbe di un parco di veicoli commerciali elettrici.

## B2B

L'installazione di colonnine di ricarica nell'ambito B2B, principalmente in supermercati, hotel e ristoranti, permette di dare beneficio sia a chi ospita le colonnine per l'effetto di richiamo della clientela e per le possibilità di guadagno legate alla pubblicità, sia al fornitore di energia elettrica.

In questo contesto appare possibile una compartecipazione dei costi di investimento e/o di gestione della colonnina.

Nel calcolo dei ricavi e dell'utile lordo di una colonnina si sono supposti prezzi differenti per i clienti fissi (ad esempio possessori della tessera fedeltà del supermercato) e clienti occasionali o di passaggio; l'analisi è stata svolta considerando un prezzo della componente energia elettrica pari a 0,35 €/kWh per i clienti fissi e facendo variare il prezzo per i clienti occasionali da 0,30 €/kWh fino a 0,60 €/kWh (anche in questo caso, così come per le sedi Egea il prezzo più plausibile sarà di 0,41 €/kWh).

È consuetudine che il supermercato offra la ricarica gratuita ai clienti fissi considerato il fatto che il tempo di ricarica si concilia con le tempistiche necessarie per effettuare acquisti.

Nell'ambito B2B si è inoltre considerato che le colonnine siano a disposizione del pubblico per 12 ore al giorno (compatibilmente con gli orari di apertura dell'attività considerata), ma che la frequenza di ricarica sia maggiore rispetto ai casi analizzati in precedenza.

Si considera che il 75% delle ricariche sia effettuato da clienti occasionali e il restante 25% dalla clientela fissa dell'attività, che usufruisce del prezzo agevolato.

I ricavi sono calcolati utilizzando la formula seguente:

$$R = C_{E\_bat} \cdot N_{ric} \cdot \left( \%_{clienti\_fissi} \cdot C_{E_{clienti\_fissi}} + \%_{occasionali} \cdot C_{E_{occasionali}} \right)$$

Dove:

- $\%_{clienti\_fissi}$  - percentuale di ricariche effettuate dai clienti che hanno diritto al prezzo agevolato.
- $C_{E_{clienti\_fissi}}$  - prezzo agevolato.
- $\%_{occasionali}$  - percentuale di ricariche effettuate da clienti che non usufruiscono del prezzo agevolato.
- $C_{E_{occasionali}}$  - prezzo pieno.

Per ricavare l'utile lordo si sottraggono ai ricavi i vari costi di gestione, energia e manutenzione; i costi sono uguali a quelli analizzati nel caso B2G.

Analizzando, in primo luogo, lo scenario di crescita bassa si ottengono i seguenti risultati:

<b>B2B – BS</b>			
Ipotesi	OPTI	REAL	PESS
Stalli disponibili	2	2	2
Tempo ricarica (h)	1	1	1
Ore giorno disponibili	12	12	12
Giorni anno ricariche	200	200	200
Ricariche giornaliere	3	1,5	0,5
Ricariche totali all'anno	<b>600</b>	<b>300</b>	<b>100</b>

<b>Ricariche</b>			
Clienti supermercato	25%	0,35	€/kWh
Clienti occasionali	75%	variabile	

<b>Ricavi – BS</b>	Capacità batteria 25 kWh			
	Costo ricarica €/kWh			
Ipotesi (netto IVA)	0,30	0,35	<b>0,41</b>	0,60
OPTI	€ 4.688	€ 5.250	<b>€ 5.925</b>	€ 8.063
REAL	€ 2.344	€ 2.625	<b>€ 2.963</b>	€ 4.031
PESS	€ 781	€ 875	<b>€ 988</b>	€ 1.344

<b>Utile lordo – BS</b>	Capacità batteria 25 kWh			
	Costo ricarica €/kWh			
Ipotesi	0,30	0,35	<b>0,41</b>	0,60
OPTI	€ 298	€ 860	<b>€ 1.535</b>	€ 3.673
REAL	-€ 36	€ 245	<b>€ 583</b>	€ 1.651
PESS	-€ 259	-€ 165	<b>-€ 53</b>	€ 304

Tabella 18 Ricavi e Utile lordo B2B - crescita bassa

Nel B2B gli utili sono positivi a partire dallo scenario Real e un prezzo dell'energia per i clienti occasionali pari a 0,350 €/kWh (anche nello scenario PESS si ottiene un utile positivo, ma con un costo dell'energia elevato).

Per quanto riguarda una diffusione standard si ottiene:

<b>B2B – ST</b>			
Ipotesi	OPTI	REAL	PESS
Stalli disponibili	2	2	2
Tempo ricarica (h)	1	1	1
Ore giorno disponibili	12	12	12
Giorni anno ricariche	200	200	200
Ricariche giornaliere	4	2	0,5
Ricariche totali all'anno	<b>800</b>	<b>400</b>	<b>100</b>

Capacità batteria 25 kWh				
Ricavi - ST	Costo ricarica €/kWh			
Ipotesi (netto IVA)	0,30	0,35	<b>0,41</b>	0,60
OPTI	€ 6.250	€ 7.000	<b>€ 7.900</b>	€ 10.750
REAL	€ 3.125	€ 3.500	<b>€ 3.950</b>	€ 5.375
PESS	€ 781	€ 875	<b>€ 988</b>	€ 1.344

Capacità batteria 25 kWh				
Utile lordo - ST	Costo ricarica €/kWh			
Ipotesi	0,30	0,35	<b>0,41</b>	0,60
OPTI	€ 520	€ 1.270	<b>€ 2.170</b>	€ 5.020
REAL	€ 75	€ 450	<b>€ 900</b>	€ 2.325
PESS	-€ 259	-€ 165	<b>-€ 53</b>	€ 304

Tabella 19 Ricavi e Utile lordo B2B - crescita standard

In questa configurazione gli utili sono positivi con qualsiasi prezzo applicato all'energia elettrica, sia nello scenario REAL, sia nello scenario OPTI.

Infine, nello scenario di crescita accelerata si ottiene:

<b>B2B - AC</b>			
Ipotesi	OPTI	REAL	PESS
Stalli disponibili	2	2	2
Tempo ricarica (h)	1	1	1
Ore giorno disponibili	12	12	12
Giorni anno ricariche	200	200	200
Ricariche giornaliere	5	2,5	0,5
Ricariche totali all'anno	<b>1000</b>	<b>500</b>	<b>100</b>

Capacità batteria 25 kWh				
<b>Ricavi - AC</b>	Costo ricarica €/kWh			
Ipotesi (netto IVA)	0,30	0,35	<b>0,41</b>	0,60
OPTI	€ 7.813	€ 8.750	<b>€ 9.875</b>	€ 13.438
<b>REAL</b>	<b>€ 3.906</b>	<b>€ 4.375</b>	<b>€ 4.938</b>	<b>€ 6.719</b>
PESS	€ 781	€ 875	<b>€ 988</b>	€ 1.344

Capacità batteria 25 kWh				
<b>Utile lordo - AC</b>	Costo ricarica €/kWh			
Ipotesi	0,30	0,35	<b>0,41</b>	0,60
OPTI	€ 743	€ 1.680	<b>€ 2.805</b>	€ 6.368
<b>REAL</b>	<b>€ 186</b>	<b>€ 655</b>	<b>€ 1.218</b>	<b>€ 2.999</b>
PESS	-€ 259	-€ 165	<b>-€ 53</b>	€ 304

Tabella 20 Ricavi e Utile lordo B2B - crescita accelerata

Anche con la crescita accelerata gli scenari di frequenza REAL e OPTI portano sempre ad un risultato positivo; il B2B si rivela essere l'investimento più interessante, finora.

## RETAIL

L'ambito Retail è differente rispetto a quelli analizzati in precedenza. Il sistema di ricarica installato è una Wall box della potenza di 3,7 kW, il cui costo sarà sostenuto dal cliente che potrà eventualmente rateizzarlo sulla bolletta elettrica.

Anche la manutenzione e la gestione dell'apparecchio sono a carico del cliente finale; di conseguenza l'unico costo di cui tenere conto è il costo dell'energia elettrica (si ipotizza un acquisto all'ingrosso di elettricità a 0,14 €/kWh).

Come già detto in precedenza il numero di ricariche annuali non dipende dallo scenario di vendita di auto elettriche, ma soltanto dalla frequenza di ricarica.

La vendita di energia per la ricarica avviene al costo di 0,15 €/kWh per tutti i clienti che installano la colonnina; I ricavi vengono quindi calcolati come segue:

$$R = C_{bat} \cdot C_E \cdot N_{ric}$$

I costi di cui si deve tenere conto per il calcolo dell'utile netto sono riassunti nella tabella seguente:

Costi		
Gestione e fatturazione	0	€/anno
Costo EE	0,14	€/kWh
Manutenzione	0	€/anno
	0	€/ricarica

Tabella 21 Costi per l'ambito Retail

Da cui:

$$U_L = R - costi$$

In pratica, fatte queste considerazioni, si ha un guadagno di 1 centesimo di Euro al kilowattora.

In questo scenario, inoltre, la ricarica è disponibile 24h su 24 e si considera che venga effettuata 360 giorni all'anno.

<b>Retail</b>			
Ipotesi	OPTI	REAL	PESS
Stalli disponibili	1	1	1
Tempo ricarica	8	8	8
Ore giorno disponibili	24	24	24
Giorni anno ricariche	360	360	360
Ricariche giornaliere	0,25	0,2	0,1
Ricariche totali	90	72	36

Tabella 22 Ipotesi e input - Retail

<b>Ricavi</b>	
Ipotesi (netto IVA)	0,15
OPTI	€ 338
REAL	€ 270
PESS	€ 135

Tabella 23 Ricavi Retail (scenario di diffusione auto elettriche irrilevante)

<b>Utile lordo</b>	
Ipotesi	0,15
OPTI	€ 22
REAL	€ 18
PESS	€ 9

Tabella 24 Utile lordo Retail (scenario di diffusione auto elettriche irrilevante)

Nel caso Retail gli utili sono limitati, ma sono sempre positivi; il Retail, di conseguenza, rappresenta l'investimento più sicuro.

## 3.2 Business Plan

In base al calcolo di utili e ricavi visto in precedenza si è deciso di installare il maggior numero di colonnine nell'ambito Retail, seguito da B2B e dalle sedi Egea; Il numero di colonnine installate è funzione dello scenario di diffusione di veicoli elettrici. Per quanto riguarda il B2G va fatto un discorso a parte; dato che la posa delle colonnine sarà effettuata da un joint venture tra Egea ed un'altra azienda (quota Egea 20%) si è deciso insieme di installare 250 colonnine pubbliche indipendentemente dalla diffusione di auto elettriche.

Si prevede l'installazione delle colonnine in 5 anni; considerando l'incertezza sulla diffusione di auto elettriche e sul numero di statistiche si è ritenuto prioritario poter modulare il piano di posa delle colonnine legandolo a dati reali che saranno rilevati di anno in anno. In questo modo se dopo il primo anno le statistiche mostrassero una stagnazione del numero di ricariche allora sarebbe possibile adattare il piano allo scenario di crescita bassa, viceversa se il numero di ricariche fosse positivo si potrebbero installare più colonnine negli anni a venire. Le tabelle seguenti mostrano il numero di colonnine da installare, secondo le ipotesi, per ogni scenario:

Colonnine	B2G	Sedi EGEA	B2B	Retail
2018	100	4	10	30
2019	50	8	20	40
2020	50	10	30	60
2021	50	8	20	60
2022	0	0	10	60
<b>Totale</b>	250	30	90	250

Tabella 25 Numero di sistemi di ricarica installati nello scenario BS

Colonnine	B2G	Sedi EGEA	B2B	Retail
2018	100	8	20	60
2019	50	16	40	80
2020	50	20	60	120
2021	50	16	40	120
2022	0	0	20	120
<b>Totale</b>	250	60	180	500

Tabella 26 Numero di sistemi di ricarica installati nello scenario ST

Colonnine	B2G	Sedi EGEA	B2B	Retail
2018	100	15	40	120
2019	50	30	80	160
2020	50	40	120	240
2021	50	35	80	240
2022	0	20	40	240
<b>Totale</b>	<b>250</b>	<b>140</b>	<b>360</b>	<b>1000</b>

Tabella 27 Numero di sistemi di ricarica installati nello scenario AC

Il numero totale di colonnine installate sarà dunque:

- 620 colonnine nello scenario BS.
- 990 colonnine nello scenario ST.
- 1750 colonnine nello scenario AC.

Così come per il numero di ricariche complete all'anno, anche il numero di colonnine da installare è stato supposto, il risultato è stato poi confrontato con quanto ricavato in [8]; dato che si è verificata una coerenza tra i dati si è deciso di procedere in questo modo.

Le altre ipotesi utilizzate per la realizzazione del Business Plan sono le seguenti:

- Vita media delle colonnine 15 anni.
- Scenario vendita auto fisso (sono stati realizzati 3 BP, uno per lo scenario BS, uno per quello ST e uno AC).
- Scenario frequenze di ricarica variabile negli anni (si parte da ipotesi pessimistiche per arrivare allo scenario OPTI dopo 5 anni).
- Costi di realizzazione e di gestione a carico di Egea (o della joint venture nel caso B2G).
- Energia elettrica venduta a 0,41 €/kWh (tranne che per i casi particolari già trattati in precedenza).
- Finanziamento medio-lungo al 2,5% di tasso.

Alcuni costi, sia di gestione, sia di installazione sono stati supposti e sono considerati costanti:

	Costo per colonnina		
	Comuni	Sedi EGEA	Supermercati
Progettazione	€ 1.000	€ 500	€ 500
Autorizzazione	€ 500	€ 0	€ 0
Realizzazione piazzola	€ 1.000	€ 500	€ 0
Collegamento quadro ENEL	€ 3.000	€ 1.500	€ 1.500

Tabella 28 Costi di installazione

Manutenzione piazzole		€/piazz.	10
Manutenzione colonnine		€/ricar.	0,2
Costo Energia Elettrica	uso pubblico	€/kWh	0,260
	Fisso	€/colonn.	0
Costo Energia Elettrica	uso privato	€/kWh	0,145
	Fisso	€/colonn.	2600
Assicurazioni, imprevisti		€/colonn.	50
Prestazioni ammin. e costi di struttura (Es. personale)		€	25000

Tabella 29 Costi di gestione

Per quanto riguarda, invece, il costo della fornitura e altri costi di gestione sono stati richiesti dei preventivi ad alcuni fornitori. I costi relativi a questi fornitori sono riassunti nelle tabelle seguenti:

Fornitore 1		
fornitura	€/colonnina	2730
commissioning	€/colonnina	190
gestione app	€/colonnina/anno	180
start up	€ (una tantum)	15000
licenza	€/anno	8000

Tabella 30 Costi Fornitore 1

Fornitore 2		
fornitura	€/colonnina	2707,5
commissioning	€/colonnina	200
gestione app	€/colonnina/anno	70
start up	€ (una tantum)	22500
licenza	€/anno	2000
Costi alla ricarica	€/ricarica	0,7
Altri costi	€/colonnina	90

Tabella 31 Costi Fornitore 2

Fornitore 3		
fornitura	€/colonnina	4430
commissioning	€/colonnina	200
gestione app	€/colonnina/anno	171,6
start up	€ (una tantum)	22500
licenza	€/anno	2000
Costi alla ricarica	€/ricarica	1,0

Tabella 32 Costi Fornitore 3

Fornitore 4		
fornitura	€/colonnina	3605
commissioning	€ (una tantum)	4700
gestione app	€ (una tantum)	16000
	€/colonnina/anno	86
start up	€ (una tantum)	32000
licenza		inclusa
Costi alla ricarica	€/ricarica	0,5

Tabella 33 Costi Fornitore 4

Per quanto riguarda i ricavi, oltre a quelli relativi all'energia elettrica venduta, vengono considerati anche:

- Ricavi da introiti pubblicitari, supposti in 100 €/colonnina/anno, a cui corrispondono anche spese per l'agenzia pubblicitaria (stimate 10 €/colonnina/anno).
- Ricavi da vendita di dati di gestione delle colonnine (per ricerche di mercato o per fini statistici). In questo caso è stato inserito un valore irrisorio perché la vendita di dati è difficile da stimare.

Utilizzando tutti questi dati e tramite le formule mostrate in precedenza (per la singola colonnina) opportunamente modificate in modo da inserire le nuove informazioni sono stati calcolati i ricavi e il margine operativo lordo (MOL: ricavi senza considerare imposte, ammortamenti e interessi) dell'intero progetto.

Per valutare la qualità dell'investimento vengono calcolati il Valore Attuale Netto (VAN), il Tasso Interno di Rendimento (TIR) e il periodo di rimborso (PBT).

Il VAN rappresenta la somma algebrica dei flussi di cassa, in entrata o in uscita, attualizzati:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}$$

Dove:

- $C_t$ : flusso monetario operativo al tempo  $t$ , può essere sia positivo che negativo ed è calcolato sommando algebricamente i flussi monetari relativi all'investimento e i flussi monetari di esercizio.
- $t$ : periodo di tempo della valutazione (di solito di anno in anno).
- $n$ : numero di anni totali.
- $i$ : tasso di interesse, di solito è posto uguale al WACC (costo medio ponderato del capitale): Il tasso di rendimento minimo che un fornitore di risorse richiede come compensazione del proprio contributo di capitale.

$$WACC = \left( \frac{E}{D + E} \right) \cdot K_e + \left( \frac{D}{D + E} \right) \cdot K_d$$

Dove:

- E: valore di mercato del capitale proprio.
- D: valore di mercato del debito.
- $K_e$ : costo del capitale proprio.
- $K_d$ : costo del debito.

Da valutazioni interne aziendali si assume che  $WACC=6,8\%$ .

Per valutare il Tasso Interno di Rendimento è sufficiente porre il  $VAN=0$  e risolvere l'equazione rispetto alla variabile  $i$ , a fine vita.

$$\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} = 0$$

Il TIR può essere calcolato con un metodo iterativo oppure utilizzando l'apposita funzionalità di Excel (TIR.COST). Il TIR rappresenta il tasso annuale di ritorno che l'investimento genera; in genere si assume che l'investimento sia buono se il TIR supera una certa soglia.

Infine, per valutare il periodo di rimborso (PBT - PayBack Time) è necessario risolvere nuovamente l'equazione precedente ( $VAN=0$ ), questa volta rispetto alla variabile  $t$ , tenendo il tasso di interesse fisso ( $i=WACC$ ). In questo modo si ricava il tempo di recupero dell'investimento iniziale.

Un buon investimento, secondo i criteri analizzati ora, è quello in cui:

- Il VAN sia il maggiore possibile.
- Il TIR sia al di sopra di una certa soglia (solitamente l'investimento è attuabile se il TIR è maggiore del tasso di rendimento medio dell'azienda).
- Il PBT deve essere il minore possibile.

Ora è possibile vedere il Business Plan, anche se vanno fatte alcune ulteriori anticipazioni:

- Nelle tabelle seguenti saranno visibili, per motivi di spazio, soltanto i primi 5 anni di BP.
- Il fornitore impostato di default è il numero 1, gli altri verranno analizzati successivamente.

Anno riferimento	-		2018	2019	2020	2021	2022
<b>RICAVI</b>							
Numero colonnine B2G Egea B2B	n°		114	192	282	360	370
Nuove Colonnine B2G			100	50	50	50	0
Nuove Colonnine punti EGEEA			4	8	10	8	0
Nuove Colonnine B2B			10	20	30	20	10
Nuove Colonnine Retail			30	40	60	60	60
Scenario Comuni			PESS	PESS	PESS	REAL	REAL
Scenario punti EGEEA			PESS	PESS	PESS	REAL	REAL
Scenario Attività Commerciali	tipo		PESS	PESS	REAL	REAL	REAL
Scenario Retail			PESS	REAL	REAL	REAL	OPTI
Energia ricaricata	MWh		87	269	789	1.217	1.513
Ricavi per colonnine B2G	€		€ 10.250	€ 15.375	€ 20.500	€ 51.250	€ 51.250
Ricavi per colonnine punti EGEEA	€		€ 3.575	€ 10.725	€ 19.663	€ 53.625	€ 53.625
Ricavi per colonnine B2B	€		€ 9.875	€ 29.625	€ 177.750	€ 237.000	€ 266.625
Ricavi per colonnine Retail	€		€ 4.050	€ 18.900	€ 35.100	€ 51.300	€ 84.375
Ricavi introiti pubblicitari	€/colonnina	100	€ 3.400	€ 7.200	€ 12.200	€ 16.000	€ 17.000
Ricavi gestione dati	€/ricarica	0,01	€ 75	€ 167	€ 396	€ 687	€ 805
<b>Totale</b>	<b>€</b>		<b>€ 31.225</b>	<b>€ 81.992</b>	<b>€ 265.608</b>	<b>€ 409.862</b>	<b>€ 473.680</b>
<b>COSTI DI GESTIONE</b>							
Manutenzione piazzole	€/piazz.	10	€ 2.280	€ 3.840	€ 5.640	€ 7.200	€ 7.400
Manutenzione colonnine	€/ricar.	0,2	€ 480	€ 1.140	€ 4.440	€ 7.000	€ 7.600
costi di fatturazione	€/presa	150	€ 10.200	€ 21.600	€ 36.600	€ 48.000	€ 51.000
Costo Energia Elettrica	€/kWh	0,26	€ 28.374	€ 81.243	€ 225.712	€ 332.881	€ 381.156
Assicurazioni imprevisti	€/colonn.	50	€ 5.700	€ 9.600	€ 14.100	€ 18.000	€ 18.500
Costi gestione pubblicità	€/colonnina	10	€ 1.140	€ 1.920	€ 2.820	€ 3.600	€ 3.700
Costi gestione dati	€/ricarica	0,005	€ 32	€ 59	€ 151	€ 275	€ 290
costi gestione colonnine	€/colonnina	180	€ 6.120	€ 12.960	€ 21.960	€ 28.800	€ 30.600
costi annuali (licenze software ecc..)+ startup	€	8000	€ 23.000	€ 8.000	€ 8.000	€ 8.000	€ 8.000
FEE sulla singola ricarica	€/ricar.	0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0
Prestazioni amministrative e costi di struttura	€	25000	€ 25.000	€ 25.000	€ 25.000	€ 25.000	€ 25.000
<b>Totale costi di gestione</b>	<b>€</b>		<b>€ 102.326</b>	<b>€ 165.362</b>	<b>€ 344.423</b>	<b>€ 478.756</b>	<b>€ 533.246</b>
<b>MOL (Margine operativo lordo)</b>	<b>€</b>		<b>-€ 71.101</b>	<b>-€ 83.369</b>	<b>-€ 78.815</b>	<b>-€ 68.894</b>	<b>-€ 59.566</b>
<b>Investimento</b>		€ 1.086.400	€ 279.280	€ 245.960	€ 286.000	€ 225.960	€ 49.200
<b>Margine operativo netto</b>	<b>€</b>		<b>-€ 85.065</b>	<b>-€ 128.924</b>	<b>-€ 146.965</b>	<b>-€ 163.362</b>	<b>-€ 168.111</b>
<b>Utile ante imposte</b>	<b>€</b>		<b>-€ 90.654</b>	<b>-€ 140.905</b>	<b>-€ 167.217</b>	<b>-€ 190.989</b>	<b>-€ 197.388</b>
<b>Utile netto</b>	<b>€</b>		<b>-€ 90.654</b>	<b>-€ 140.905</b>	<b>-€ 167.217</b>	<b>-€ 190.989</b>	<b>-€ 197.388</b>
VAN (€)		-349.732					
TIR		-4,07%					
PBT (anni)		non raggiunto					

Tabella 34 Business Plan - scenario di crescita BS - fornitore 1

Come si può facilmente notare, nello scenario di crescita bassa, l'investimento iniziale non viene mai recuperato: il VAN è negativo, così come il TIR e il PBT non viene mai raggiunto.

Anno riferimento	-		2018	2019	2020	2021	2022
<b>RICAVI</b>							
Numero colonnine B2G Egea B2B	n°		128	234	364	470	490
Nuove Colonnine B2G			100	50	50	50	0
Nuove Colonnine punti EGEEA			8	16	20	16	0
Nuove Colonnine B2B			20	40	60	40	20
Nuove Colonnine Retail			60	80	120	120	120
Scenario Comuni			PESS	PESS	PESS	REAL	REAL
Scenario punti EGEEA			PESS	PESS	PESS	REAL	REAL
Scenario Attività Commerciali	tipo		PESS	PESS	REAL	REAL	REAL
Scenario Retail			PESS	REAL	REAL	REAL	OPTI
Energia ricaricata	MWh		149	500	1.828	2.984	3.625
Ricavi per colonnine B2G	€		€ 10.250	€ 15.375	€ 20.500	€ 102.500	€ 102.500
Ricavi per colonnine punti EGEEA	€		€ 7.150	€ 21.450	€ 39.325	€ 160.875	€ 160.875
Ricavi per colonnine B2B	€		€ 19.750	€ 59.250	€ 474.000	€ 632.000	€ 711.000
Ricavi per colonnine Retail	€		€ 8.100	€ 37.800	€ 70.200	€ 102.600	€ 168.750
Ricavi introiti pubblicitari	€/colonnina	100	€ 4.800	€ 11.400	€ 20.400	€ 27.000	€ 29.000
Ricavi gestione dati	€/ricarica	0,01	€ 100	€ 260	€ 811	€ 1.594	€ 1.850
<b>Totale</b>	<b>€</b>		<b>€ 50.150</b>	<b>€ 145.535</b>	<b>€ 625.236</b>	<b>€ 1.026.569</b>	<b>€ 1.173.975</b>
<b>COSTI DI GESTIONE</b>							
Manutenzione piazzole	€/piazz.	10	€ 2.560	€ 4.680	€ 7.280	€ 9.400	€ 9.800
Manutenzione colonnine	€/ricar.	0,2	€ 760	€ 1.980	€ 10.880	€ 18.400	€ 20.000
costi di fatturazione	€/presa	150	€ 14.400	€ 34.200	€ 61.200	€ 81.000	€ 87.000
Costo Energia Elettrica	€/kWh	0,26	€ 50.247	€ 152.736	€ 516.424	€ 791.512	€ 901.063
Assicurazioni imprevisti	€/colonn.	50	€ 6.400	€ 11.700	€ 18.200	€ 23.500	€ 24.500
Costi gestione pubblicità	€/colonnina	10	€ 1.280	€ 2.340	€ 3.640	€ 4.700	€ 4.900
Costi gestione dati	€/ricarica	0,005	€ 39	€ 80	€ 312	€ 660	€ 700
costi gestione colonnine	€/colonnina	180	€ 8.640	€ 20.520	€ 36.720	€ 48.600	€ 52.200
costi annuali (licenze software ecc..)+ startup	€	8000	€ 23.000	€ 8.000	€ 8.000	€ 8.000	€ 8.000
FEE sulla singola ricarica	€/ricar.	0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0
Prestazioni amministrative e costi di struttura	€	25000	€ 25.000	€ 25.000	€ 25.000	€ 25.000	€ 25.000
<b>Totale costi di gestione</b>	<b>€</b>		<b>€ 132.326</b>	<b>€ 261.236</b>	<b>€ 687.656</b>	<b>€ 1.010.772</b>	<b>€ 1.133.163</b>
<b>MOL (Margine operativo lordo)</b>	<b>€</b>		<b>-€ 82.176</b>	<b>-€ 115.701</b>	<b>-€ 62.420</b>	<b>€ 15.797</b>	<b>€ 40.813</b>
<b>Investimento</b>		<b>€ 1.691.800</b>	<b>€ 350.160</b>	<b>€ 387.720</b>	<b>€ 487.800</b>	<b>€ 367.720</b>	<b>€ 98.400</b>
<b>Margine operativo netto</b>	<b>€</b>		<b>-€ 99.684</b>	<b>-€ 180.669</b>	<b>-€ 163.720</b>	<b>-€ 130.282</b>	<b>-€ 129.308</b>
<b>Utile ante imposte</b>	<b>€</b>		<b>-€ 106.656</b>	<b>-€ 197.375</b>	<b>-€ 193.891</b>	<b>-€ 171.414</b>	<b>-€ 171.770</b>
<b>Utile netto</b>	<b>€</b>		<b>-€ 106.656</b>	<b>-€ 197.375</b>	<b>-€ 193.891</b>	<b>-€ 171.414</b>	<b>-€ 171.770</b>
VAN (€)		283.073					
TIR		8,02%					
PBT (anni)		14					

Tabella 35 Business Plan - Scenario di crescita standard - fornitore 1

In questo scenario i valori sono positivi, ma l'investimento non è comunque vantaggioso; il PBT, ad esempio, viene raggiunto dopo 14 anni, poco prima della fine della simulazione.

Anno riferimento	-		2018	2019	2020	2021	2022
<b>RICAVI</b>							
Numero colonnine B2G Egea B2B	n°		155	315	525	690	750
Nuove Colonnine B2G			100	50	50	50	0
Nuove Colonnine punti EGEEA			15	30	40	35	20
Nuove Colonnine B2B			40	80	120	80	40
Nuove Colonnine Retail			120	160	240	240	240
Scenario Comuni			PESS	PESS	PESS	REAL	REAL
Scenario punti EGEEA			PESS	PESS	PESS	REAL	REAL
Scenario Attività Commerciali	tipo		PESS	PESS	REAL	REAL	REAL
Scenario Retail			PESS	REAL	REAL	REAL	OPTI
Energia ricaricata	MWh		271	954	4.199	7.193	8.775
Ricavi per colonnine B2G	€		€ 10.250	€ 15.375	€ 20.500	€ 256.250	€ 256.250
Ricavi per colonnine punti EGEEA	€		€ 13.406	€ 40.219	€ 75.969	€ 429.000	€ 500.500
Ricavi per colonnine B2B	€		€ 39.500	€ 118.500	€ 1.185.000	€ 1.580.000	€ 1.777.500
Ricavi per colonnine Retail	€		€ 16.200	€ 75.600	€ 140.400	€ 205.200	€ 337.500
Ricavi introiti pubblicitari	€/colonnina	100	€ 7.500	€ 19.500	€ 36.500	€ 49.000	€ 55.000
Ricavi gestione dati	€/ricarica	0,01	€ 148	€ 442	€ 1.759	€ 3.877	€ 4.510
<b>Totale</b>	<b>€</b>		<b>€ 87.004</b>	<b>€ 269.635</b>	<b>€ 1.460.128</b>	<b>€ 2.523.327</b>	<b>€ 2.931.260</b>
<b>COSTI DI GESTIONE</b>							
Manutenzione piazzole	€/piazz.	10	€ 3.100	€ 6.300	€ 10.500	€ 13.800	€ 15.000
Manutenzione colonnine	€/ricar.	0,2	€ 1.300	€ 3.600	€ 26.100	€ 46.600	€ 52.200
costi di fatturazione	€/presa	150	€ 22.500	€ 58.500	€ 109.500	€ 147.000	€ 165.000
Costo Energia Elettrica	€/kWh	0,26	€ 91.032	€ 286.835	€ 1.166.961	€ 1.867.024	€ 2.193.125
Assicurazioni imprevisti	€/colonn.	50	€ 7.750	€ 15.750	€ 26.250	€ 34.500	€ 37.500
Costi gestione pubblicità	€/colonnina	10	€ 1.550	€ 3.150	€ 5.250	€ 6.900	€ 7.500
Costi gestione dati	€/ricarica	0,005	€ 53	€ 120	€ 693	€ 1.665	€ 1.805
costi gestione colonnine	€/colonnina	180	€ 13.500	€ 35.100	€ 65.700	€ 88.200	€ 99.000
costi annuali (licenze software ecc..)+ startup	€	8000	€ 23.000	€ 8.000	€ 8.000	€ 8.000	€ 8.000
FEE sulla singola ricarica	€/ricar.	0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0
Prestazioni amministrative e costi di struttura	€	25000	€ 25.000	€ 25.000	€ 25.000	€ 25.000	€ 25.000
<b>Totale costi di gestione</b>	<b>€</b>		<b>€ 188.784</b>	<b>€ 442.355</b>	<b>€ 1.443.953</b>	<b>€ 2.238.689</b>	<b>€ 2.604.130</b>
<b>MOL (Margine operativo lordo)</b>	<b>€</b>		<b>-€ 101.780</b>	<b>-€ 172.719</b>	<b>€ 16.175</b>	<b>€ 284.638</b>	<b>€ 327.130</b>
<b>Investimento</b>		€ 3.011.000	€ 486.500	€ 660.400	€ 891.400	€ 667.500	€ 305.200
<b>Margine operativo netto</b>	<b>€</b>		<b>-€ 126.105</b>	<b>-€ 275.415</b>	<b>-€ 150.377</b>	<b>€ 34.836</b>	<b>€ 26.656</b>
<b>Utile ante imposte</b>	<b>€</b>		<b>-€ 135.724</b>	<b>-€ 301.156</b>	<b>-€ 199.654</b>	<b>-€ 32.019</b>	<b>-€ 42.848</b>
<b>Utile netto</b>	<b>€</b>		<b>-€ 135.724</b>	<b>-€ 301.156</b>	<b>-€ 199.654</b>	<b>-€ 33.377</b>	<b>-€ 43.888</b>
VAN (€)		3.467.858					
TIR		18,81%					
PBT (anni)		9					

Tabella 36 Business Plan - scenario AC - fornitore 1

Infine, nello scenario di crescita accelerata si ottiene un risultato positivo; guardando i valori di VAN, TIR e PBT è chiaro che l'investimento sarebbe vantaggioso.

Si possono ora confrontare i valori di VAN, PBT e TIR per i vari fornitori, in modo da decretare il più vantaggioso; i dati seguenti sono stati ottenuti variando il fornitore e lasciando lo scenario di crescita costante (scenario ST).

	Fornitore 1	Fornitore 2	Fornitore 3	Fornitore 4
VAN (€)	€ 283.072,55	-€ 230.306,54	-€ 519.576,52	-€ 88.557,22
TIR	8,02%	2,37%	-0,90%	4,95%
PBT (anni)	14	non raggiunto	non raggiunto	non raggiunto

Tabella 37 Confronto tra i fornitori - scenario ST

Come si può facilmente notare dai dati nella tabella, il Fornitore 1 è l'unico e per cui il Valore Attuale Netto è positivo nello scenario di crescita Standard.

Per un confronto e per avere la certezza che il Fornitore 1 sia il più conveniente si ricava la stessa tabella anche per lo scenario più vantaggioso:

	Fornitore 1	Fornitore 2	Fornitore 3	Fornitore 4
VAN (€)	€ 3.467.858,29	€ 1.612.309,06	€ 525.274,96	€ 2.307.339,98
TIR	18,81%	12,47%	7,84%	14,40%
PBT (anni)	9	11	15	10

Tabella 38 Confronto tra i fornitori - scenario AC

Il fornitore migliore si conferma essere il numero 1.

Per una visualizzazione più semplice dei dati precedenti si inserisce l'istogramma seguente:

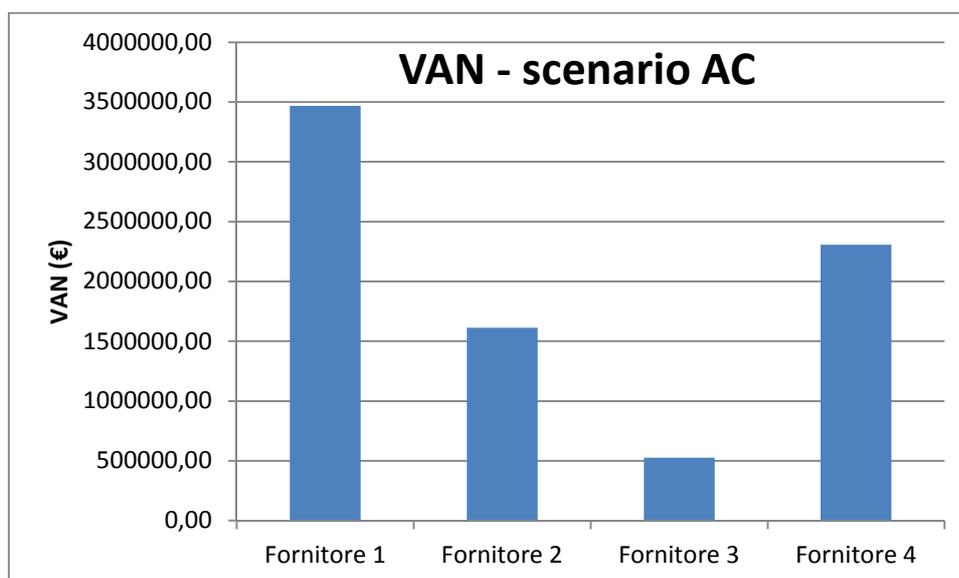


Figura 38 VAN dei vari fornitori

Potrebbe anche essere interessante, per concludere la prima analisi sul Business Plan, confrontare i flussi monetari attualizzati cumulativi, in funzione dell'anno, per i 3 scenari; nei grafici di seguito vengono confrontati i valori per i due fornitori migliori (Fornitore 1 e Fornitore 4).

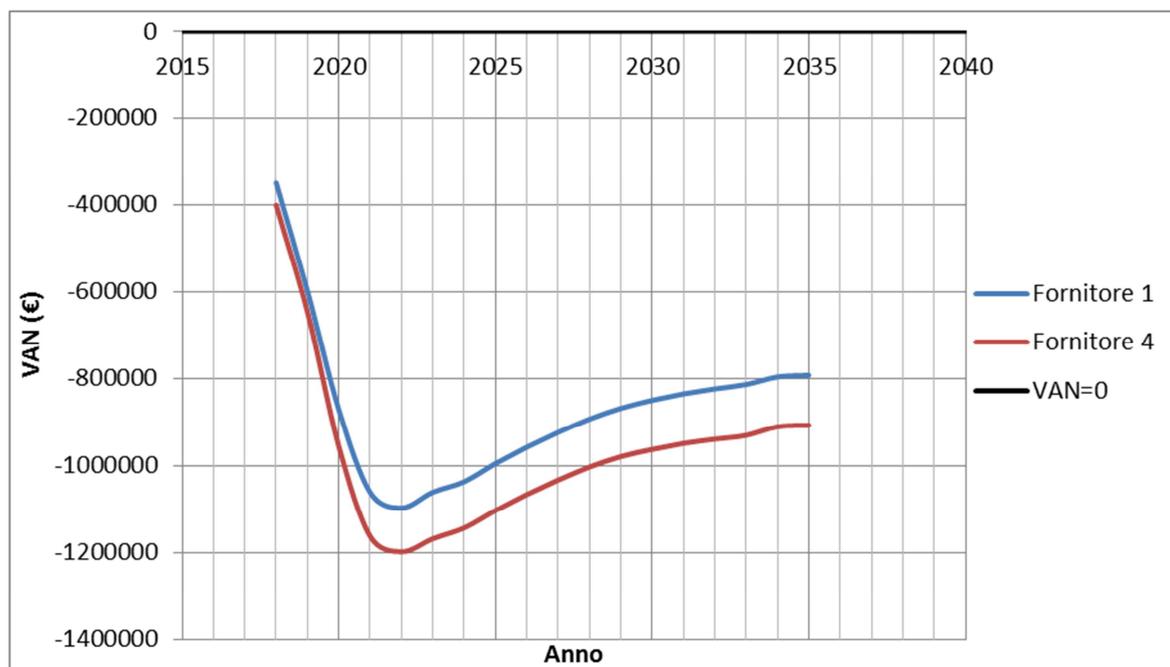


Figura 39 Grafico VAN-anno per lo scenario BS

Come si può notare il trend è particolarmente negativo nei primi 4 anni ed è dovuto all'elevato investimento iniziale per l'installazione delle colonnine e allo scenario di utilizzo dei veicoli che è supposto pari a OPTI solo dal quinto anno in poi; finita la spesa iniziale il trend inizia a essere positivo, ma il VAN è sempre negativo.

In questo grafico si può anche notare che il periodo di rimborso non viene mai raggiunto; infatti le curve rappresentate non arrivano mai ad intersecare l'asse orizzontale corrispondente ad un VAN=0.

Si nota nuovamente che la miglior performance si verifica installando colonnine comprate dal Fornitore 1.

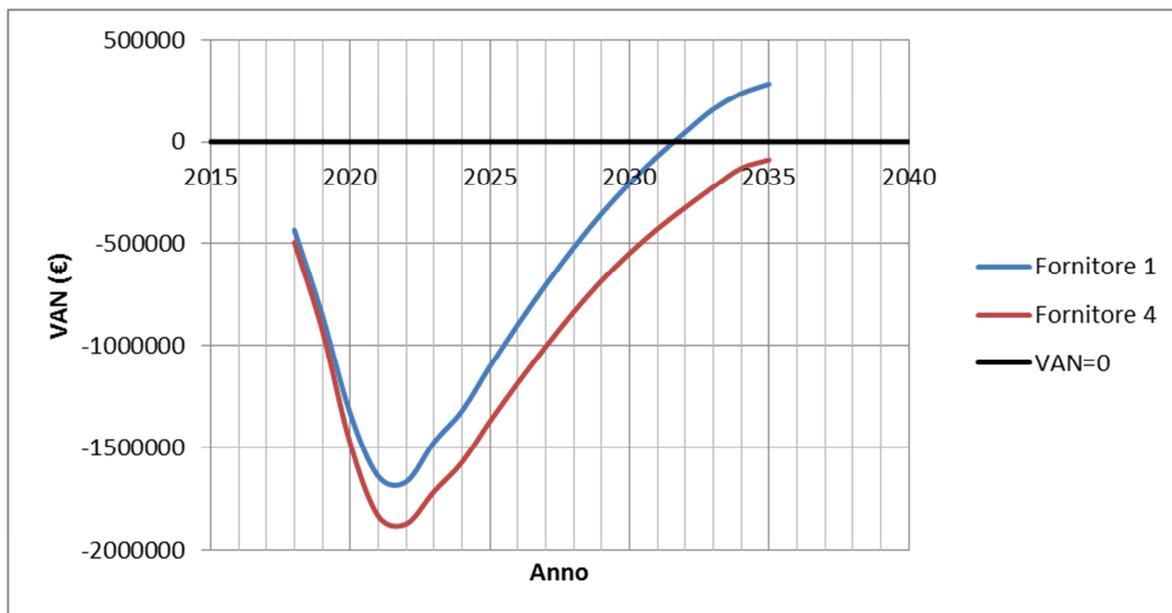


Figura 40 Grafico VAN-anno per lo scenario ST

Nello scenario ST, con il fornitore 1 si raggiunge il periodo di rimborso tra il 2031 e il 2032, mentre utilizzando colonnine del Fornitore 4 non si raggiunge.

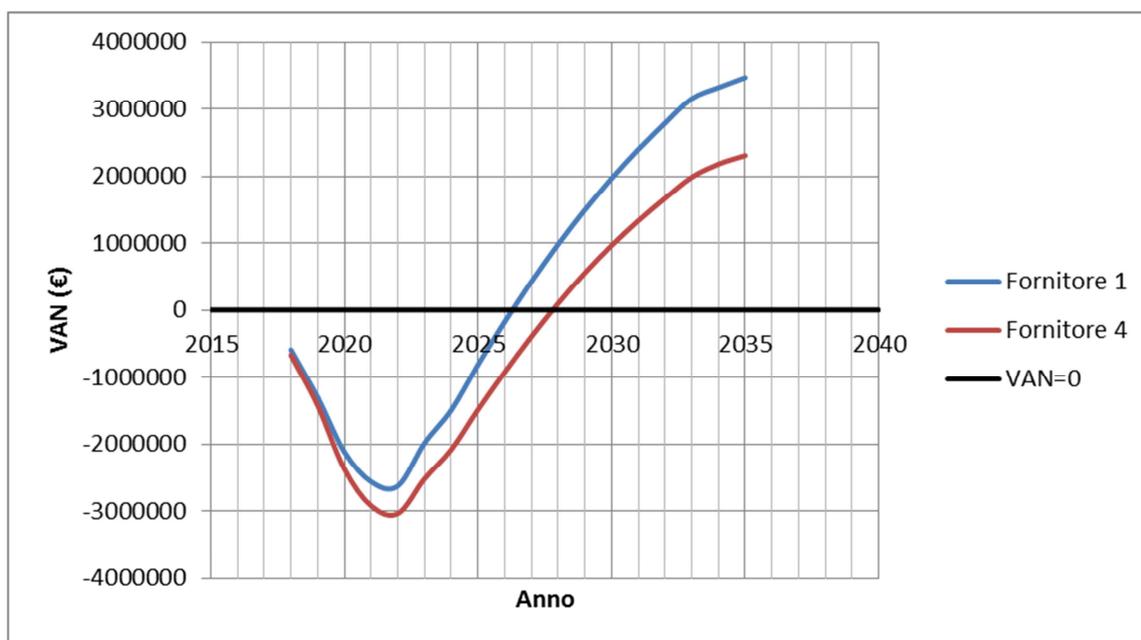


Figura 41 Grafico VAN-anno per lo scenario AC

Nell'ultimo scenario analizzato si può notare come il PBT con il fornitore 1 venga raggiunto tra il 2026 e il 2027; utilizzando colonnine del fornitore 4 invece si raggiunge circa un anno dopo. Per le analisi successive si considererà solamente il fornitore numero 1.

### 3.3 Analisi di sensibilità

È stata svolta un'analisi di sensibilità sulla base del costo dell'energia della ricarica. L'analisi è stata svolta variando il costo della ricarica per i clienti delle colonnine B2G e variando il costo della ricarica per i clienti occasionali delle colonnine B2B e di quelle installate nelle sedi Egea; il costo della ricarica per i mezzi Egea, per i clienti Egea e per i clienti del supermercato è rimasto invariato.

Durante l'analisi di sensibilità il parametro calcolato è il TIR; si è deciso infatti, a livello aziendale, di voler attuare l'investimento soltanto a fronte di un TIR superiore all'11%.

		Tariffa attività Commerciali								
		0,22	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
Tariffa utenti occasionali	0,22	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	-15,63%	-7,84%	-2,72%	1,24%	4,56%
	0,25	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	-13,35%	-6,47%	-1,70%	2,08%	5,28%
	0,30	#NUM!	#NUM!	#NUM!	-20,22%	-10,23%	-4,41%	-0,11%	3,40%	6,44%
	0,35	#NUM!	#NUM!	#NUM!	-15,34%	-7,66%	-2,58%	1,35%	4,66%	7,56%
	0,40	#NUM!	#NUM!	#NUM!	-11,79%	-5,47%	-0,93%	2,73%	5,85%	8,63%
	0,45	#NUM!	#NUM!	-17,70%	-8,96%	-3,52%	0,60%	4,02%	6,99%	9,66%
	0,50	#NUM!	#NUM!	-13,55%	-6,59%	-1,77%	2,02%	5,24%	8,09%	10,66%
	0,55	#NUM!	#NUM!	-10,38%	-4,51%	-0,18%	3,36%	6,41%	9,14%	11,63%
	0,60	#NUM!	-15,59%	-7,79%	-2,67%	1,30%	4,62%	7,53%	10,16%	12,58%

Tabella 39 TIR in funzione della tariffa per i clienti occasionali - scenario BS

I valori di TIR superiori all'11% vengono sottolineati in verde; l'investimento è positivo soltanto a fronte di tariffe completamente fuori mercato per la ricarica.

		Tariffa attività Commerciali								
		0,22	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
Tariffa utenti occasionali	0,22	#NUM!	#NUM!	#NUM!	-7,60%	-0,01%	5,56%	10,16%	14,19%	17,84%
	0,25	#NUM!	#NUM!	-17,44%	-5,74%	1,26%	6,58%	11,03%	14,97%	18,55%
	0,30	#NUM!	#NUM!	-12,32%	-3,00%	3,24%	8,19%	12,44%	16,23%	19,72%
	0,35	#NUM!	#NUM!	-8,46%	-0,61%	5,07%	9,73%	13,79%	17,46%	20,86%
	0,40	#NUM!	-16,54%	-5,33%	1,53%	6,77%	11,18%	15,09%	18,66%	21,97%
	0,45	#NUM!	-11,69%	-2,65%	3,48%	8,37%	12,58%	16,35%	19,82%	23,06%
	0,50	-14,97%	-7,98%	-0,32%	5,28%	9,89%	13,92%	17,57%	20,95%	24,13%
	0,55	-10,53%	-4,94%	1,79%	6,96%	11,33%	15,21%	18,75%	22,06%	25,18%
	0,60	-7,05%	-2,32%	3,71%	8,55%	12,72%	16,46%	19,91%	23,14%	26,21%

Tabella 40 TIR in funzione della tariffa per i clienti occasionali - scenario ST

Nello scenario ST è possibile superare la soglia imposta, per quanto riguarda il TIR, senza superare di molto le tariffe medie per la ricarica; impostando il prezzo a 0,45 €/kWh (pari al prezzo praticato da Enel), per esempio, si verifica un buon investimento.

		Tariffa attività Commerciali								
		0,22	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
Tariffa utenti occasionali	0,22	#NUM!	#NUM!	-6,73%	2,47%	9,26%	14,96%	20,02%	24,69%	29,09%
	0,25	#NUM!	-17,63%	-3,96%	4,36%	10,77%	16,26%	21,19%	25,76%	30,09%
	0,30	#NUM!	-10,45%	-0,02%	7,23%	13,14%	18,33%	23,07%	27,50%	31,73%
	0,35	-12,75%	-5,28%	3,31%	9,83%	15,35%	20,30%	24,87%	29,19%	33,32%
	0,40	-7,06%	-1,18%	6,24%	12,22%	17,43%	22,18%	26,61%	30,82%	34,87%
	0,45	-2,66%	2,25%	8,88%	14,45%	19,41%	23,99%	28,29%	32,41%	36,39%
	0,50	0,96%	5,25%	11,31%	16,55%	21,30%	25,73%	29,93%	33,96%	37,87%
	0,55	4,08%	7,94%	13,56%	18,54%	23,12%	27,42%	31,52%	35,48%	39,33%
	0,60	6,86%	10,40%	15,68%	20,44%	24,86%	29,05%	33,07%	36,96%	40,75%

Tabella 41 TIR in funzione della tariffa per i clienti occasionali - scenario AC

Se si verificasse, in Italia, un'ottima diffusione di veicoli elettrici si potrebbero addirittura ridurre le tariffe per i clienti occasionali.

È stata svolta, inoltre, una seconda analisi di sensibilità; considerato, infatti, il vantaggio offerto agli esercizi commerciali che installano le colonnine si è studiata una proposta di compartecipazione dei costi, sia di installazione, sia di gestione.

Nello studio si valuta la dipendenza del Tasso Interno di Rendimento facendo variare il costo di realizzazione e di gestione delle colonnine dallo 0% (costo interamente a carico dell'attività commerciale) al 100% (costo interamente a carico di Egea). I costi legati alle colonnine installate presso i comuni rimangono al 100% a carico della joint venture.

		Percentuale carico EGEA costi realizzazione colonnine B2B										
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Percentuale carico EGEA costi gestione	0%	0,45%	0,08%	-0,27%	-0,60%	-0,92%	-1,22%	-1,51%	-1,79%	-2,05%	-2,31%	-2,55%
	10%	0,33%	-0,04%	-0,39%	-0,72%	-1,04%	-1,34%	-1,63%	-1,90%	-2,16%	-2,42%	-2,66%
	20%	0,20%	-0,17%	-0,51%	-0,84%	-1,16%	-1,45%	-1,74%	-2,01%	-2,27%	-2,52%	-2,76%
	30%	0,07%	-0,29%	-0,64%	-0,96%	-1,27%	-1,57%	-1,85%	-2,13%	-2,38%	-2,63%	-2,87%
	40%	-0,06%	-0,42%	-0,76%	-1,08%	-1,39%	-1,69%	-1,97%	-2,24%	-2,50%	-2,74%	-2,98%
	50%	-0,18%	-0,54%	-0,88%	-1,21%	-1,51%	-1,81%	-2,08%	-2,35%	-2,61%	-2,85%	-3,09%
	60%	-0,31%	-0,67%	-1,01%	-1,33%	-1,63%	-1,92%	-2,20%	-2,47%	-2,72%	-2,96%	-3,20%
	70%	-0,44%	-0,80%	-1,13%	-1,45%	-1,75%	-2,04%	-2,32%	-2,58%	-2,83%	-3,08%	-3,31%
	80%	-0,57%	-0,93%	-1,26%	-1,57%	-1,87%	-2,16%	-2,44%	-2,70%	-2,95%	-3,19%	-3,42%
	90%	-0,71%	-1,05%	-1,38%	-1,70%	-2,00%	-2,28%	-2,55%	-2,81%	-3,06%	-3,30%	-3,53%
100%	-0,84%	-1,18%	-1,51%	-1,82%	-2,12%	-2,40%	-2,67%	-2,93%	-3,18%	-3,41%	-3,64%	

Tabella 42 TIR in funzione della ripartizioni dei costi di realizzazione e di gestione - scenario BS

Nel caso di crescita bassa nella vendita dei veicoli elettrici, anche scaricando al 100% i costi di gestione e di realizzazione delle colonnine presso l'attività che intende installarle, il Tasso Interno di Rendimento resta comunque molto inferiore alla soglia minima dell'11%.

		Percentuale carico EGEEA costi realizzazione colonnine B2B										
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Percentuale carico EGEEA costi gestione	0%	16,29%	15,34%	14,47%	13,66%	12,90%	12,20%	11,54%	10,93%	10,35%	9,80%	9,28%
	10%	16,15%	15,21%	14,34%	13,53%	12,78%	12,08%	11,43%	10,81%	10,24%	9,69%	9,17%
	20%	16,01%	15,07%	14,21%	13,40%	12,66%	11,96%	11,31%	10,70%	10,12%	9,58%	9,07%
	30%	15,88%	14,94%	14,08%	13,28%	12,53%	11,84%	11,19%	10,58%	10,01%	9,47%	8,96%
	40%	15,74%	14,80%	13,95%	13,15%	12,41%	11,72%	11,08%	10,47%	9,90%	9,36%	8,85%
	50%	15,60%	14,67%	13,81%	13,02%	12,29%	11,60%	10,96%	10,36%	9,79%	9,25%	8,75%
	60%	15,46%	14,53%	13,68%	12,90%	12,16%	11,48%	10,84%	10,24%	9,68%	9,14%	8,64%
	70%	15,32%	14,40%	13,55%	12,77%	12,04%	11,36%	10,72%	10,13%	9,56%	9,03%	8,53%
	80%	15,17%	14,26%	13,42%	12,64%	11,91%	11,24%	10,60%	10,01%	9,45%	8,92%	8,42%
	90%	15,03%	14,12%	13,29%	12,51%	11,79%	11,12%	10,49%	9,89%	9,34%	8,81%	8,31%
100%	14,89%	13,99%	13,15%	12,38%	11,66%	10,99%	10,37%	9,78%	9,22%	8,70%	8,20%	

**Tabella 43 TIR in funzione della ripartizioni dei costi di realizzazione e di gestione - scenario ST**

Nello scenario di diffusione standard si potrebbe raggiungere un TIR superiore all'11% supponendo, per esempio, una compartecipazione del 50% dei costi da parte del supermercato. Dato che, realisticamente, difficilmente l'attività commerciale si accollerà costi superiori al 30% del totale questo scenario non è ancora sufficiente.

		Percentuale carico EGEEA costi realizzazione colonnine B2B										
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Percentuale carico EGEEA costi gestione	0%	32,68%	30,80%	29,12%	27,61%	26,24%	24,99%	23,85%	22,79%	21,81%	20,91%	20,06%
	10%	32,51%	30,64%	28,97%	27,46%	26,10%	24,85%	23,71%	22,66%	21,69%	20,79%	19,95%
	20%	32,34%	30,47%	28,81%	27,31%	25,95%	24,72%	23,58%	22,54%	21,57%	20,67%	19,83%
	30%	32,16%	30,31%	28,65%	27,16%	25,81%	24,58%	23,45%	22,41%	21,45%	20,55%	19,72%
	40%	31,99%	30,14%	28,50%	27,01%	25,67%	24,44%	23,32%	22,28%	21,32%	20,43%	19,60%
	50%	31,82%	29,98%	28,34%	26,87%	25,53%	24,31%	23,19%	22,16%	21,20%	20,31%	19,48%
	60%	31,64%	29,82%	28,19%	26,72%	25,38%	24,17%	23,06%	22,03%	21,08%	20,19%	19,37%
	70%	31,47%	29,65%	28,03%	26,57%	25,24%	24,03%	22,92%	21,90%	20,95%	20,07%	19,25%
	80%	31,29%	29,49%	27,87%	26,42%	25,10%	23,90%	22,79%	21,77%	20,83%	19,95%	19,14%
	90%	31,12%	29,32%	27,72%	26,27%	24,96%	23,76%	22,66%	21,64%	20,71%	19,83%	19,02%
100%	30,95%	29,16%	27,56%	26,12%	24,81%	23,62%	22,53%	21,52%	20,58%	19,71%	18,90%	

**Tabella 44 TIR in funzione della ripartizioni dei costi di realizzazione e di gestione - scenario AC**

Nello scenario di crescita accelerata il TIR è sempre ampiamente sopra il limite minimo imposto; ipotizzando, però, una suddivisione realistica dei costi pari al 70% a Egea e 30% all'attività commerciale si potrebbe raggiungere un Tasso Interno di Rendimento pari a circa 22% partendo dal 19% iniziale.

## 4. RICARICA EFFICIENTE DI VEICOLI ELETTRICI

---

Nei capitoli precedenti si è visto come si stia assistendo ad uno spostamento da mobilità tradizionale a mobilità elettrica a livello mondiale; è stata inoltre dimostrata, tramite un Business Plan, la possibilità, per le aziende, di investire in colonnine di ricarica in modo da creare un'infrastruttura pubblica e privata per l'utilizzo di auto elettriche.

Una gran quantità di emissioni di inquinanti può essere evitata, nei prossimi anni, utilizzando sempre più auto elettriche, soprattutto se la quantità aggiuntiva di energia, necessaria per la mobilità elettrica, venisse prodotta utilizzando esclusivamente fonti di energia rinnovabile. Viceversa, proprio grazie all'utilizzo di veicoli elettrici sarà possibile aumentare la quota di energia prodotta da fonti rinnovabili intermittenti; utilizzando dei sistemi di ricarica intelligenti, infatti, è possibile ridurre la quantità di energia, prodotta dagli impianti fotovoltaici domestici, che viene reimmessa in rete, diminuendo i problemi relativi al dispacciamento dell'energia. Un grande utilizzo di fonti rinnovabili intermittenti, senza un'adeguata capacità di accumulo può portare, in generale, ad inefficienza ed inaffidabilità della rete elettrica.

In futuro, quindi, saranno necessarie strategie di controllo efficaci applicate alla ricarica dei veicoli elettrici. Il punto di partenza consiste nel garantire una ricarica intelligente del veicolo.

Dato che, secondo l'E-Mobility Report 2018, un veicolo di proprietà viene utilizzato all'incirca solo per il 5% del tempo utile, sono state sviluppate delle tecnologie e delle modalità di utilizzo del veicolo elettrico che permettano di sfruttarlo anche quando è fermo; altre tecnologie, anche se non sviluppate direttamente per una mobilità elettrica efficiente, possono garantire buoni risultati.

Gli strumenti studiati appositamente per la mobilità elettrica sono Smart Charging (SCH) e Vehicle Grid Integration (VGI). Per VGI si intende la possibilità del veicolo di interagire con la rete a vari livelli; un sottoinsieme del VGI è il Vehicle to Everything (V2X) ed è lo strumento più interessante al momento e verrà analizzato più nel dettaglio.

Inoltre, come anticipato si possono studiare le integrazioni tra auto elettriche e fonti rinnovabili sfruttando una tecnologia che non è stata studiata appositamente per questo motivo, come, ad esempio, la Microgrid (microrete).

## 4.1 Vehicle to Everything - V2X

Con il termine Vehicle to Everything si intendono principalmente le sue più importanti declinazioni:

- Vehicle to Home (V2H)
- Vehicle to Grid (V2G)

Nel V2H il veicolo può interagire e scambiare energia con l'abitazione a cui è connesso; il V2H viene utilizzato in concomitanza con un impianto fotovoltaico domestico e garantisce alcuni vantaggi; principalmente un miglioramento di autoconsumo.

Per V2G si intende, invece, lo scambio di energia elettrica tra il veicolo elettrico e la rete di distribuzione; in futuro, se ci saranno molti veicoli elettrici abilitati al V2G e connessi alla rete elettrica, si potrà sfruttare il Vehicle to Grid per la gestione della rete elettrica e principalmente per servizi di peak shaving e per la regolazione primaria di frequenza.

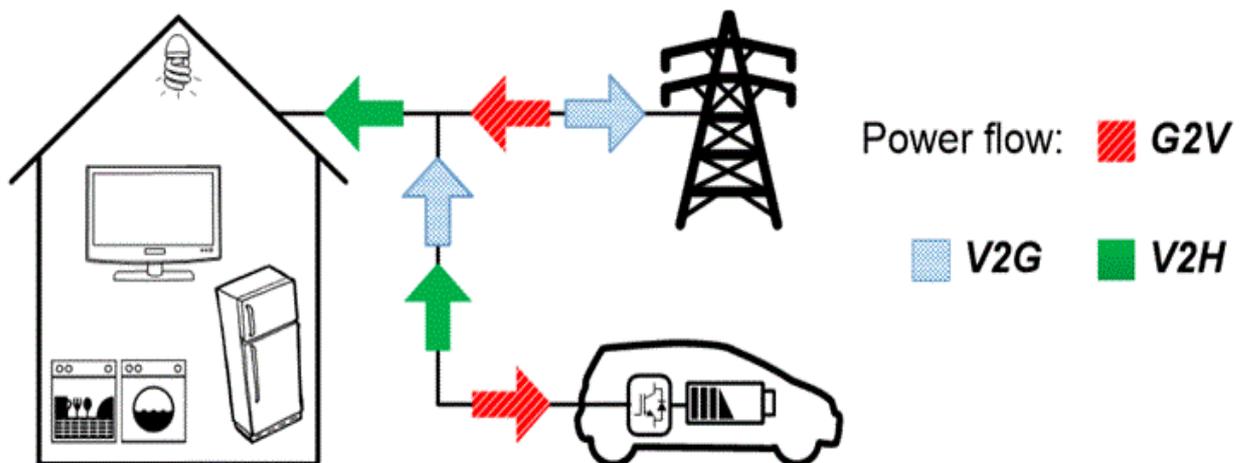


Figura 42 Flussi di potenza nel V2X (Fonte: [4])

Nella figura precedente per G2V si intende il Grid to Vehicle: energia prelevata dalla rete per la ricarica della batteria.

Per abilitare il funzionamento del veicolo elettrico in modalità V2X è necessario modificare tutto il processo di ricarica, sia a livello software che a livello hardware e in particolare bisogna agire su:

- Infrastruttura di ricarica
- Veicolo
- Utilizzo del veicolo

### Infrastruttura di ricarica

Bisogna in primo luogo differenziare tra ricarica in AC e ricarica in DC. Se la ricarica avviene in AC il caricatore è posto a bordo del veicolo, in DC invece l'energia viene immessa direttamente in batteria. A livello hardware, nel caso, AC è necessario che il caricatore supporti scambi bidirezionali di energia, per quanto riguarda la ricarica DC l'abilitazione agli scambi in due direzioni deve essere effettuata direttamente sulla colonnina. In entrambi i casi è necessario installare un inverter che converta la corrente continua in uscita dalla batteria in corrente alternata da immettere in rete (V2G) o all'abitazione connessa (V2H); l'inverter sarà posto direttamente a bordo del veicolo, se la ricarica avviene in AC, o sulla colonnina, per la ricarica in DC.

La maggior parte dei progetti V2X utilizzano standard di ricarica in DC (soprattutto CHAdeMO e Tesla SuperCharger), ma sono attivi progetti che mirano all'implementazione del V2X con ricarica in AC; nel caso di V2H, con auto connessa plausibilmente alla wall box installata in casa, è necessario ricorrere alla ricarica in corrente alternata per motivi economici e di ingombro.

A livello software è necessario implementare la tecnologia Smart Charging (SCH); per SCH si intende l'abilitazione di sistemi di controllo che abbiano come obiettivo principale la ricarica della batteria del veicolo quando è conveniente. L'utilizzo di SCH è anche utile per ridurre i picchi di carico dovuti alla ricarica di veicoli elettrici nello stesso momento; in questo modo è possibile ridurre i costi e le emissioni di inquinanti sfruttando al meglio le fonti di energia rinnovabile e riducendo l'utilizzo di centrali inefficienti per coprire i picchi di carico.

L'E-Mobility Report 2018 individua 4 sistemi di controllo per la ricarica, ordinati dal più semplice al più complesso:

- “Dumb charging”: la ricarica avviene appena l'auto viene connessa alla rete.
- “Delayed charging”: si può programmare la ricarica in modo da caricare l'auto nelle ore notturne, per esempio (per ridurre i costi e i picchi di richiesta serali).
- “Price-based charging”: il sistema di controllo modula automaticamente la ricarica per sfruttare i momenti in cui il prezzo dell'energia elettrica è minore.
- “RES/Load-based charging”: il sistema di controllo è in grado di modulare la ricarica in funzione della disponibilità di energia da fonti rinnovabili intermittenti e dei momenti in cui il prezzo dell'elettricità è minore.

Per sfruttare al meglio la tecnologia V2X è necessario che l'algoritmo di controllo implementato nel sistema sia almeno "Price-based charging", in modo da cedere energia quando il prezzo è più alto e ricaricare l'auto quando è più basso.

### Veicolo

Come già detto, al livello tecnologico attuale, soltanto i veicoli abilitati alla ricarica in corrente continua con standard CHAdeMO supportano lo scambio bidirezionale. Per rendere fruibile il V2X anche ai veicoli connessi alla rete di casa è necessario installare un inverter a bordo. Attualmente ci sono progetti in fase di sviluppo sia su Renault Zoe (in Olanda), sia su Toyota Prius Plug In (in Giappone).

### Utilizzo del veicolo

Come per i sistemi di controllo l'E-Mobility Report 2018 individua 4 tipologie diverse di utilizzo di veicolo elettrico, ordinati anche in questo caso dal più svantaggioso al più complicato e vantaggioso:

- "Uncontrollable load": le abitudini di ricarica e il chilometraggio giornaliero non sono mai noti a priori, dunque bisogna ricaricare spesso il veicolo in modo da avere la piena disponibilità quando necessario.
- "Partially controllable load": le abitudini di ricarica e l'utilizzo giornaliero del veicolo sono note in parte, ma non è possibile controllarle.
- "Controllable load": è possibile regolare la ricarica in base alla rete perché l'utilizzo del veicolo è completamente noto.
- "Controllable Resource": l'utilizzo del veicolo è completamente noto ed è possibile regolare la ricarica in base alla rete, inoltre è possibile immettere in rete l'energia prelevata dalla batteria.

In Italia, nonostante si sia attesa entro fine 2018 di una regolamentazione unica per implementarlo, il Vehicle to Grid non è ancora economicamente conveniente in quanto non esistono incentivi per chi immette elettricità in rete. Il V2H può essere invece conveniente se interconnesso con un impianto fotovoltaico domestico. Inoltre, il V2H non è soggetto a criticità normative perché non necessita di una connessione diretta con la rete elettrica. Nei prossimi capitoli verrà dunque effettuata l'analisi di un sistema Vehicle to Home per una famiglia media.

## 4.2 Microgrid

Una microgrid può essere definita come un sistema elettrico che include numerosi carichi, numerose fonti di energia distribuite e un'adeguata capacità di accumulo.

Una microgrid può funzionare sia se connessa alla rete elettrica sia in modalità isola.

Ogni abitazione, o carico generico, all'interno della microgrid è interconnessa con le altre tramite un cervello centrale che è in grado di gestire i flussi di energia elettrica e inviarli dove c'è bisogno garantendo l'autoscambio dell'energia elettrica.

Una microgrid solitamente è rappresentata come connessa alla rete elettrica con una linea in ingresso ed una linea in uscita, come nella figura seguente:



Figura 43 Schema rappresentativo di una microgrid (fonte:[6])

Parlando di ricarica di veicoli elettrici potrebbe essere interessante valutare il "comportamento elettrico" di un'ipotetica microgrid all'aumentare della potenza installata di fonti rinnovabili e di veicoli elettrici connessi al suo interno; in particolare potrebbe essere interessante valutare l'autoconsumo dell'intera rete e il risparmio in termini economici.

Anche questa valutazione verrà effettuata nei prossimi capitoli.

## 5. INTEGRAZIONE TRA V2H E FOTVOLTAICO

In questo capitolo verrà sviluppata una simulazione di calcolo che vada ad investigare i possibili vantaggi legati all'utilizzo della tecnologia V2H connessa ad una nanorete (nanogrid) residenziale.

L'obiettivo principale di questo lavoro è quello di valutare gli eventuali vantaggi in termini di risparmio economico e di autoconsumo di fotovoltaico, dal punto di vista del proprietario dell'auto elettrica che decida di utilizzare il V2H.

Sono stati analizzati diversi scenari e diverse situazioni che verranno analizzati nel dettaglio nelle prossime pagine; in particolare sono stati simulati diversi scenari di utilizzo del veicolo e 2 impianti fotovoltaici caratterizzati da potenze di picco diverse.

### 5.1 Consumi domestici

Il primo dato di input rilevante e necessario per lo svolgimento del calcolo è un profilo medio dei consumi domestici; ai fini di questa simulazione sono stati utilizzati dati di distribuzione media giornaliera dei consumi di una famiglia composta da 4-5 persone, suddividendo tra giorni festivi e feriali e considerando variazioni stagionali (si considerano 3 stagioni: estate, inverno e autunno-primavera accomunate). I grafici seguenti sono frutto di un'analisi che ha coinvolto 1000 abitazioni sparse per l'Italia. I dati utilizzati sono mediati sull'ora.

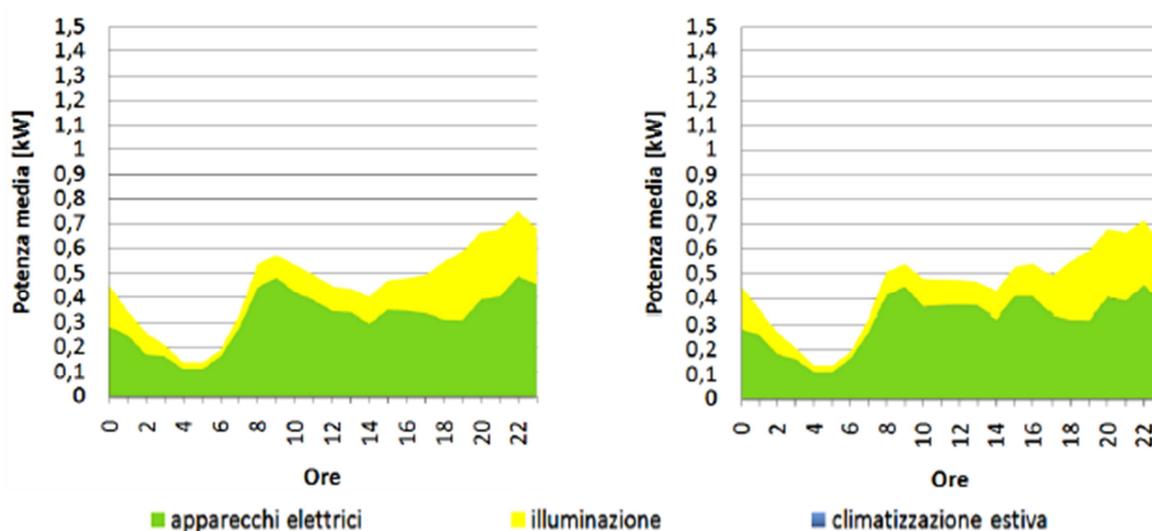


Figura 44 Consumo elettrico invernale dell'abitazione considerata (feriale a sinistra e festivo a destra) – (fonte: [7])

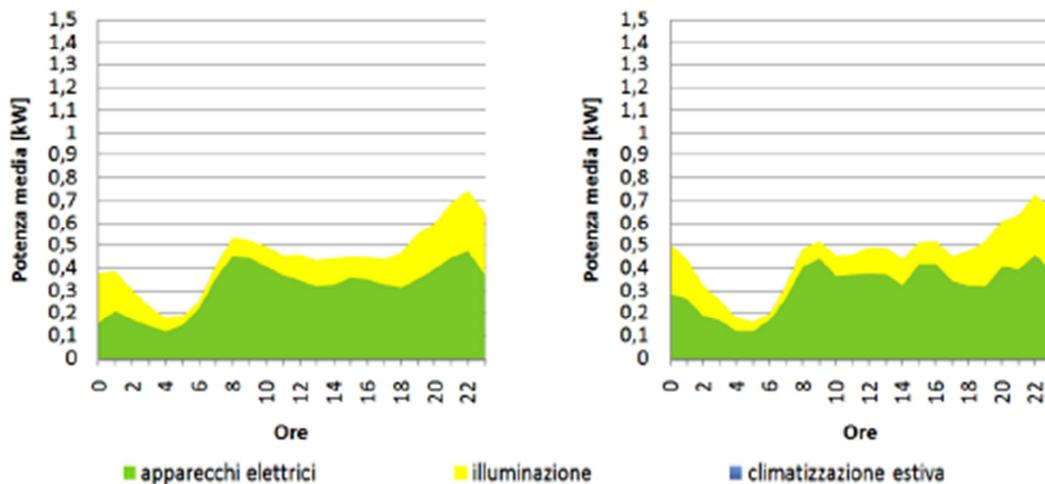


Figura 45 Consumo elettrico in primavera e autunno dell'abitazione considerata (feriale a sinistra e festivo a destra) – (fonte: [7])

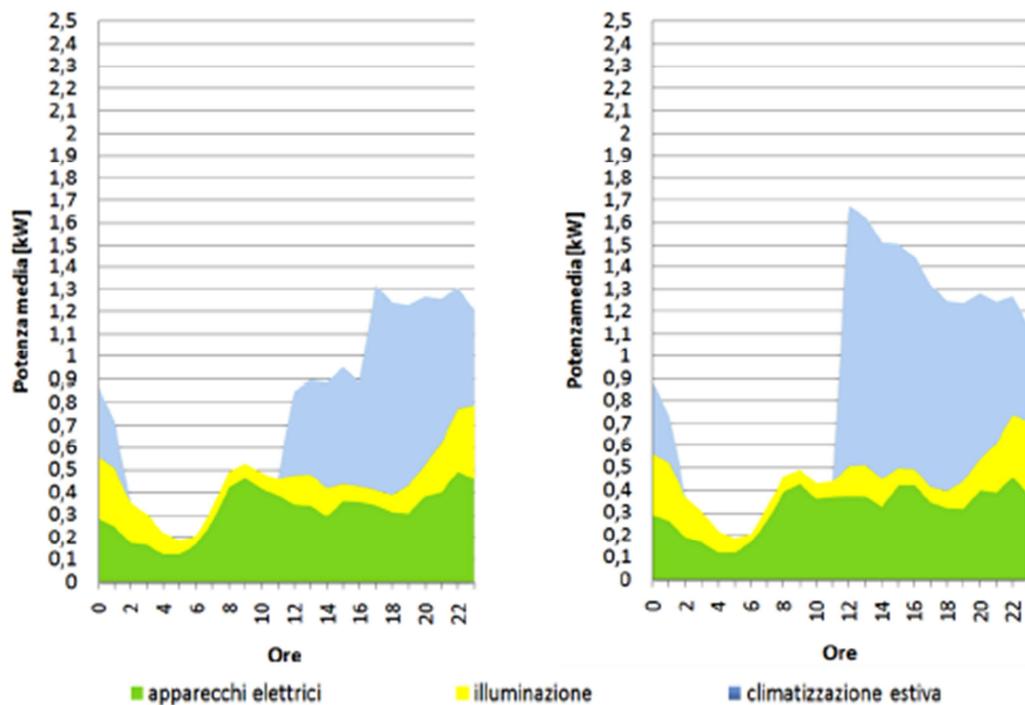


Figura 46 Consumo elettrico estivo dell'abitazione considerata (feriale a sinistra e festivo a destra) – (fonte: [7])

I consumi sono simili in inverno-primavera e autunno; l'unica differenza degna di nota è un consumo maggiore legato all'illuminazione artificiale nei mesi invernali. Come si può immaginare, guardando con attenzione i profili di consumo, il riscaldamento invernale avviene utilizzando una caldaia a gas naturale tradizionale.

I consumi estivi sono di gran lunga maggiori a causa dell'importante utilizzo della climatizzazione.

## 5.2 Produzione fotovoltaica

I dati relativi alla produzione dei pannelli fotovoltaici installati sono ricavati dai dati di irradianza ( $W/m^2$ ) e irradiazione ( $Wh/m^2$ ) medi mensili forniti dall'archivio climatico ENEA; dato che l'azienda Egea agisce principalmente nella provincia di Cuneo si è deciso di installare, ai fini della simulazione, il pannello fotovoltaico nel capoluogo.

Per completezza la simulazione di calcolo è stata effettuata utilizzando 2 impianti fotovoltaici composti da moduli in silicio policristallino diversi: uno da 3kW di picco e uno da 4kW di picco.

I pannelli sono installati su un tetto (building integrated), rivolti a sud (Azimut  $0^\circ$ ) e con un inclinazione di  $20^\circ$  rispetto all'orizzontale.

La potenza prodotta si ottiene utilizzando la formula seguente:

$$P_{FV}(t) = P_{pk}(kW) \cdot \frac{G(t)}{G_{STC} \left( \frac{W}{m^2} \right)} \cdot PR$$

Dove:

- $P_{pk}$  è la potenza di picco (kW)
- $G$  è l'irradiazione ( $W/m^2$ )
- $G_{STC}$  è l'irradiazione in "Standard Test Condition" ed è pari a  $1000 W/m^2$
- $PR$  è il Performance Ratio che tiene conto delle perdite di sistema; in particolare, perdite dovute alla temperatura dei moduli, perdite per riflessione e sporcamento, perdite nei cavi e nell'inverter e perdite dovute a fenomeni di mismatch.

In questa analisi il Performance Ratio è considerato costante.

Così facendo si ottiene una distribuzione statistica dei kW, mediati sull'ora, erogati dal pannello fotovoltaico; le curve giornaliere sono assunte costanti di mese in mese (per esempio, in ogni giorno di gennaio si produce la stessa energia).

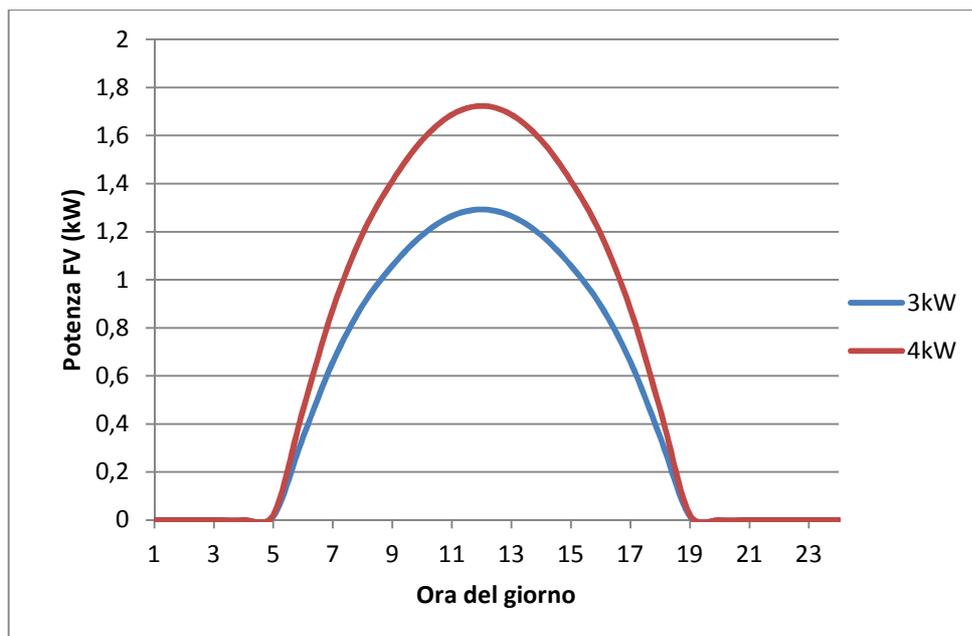


Figura 47 Esempio Produzione FV in kW

Nel grafico è mostrato il profilo giornaliero di produzione del fotovoltaico per un giorno di aprile.

L'energia prodotta in tutto l'anno dal pannello fotovoltaico da 3kW di picco è pari a circa 3600kWh; il pannello da 4kW produce circa 4800kWh.

Potrebbe essere utile visualizzare in alcuni grafici i profili di produzione da FV (di potenza 3kW) e i profili di consumo elettrico casalingo, in vari periodi dell'anno.

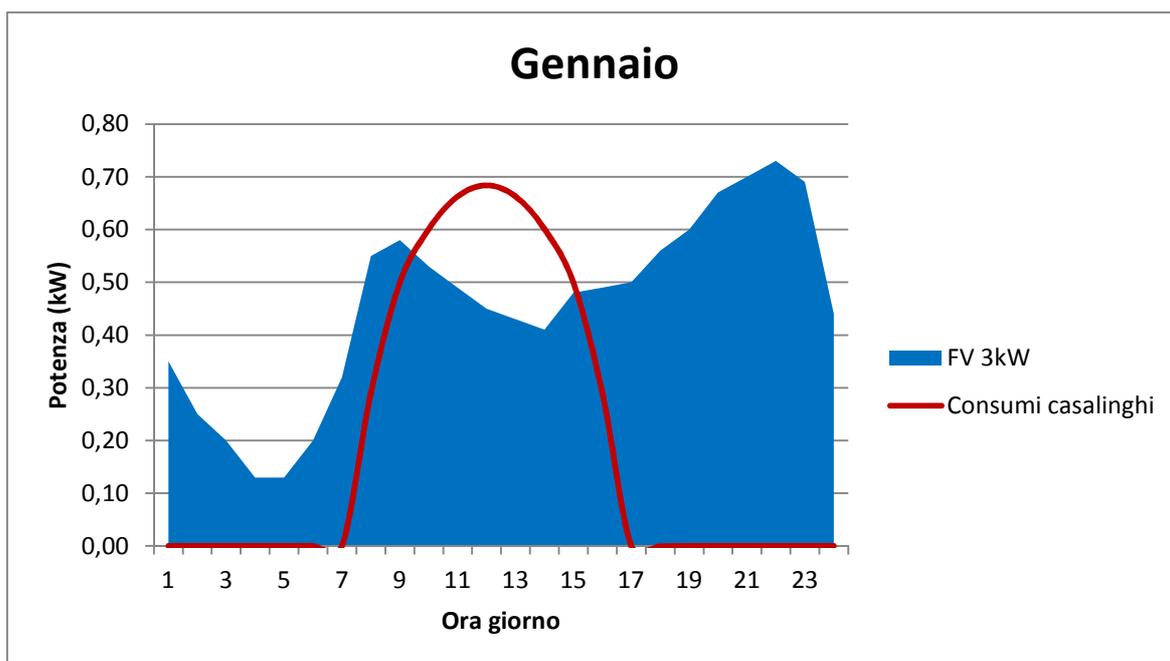


Figura 48 Sovrapposizione tra profilo di consumo casalingo e produzione FV a gennaio

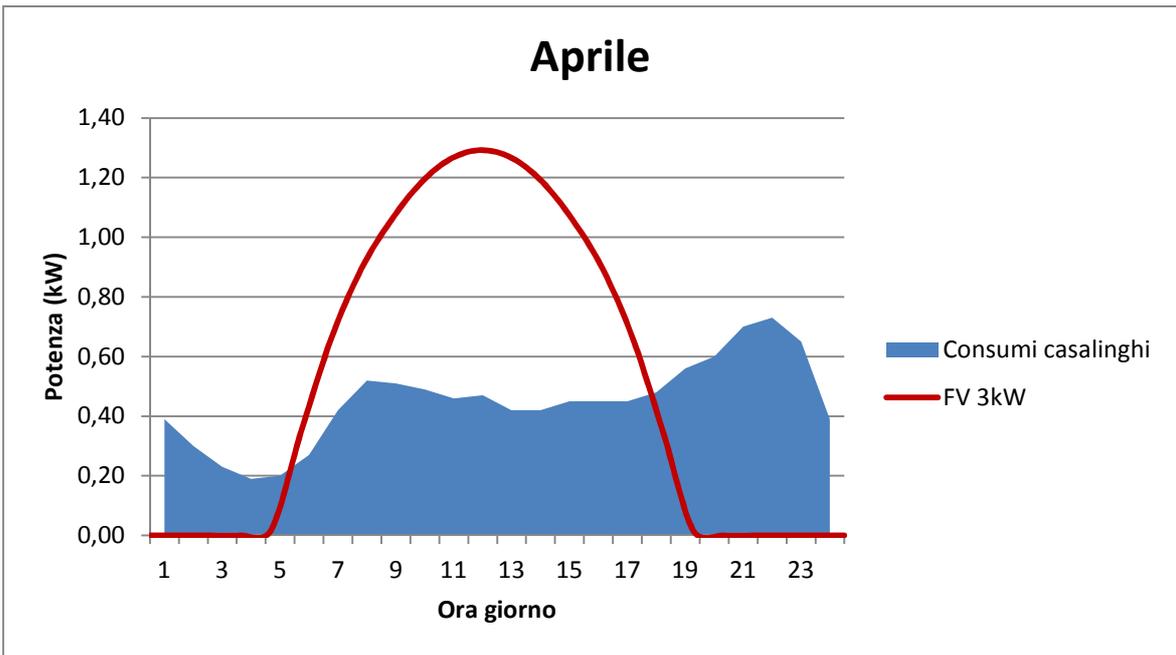


Figura 49 Sovrapposizione tra profilo di consumo casalingo e produzione FV ad aprile

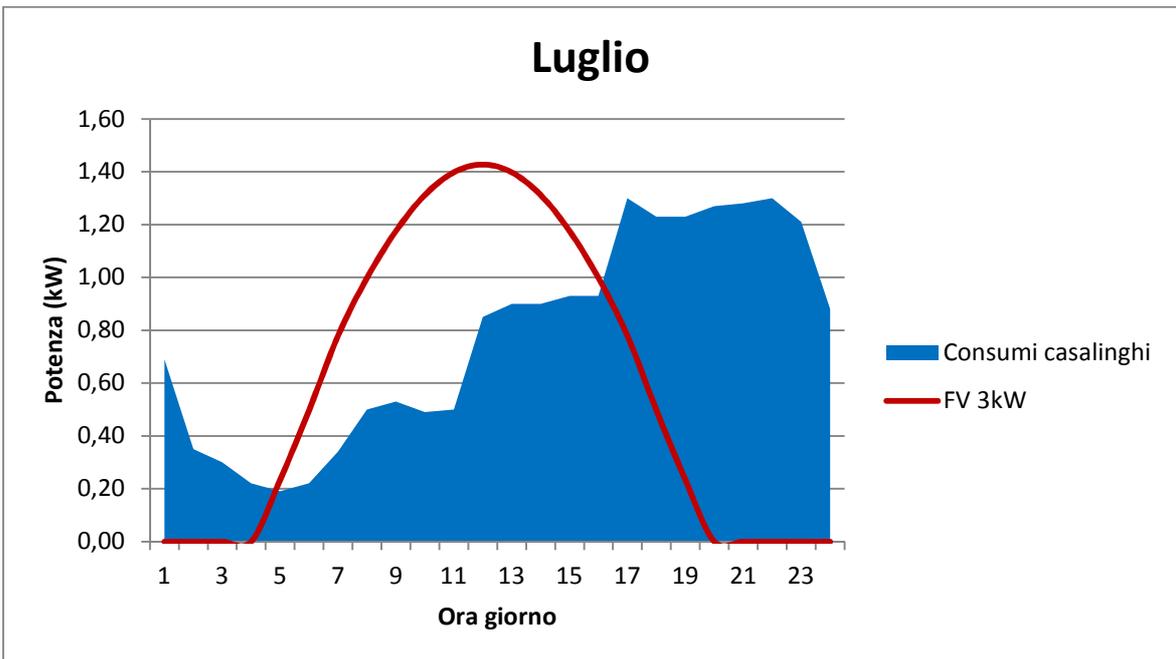


Figura 50 Sovrapposizione tra profilo di consumo casalingo e produzione FV a luglio

Nei vari grafici è ben chiaro e visibile che il picco di consumi avviene alle ore serali, quando il sistema fotovoltaico non è in produzione; il picco di produzione fotovoltaica avviene, invece, nelle ore centrali della giornata, quando i consumi sono minori. Ciò si traduce

nell'immissione in rete dell'energia prodotta in eccesso dai pannelli che può causare, su larga scala, innalzamenti della tensione di rete.

Utilizzando degli accumuli casalinghi è possibile immagazzinare parte dell'energia durante il picco di produzione FV e utilizzarla più tardi nella giornata migliorando l'autoconsumo di FV e garantendo un risparmio in bolletta.

Questa operazione, se svolta contemporaneamente in molte abitazioni, garantirebbe meno immissioni in rete da parte degli impianti fotovoltaici e una riduzione dei picchi serali di richiesta dalla rete (peak shaving).

## 5.3 Scenari di utilizzo dell'auto elettrica

Per sviluppare una simulazione corretta e coerente è necessario supporre alcuni scenari di utilizzo dell'auto elettrica.

Secondo il 14° Rapporto sulla mobilità in Italia, stilato dall'ISFORT (Istituto Superiore di Formazione e Ricerca per i Trasporti) il 36,7% degli spostamenti avviene per motivi di lavoro, il 34,8% avviene nel tempo libero e il 28,5% per gestione familiare; dato che la maggior parte degli spostamenti è dovuto a motivi lavorativi si è scelto di focalizzarsi maggiormente su questo aspetto.

Sono stati quindi supposti 3 scenari di utilizzo dell'auto elettrica compatibili con gli spostamenti di 3 tipologie di lavoratore:

- Dipendente 1: il primo scenario è stato denominato Dipendente 1. Il profilo di utilizzo dell'auto elettrica è quello di un comune dipendente che utilizza l'auto al mattino per recarsi al lavoro e torna a casa soltanto nel tardo pomeriggio.
- Dipendente 2: anche nel secondo scenario si considera un lavoratore dipendente. In questo scenario il lavoratore trascorre la pausa pranzo a casa.
- Turnista: il lavoratore turnista alterna una settimana di lavoro nel turno mattutino, una settimana nel turno pomeridiano e una settimana nel turno di notte.

Gli scenari impongono un utilizzo preciso e costante dell'auto elettrica dal lunedì al venerdì; sono stati supposti anche degli spostamenti il sabato e la domenica, uguali per i 3 scenari.

Per completezza, oltre agli scenari di utilizzo dell'auto per motivi di lavoro è stato aggiunto un quarto ed ultimo scenario in cui l'auto elettrica viene utilizzata esclusivamente come seconda auto di famiglia:

- Seconda auto: l'auto viene utilizzata soltanto il sabato e la domenica e rimane connessa al sistema di ricarica in tutti gli altri momenti.

Nelle tabelle seguenti sono riassunti tragitti giornalieri e orari di uscita e ritorno a casa per i 4 scenari ipotizzati:

		da lunedì a venerdì				
ID	scenario	distanza casa-lavoro (km)	Chilometraggio giornaliero (km)	utilizzo sabato (km)	domenica (km)	Tragitto annuale (km)
1	Dipendente 1	30	60	60	40	20800
2	Dipendente 2	15	60	60	40	20800
3	Turnista	30	60	60	40	20800
4	Seconda auto	0	0	80	70	7800

Tabella 45 Scenari di utilizzo dell'auto elettrica (chilometri)

ID	Scenario	Uscita casa lavoro	Rientro casa lavoro	Uscita Sabato	Rientro Sabato	Uscita Domenica	Rientro Domenica	
1	Dipendente 1	8:00	19:00	14:00	22:00	14:00	18:00	
2	Dipendente 2	8:00	12:00	14:00	22:00	14:00	18:00	
		14:00	19:00					
3	Turnista	Turno 1	6:00	14:00	14:00	22:00	14:00	18:00
		Turno2	14:00	22:00				
		Turno 3	22:00	6:00				
4	Seconda auto	Sempre connessa		14:00	22:00	14:00	18:00	

Tabella 46 Scenari di utilizzo dell'auto elettrica (orari)

Come si può notare dalle tabelle si presuppone un utilizzo abbastanza elevato dell'auto sia in termini di chilometri all'anno, sia in termini di ore trascorse fuori di casa. Gli scenari di utilizzo sono compatibili con un utilizzo futuro dell'auto elettrica, quando il V2H potrebbe essere utilizzato con frequenza.

Compatibilmente con questi profili di utilizzo si è pensato di utilizzare, nella simulazione, una batteria di capacità pari a 40 kWh, in modo da tenere conto che, in futuro, la capacità media delle batterie delle auto elettriche sarà maggiore dei 25 kWh utilizzati nella simulazione precedente.

## 5.4 Controllo della ricarica

Al fine di poter sfruttare la tecnologia del V2H è necessario implementare un sistema di controllo della ricarica adatto; il sistema di controllo in questione deve essere in grado di gestire la ricarica e la scarica della batteria tenendo conto di produzione fotovoltaica, energia richiesta dalla casa, energia residua nella batteria ed energia necessaria per il prossimo viaggio, deve essere quindi del tipo RES/Load Based.

Sono state svolte 2 simulazioni utilizzando 2 configurazioni e, di conseguenza, 2 sistemi di controllo differenti.

Nella prima simulazione si va ad investigare il funzionamento classico della tecnologia V2H.

Il sistema di controllo monitora continuamente la potenza prodotta dall'impianto fotovoltaico e la domanda di potenza elettrica dell'abitazione; se la produzione è in surplus allora la batteria dell'auto inizia a caricarsi, se la richiesta di energia è maggiore dell'offerta è possibile scaricare la batteria per coprire i consumi domestici.

Il sistema di controllo implementato nella simulazione è descritto matematicamente qui di seguito:

$$(1) P_{carica}(t) = \begin{cases} (P_{FV}(t) - P_{casa}(t)) & \text{se } P_{FV}(t) > P_{casa}(t) \\ & e C_{E\_bat}(t) < C_{E\_bat,max} \\ & e X_{connessione}(t) = 1 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$(2) P_{scarica}(t) = \begin{cases} (P_{casa}(t) - P_{FV}(t)) & \text{se } P_{casa}(t) > P_{FV}(t) \\ & e C_{E\_bat}(t) > C_{E\_bat,min} \\ & e X_{connessione}(t) = 1 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$C_{E\_bat}(t) = \begin{cases} C_{E\_bat}(t-1) + \eta_{rt} \cdot P_{carica}(t) \cdot \Delta t & \text{se } P_{carica}(t) \neq 0 \\ C_{E\_bat}(t-1) - P_{scarica}(t) \cdot \Delta t & \text{se } P_{scarica}(t) \neq 0 \end{cases}$$

Dove:

- $P_{carica}(t)$ : rappresenta la potenza di ricarica della batteria dell'auto elettrica all'istante  $t$  (kW).
- $P_{scarica}(t)$ : rappresenta la potenza di scarica della batteria dell'auto elettrica (per la gestione dei carichi casalinghi) (kW).
- $P_{casa}(t)$ : è la potenza elettrica richiesta dalla casa all'istante  $t$  (kW).
- $P_{FV}(t)$ : è la potenza prodotta dall'impianto fotovoltaico all'istante  $t$  (kW).
- $C_{E\_bat}(t)$ : è la capacità di accumulo della batteria all'istante  $t$  (kWh).
- $C_{E\_bat,max}$ : rappresenta la massima energia che può essere accumulata nella batteria (in questa simulazione è stata assunta pari al 95% della capacità di accumulo nominale  $C_{E\_bat,nom}$ ) (kWh).
- $C_{E\_bat,min}$ : limite minimo di energia presente all'interno della batteria per cui sono abilitate le operazioni di V2H (kWh). Sarà analizzato nel dettaglio in seguito.
- $\eta_{rt}$ : rappresenta l'efficienza della batteria (round-trip efficiency); esso indica la quantità di energia accumulata all'interno della batteria che può essere estratta e utilizzata.
- $X_{connessione}$ : è un vettore che assume, a ogni istante di tempo, il valore 1 se l'auto è connessa alla colonnina di ricarica e il valore 0 se l'auto non è connessa.

In questa simulazione lo scambio bidirezionale di energia (V2H) tra auto ed abitazione avviene soltanto finché la capacità di accumulo della batteria, nell'istante considerato, è maggiore della capacità minima. La capacità minima è uguale alla quantità di energia necessaria per compiere il viaggio della giornata a cui viene sommato il 20% della capacità nominale della batteria, in modo da poter effettuare il tragitto voluto con tranquillità e di evitare cicli di scarica troppo ampi.

$$C_{E\_bat,min} = E_{viaggio} + 20\% \cdot C_{E\_bat,nom}$$

$$E_{viaggio} = c_{auto\_el} \cdot d_{viaggio}$$

Dove:

- $c_{auto\_el}$ : consumo dell'auto. In questa simulazione si è assunto  $c_{auto\_el}=0,18$  kWh/km
- $d_{viaggio}$ : chilometraggio giornaliero massimo della settimana.

Quando l'auto torna da un viaggio e viene connessa al sistema di ricarica la batteria potrebbe avere una carica residua inferiore a  $C_{bat,min}$ ; a questo punto è necessario ricaricare la batteria utilizzando la rete elettrica in modo che l'auto abbia di nuovo, velocemente, la carica necessaria per effettuare il prossimo viaggio.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{se} \quad C_{E\_bat}(t) < C_{E\_bat,min} \\ \text{allora} \quad P_{carica}(t) = P_{rete} \end{array} \right.$$

Con  $P_{rete}$  si intende tutta la potenza di rete disponibile e quindi, quando si ha deficit di fotovoltaico, si ha:

$$P_{rete} = P_{MAX} - (P_{casa} - P_{FV})$$

$P_{MAX}$  è la potenza massima prevista dal contratto di fornitura luce-casa e, in questo caso, è assunto pari a 3 kW.

Utilizzando il sistema di controllo descritto in precedenza l'eventuale sovrapproduzione di energia dall'impianto fotovoltaico viene reimpressa in rete soltanto se l'auto elettrica non è connessa o se la batteria è completamente carica (il che avviene raramente poiché la batteria cede continuamente energia per gestire i carichi casalinghi).

È stata poi svolta una seconda simulazione; l'auto continua a essere utilizzata in modalità Vehicle to Home, ma al sistema viene aggiunta una batteria domestica, sempre connessa, per immagazzinare l'energia prodotta dall'impianto FV.

Al fine di gestire al meglio auto e batteria da casa si è supposto che la ricarica dell'auto fosse sempre prioritaria e che la batteria da casa si caricasse soltanto in caso di batteria auto completamente carica o auto non connessa. Quindi, in caso di sovrapproduzione da parte dell'impianto fotovoltaico viene ricaricata la batteria dell'auto, se possibile, altrimenti viene ricaricata la batteria domestica; in caso di deficit nella produzione, invece, si scarica

inizialmente la batteria domestica e solo successivamente entra in azione la batteria del veicolo elettrico.

La capacità di accumulo della batteria domestica è stata supposta pari a  $C_{E\_BC,nom}=10\text{kWh}$ . Si potrebbe anche utilizzare, come batteria domestica, una batteria di un veicolo elettrico a fine vita; in questo caso la capacità di accumulo sarebbe sicuramente maggiore.

Il sistema di controllo completo è descritto matematicamente qui di seguito:

$$P_{carica}(t) = \begin{cases} (P_{FV}(t) - P_{casa}(t)) & \text{se } P_{FV}(t) > P_{casa}(t) \\ & \text{e } C_{E\_bat}(t) < C_{E\_bat,max} \\ & \text{e } X_{connessione}(t) = 1 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$P_{carica\_BC}(t) = \begin{cases} (P_{FV}(t) - P_{casa}(t)) & \text{se } P_{FV}(t) > P_{casa}(t) \\ & \text{e } C_{E\_BC}(t) < C_{E\_BC,max} \\ & \text{e } P_{carica}(t) = 0 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$P_{scarica\_BC}(t) = \begin{cases} (P_{casa}(t) - P_{FV}(t)) & \text{se } P_{casa}(t) > P_{FV}(t) \\ & \text{e } C_{E\_BC}(t) > C_{E\_BC,min} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$P_{scarica}(t) = \begin{cases} (P_{casa}(t) - P_{FV}(t)) & \text{se } P_{casa}(t) > P_{FV}(t) \\ & \text{e } C_{E\_bat}(t) > C_{E\_bat,min} \\ & \text{e } X_{connessione}(t) = 1 \\ & \text{e } P_{scarica_{BC}}(t) = 0 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$C_{E\_bat}(t) = \begin{cases} C_{E\_bat}(t-1) + \eta_{rt} \cdot P_{carica}(t) \cdot \Delta t & \text{se } P_{carica}(t) \neq 0 \\ C_{E\_bat}(t-1) - P_{scarica}(t) \cdot \Delta t & \text{se } P_{scarica}(t) \neq 0 \\ C_{E\_bat}(t-1) & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$C_{E\_BC}(t) = \begin{cases} C_{E\_BC}(t-1) + \eta_{rt} \cdot P_{carica_{BC}}(t) \cdot \Delta t & \text{se } P_{carica_{BC}}(t) \neq 0 \\ C_{E\_BC}(t-1) - P_{scarica_{BC}}(t) \cdot \Delta t & \text{se } P_{scarica_{BC}}(t) \neq 0 \\ C_{E\_BC}(t-1) & \text{altrimenti} \end{cases}$$

Anche in questo caso se la batteria dell'auto scende al di sotto del minimo consentito viene ricaricata dalla rete elettrica

$$\begin{cases} \text{se} & C_{E\_bat}(t) < C_{bat,min} \\ \text{allora} & P_{carica}(t) = P_{rete} \end{cases}$$

Dove:

- $P_{carica_{BC}}(t)$ : rappresenta la potenza di ricarica della batteria domestica all'istante t.

- $P_{scarica\_BC}(t)$ : rappresenta la potenza di scarica della batteria domestica (per la gestione dei carichi casalinghi).
- $C_{E\_BC}(t)$ : è la capacità della batteria domestica all'istante  $t$ .
- $C_{E\_BC,max}$ : rappresenta la massima energia che può essere accumulata nella batteria domestica (in questa simulazione è stata assunta pari al 95% della capacità di accumulo nominale  $C_{E\_BC,nom}$ ).
- $C_{E\_BC,min}$ : limite minimo di energia presente all'interno della batteria per cui la scarica può avvenire; per la batteria domestica è stato supposto pari al 10% di  $C_{E\_BC,nom}$  (il limite minimo non è il 20% in questo caso perché le batterie domestiche sono progettate per sopportare cicli di carica e scarica più estesi).

Utilizzando questa configurazione e questo sistema di controllo l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico viene reimpressa in rete soltanto se si verificano simultaneamente le seguenti situazioni:

- L'auto non è connessa alla rete o la sua batteria è completamente carica
- La batteria domestica è completamente carica.

I due scenari descritti verranno poi confrontati con lo scenario di ricarica base (dumb charging) in cui la batteria dell'auto viene ricaricata, sfruttando la massima potenza disponibile, appena viene connessa alla colonnina.

Si può procedere ora a un confronto, dal punto di vista energetico, tra la ricarica tradizionale e il V2H in un giorno tipo; le figure seguenti mostrano cosa accade in un giorno di aprile, con lavoratore turnista che faccia il turno pomeridiano, nelle due modalità di ricarica.

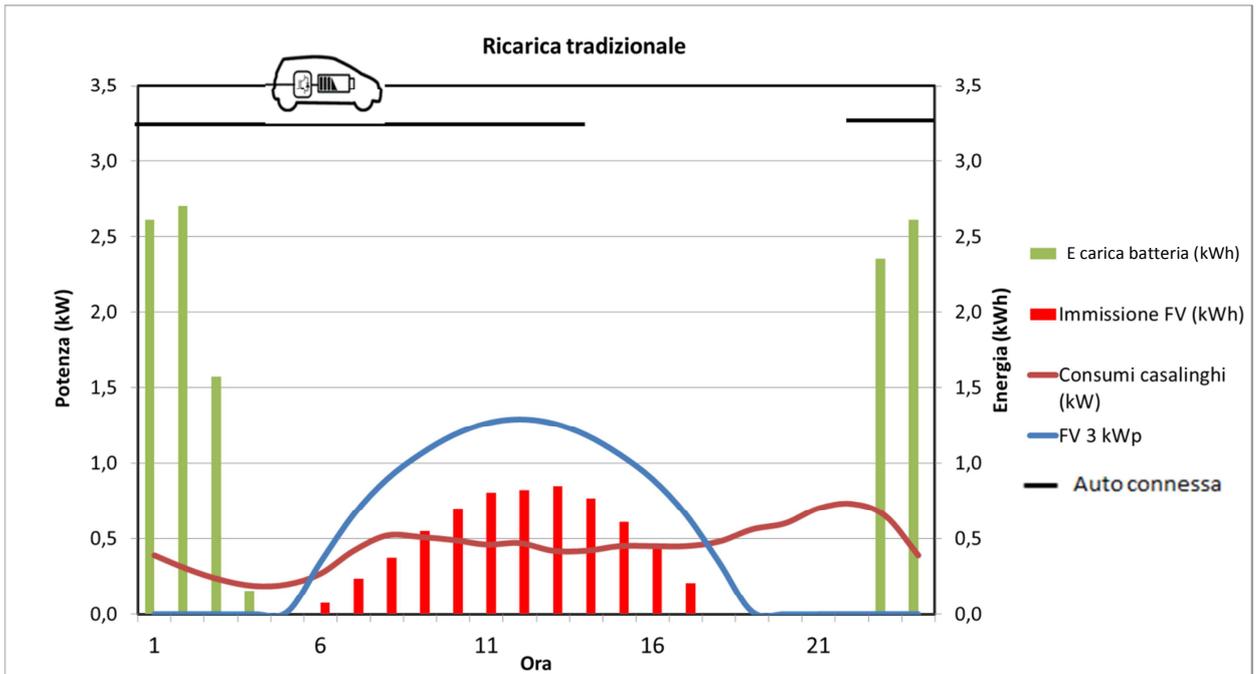


Figura 51 Ricarica tradizionale in un giorno di aprile, scenario Turnista

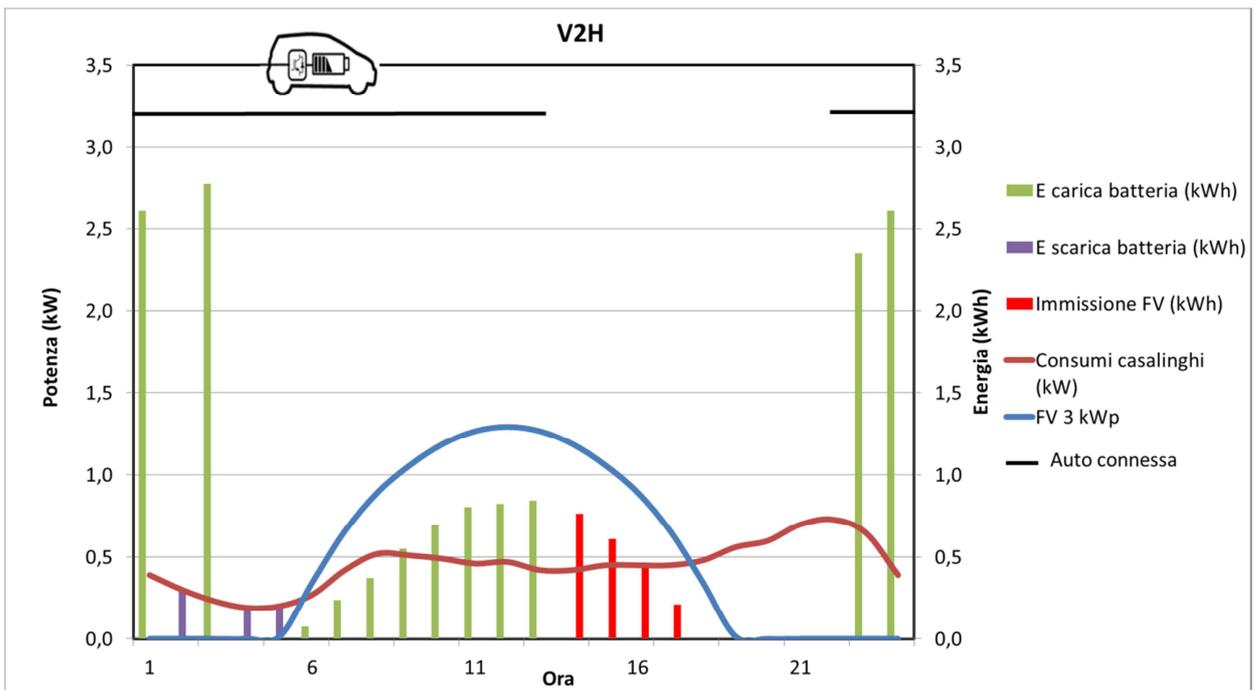


Figura 52 V2H in un giorno di aprile, scenario Turnista

Si può notare facilmente come l'energia immessa in rete, nel caso V2H, sia molto minore rispetto a quanto accade con la ricarica tradizionale. Il surplus fotovoltaico, nel V2H, viene quasi interamente utilizzato per ricaricare la batteria dell'auto.

## 5.5 Simulazione di calcolo e risultati

Per svolgere la simulazione di calcolo sono state utilizzate le seguenti ipotesi:

- Il veicolo elettrico viene connesso alla colonnina appena si arriva a casa.
- Viene simulato il funzionamento di un'auto in configurazione V2H per un anno.
- Il  $\Delta t$  utilizzato è pari a 1 ora.
- La capacità della batteria del veicolo, come già detto, è assunta pari a 40 kWh.
- Il consumo dell'auto, coerentemente con quanto espresso in tabella 4, è assunto pari a 0,18 kWh/km.
- L'efficienza della batteria ( $\eta_{rt}$ ) è assunta pari al 90%.
- Sia la batteria dell'auto, sia la batteria domestica sono completamente cariche a inizio simulazione.
- La batteria dell'auto viene ricaricata soltanto a casa (a meno che non venga specificato diversamente).
- Sono state supposte 2 settimane di ferie, ad agosto, in cui i consumi della casa sono ridotti al minimo e l'auto rimane sempre connessa.
- I limiti minimo e massimo della batteria sono stati impostati in modo che l'energia, all'interno della batteria, sia sempre tra il 20% e il 95% del totale; questo è necessario per evitare il danneggiamento e la degradazione della batteria causata da cicli di carica e scarica troppo profondi. Sono state svolte delle ricerche in questo senso e si è arrivati alla conclusione che utilizzando la batteria dell'auto in V2H o V2G, implementando un corretto algoritmo di gestione, si possa aumentare fino al 10% la vita utile delle batterie [5].

Nella simulazione, oltre al calcolo per ogni step temporale della capacità della batteria e delle potenze di carica e scarica (usando il sistema di controllo espresso in precedenza), sono state valutate le immissioni in rete di surplus fotovoltaico e l'energia prelevata dalla rete.

Per quanto riguarda l'immissione di surplus fotovoltaico in rete si è proceduto come segue:

$$P_{imm_{FV}}(t) = \begin{cases} (P_{FV}(t) - P_{casa}(t)) & \text{se } P_{FV} > P_{casa} \\ & \text{e se } o C_{E\_bat} = C_{E\_bat,max} \\ & o X_{connessione} = 0 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

La formula descritta può essere utilizzata nel caso in cui non ci sia una batteria domestica connessa al sistema. Se la batteria domestica è presente bisogna utilizzare la formula seguente:

$$P_{imm_{FV}}(t) = \begin{cases} (P_{FV}(t) - P_{casa}(t)) & \text{se } P_{FV} > P_{casa} \\ & e C_{E\_BC} = C_{E\_BC,max} \\ & e se o C_{E\_bat} = C_{E\_bat,max} \\ & o X_{connessione} = 0 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

Dato che la simulazione è sviluppata utilizzando intervalli di tempo di un ora basta sommare le potenze in kW per ottenere l'energia totale immessa in rete in un anno  $E_{imm_{FV}}$ .

Per quanto riguarda il calcolo della potenza richiesta alla rete bisogna semplicemente sommare la potenza richiesta per la ricarica, quando la capacità di accumulo della batteria è minore del minimo,  $P_{rete}$  con il fabbisogno casalingo quando la produzione da fotovoltaico è deficitaria.

Anche in questo caso sommando la potenza in ogni istante di tempo si ottiene l'energia prelevata dalla rete in un anno.

I risultati che si vogliono ottenere da questa analisi sono:

- Confronto dell'autoconsumo di energia prodotta dall'impianto fotovoltaico nei casi dumb charging, V2H e V2H + batteria.
- Confronto tra le bollette elettriche (consumi domestici+mobilità) annuali nei 3 casi precedenti.

- Confronto dei costi totali (consumi domestici+mobilità) con il caso in cui non si utilizzi l'auto elettrica.

Per valutare l'autoconsumo si procede come segue:

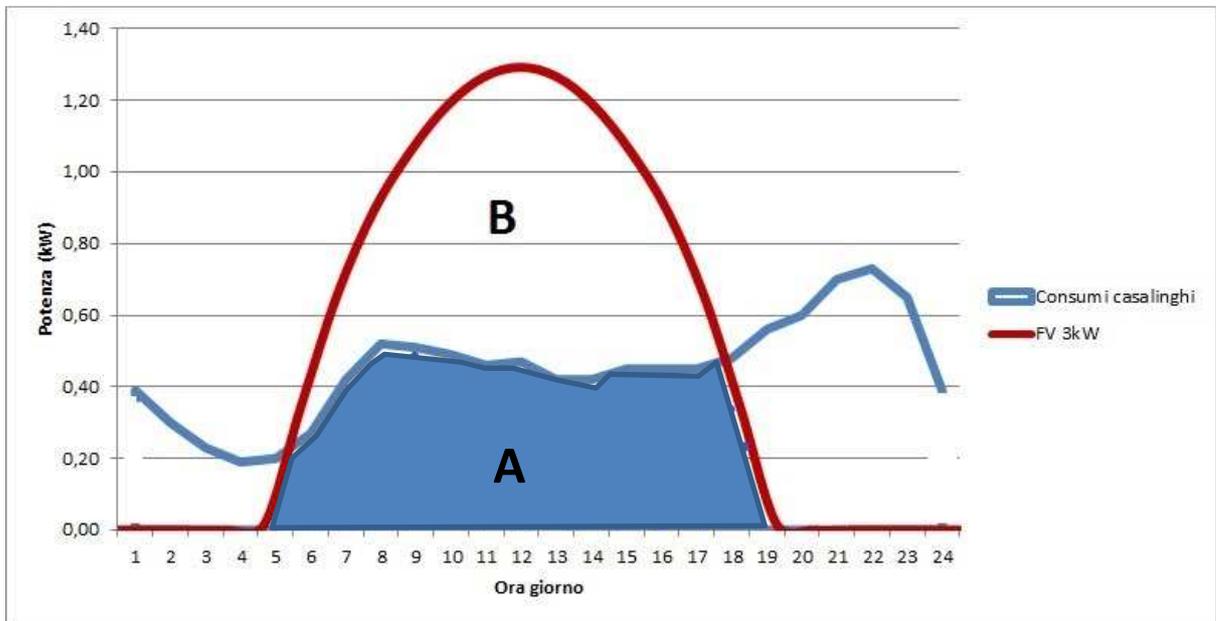


Figura 53 Sovrapposizione tra profilo di consumo casalingo e produzione FV ad aprile

L'autoconsumo  $A_c$  è valutato utilizzando la formula seguente:

$$A_c = \frac{A}{A + B}$$

Dove  $A+B$  rappresenta l'energia totale prodotta dall'impianto fotovoltaico e  $A$  è la frazione che combacia con l'energia richiesta dalla casa.

Per valutare la bolletta elettrica totale sono state utilizzate due tariffe differenti per la fornitura elettrica: una tariffa bioraria e una tariffa monoraria.

La fonte dei dati è il servizio elettrico nazionale e le componenti di spesa, che sono riassunte nelle tabelle di seguito, sono relative alle tariffe domestiche per clienti residenti valide da luglio 2018 a fine settembre 2018.

Nelle 2 figure in questa pagina sono riassunte le componenti di spesa della tariffa bioraria sia per quanto riguarda la materia energia, sia per quanto riguarda i servizi di rete

Quota fissa	Per ogni mese del trimestre	€/cliente/mese	2,900000	
Quota energia	Energia F1	€/kWh	0,096980	
	Energia F23	€/kWh	0,083630	
	<b>Componente di dispacciamento (parte variabile):</b>			
	1° scaglione: consumi fino a 1800 kWh	€/kWh	0,002470	
	2° scaglione: consumi oltre 1800 kWh	€/kWh	0,006630	

Figura 54 Tariffa bioraria - spesa per la materia energia

		Spesa trasporto gestione contatore	Spesa oneri di sistema
Quota fissa	€/cliente/mese	1,610000	0,000000
Quota potenza	€/kW di potenza impegnata/mese	1,774500	0,000000
Quota variabile	1° scaglione: consumi fino a 1800 kWh €/KWh	0,007860	0,020626
	2° scaglione: consumi oltre 1800 kWh €/KWh	0,007860	0,055465

Figura 55 Tariffa bioraria - servizi di rete

La fascia F1 riguarda i consumi effettuati dal lunedì al venerdì, tra le 7:00 e le 19:00.

La fascia F23 comprende le ore serali e notturne e i giorni festivi (compreso il sabato).

Per quanto riguarda la tariffa monoraria si ha:

Quota Fissa	Per ogni mese del trimestre	€/cliente/mese	2,900000
Quota energia	Energia	€/kWh	0,088120
	Componente di dispacciamento (parte variabile):	€/kWh	,
	1° scaglione: consumi fino a 1800 kWh	€/kWh	0,002470
	2° scaglione: consumi oltre 1800 kWh	€/kWh	0,006630

Figura 56 Tariffa monoraria - spesa per la materia energia

		Spesa trasporto gestione contatore	Spesa oneri di sistema
Quota fissa	€/cliente/mese	1,610000	0,000000
Quota potenza	€/kW di potenza impegnata/mese	1,774500	0,000000
Quota variabile	1° scaglione: consumi fino a 1800 kWh €/KWh	0,007860	0,020626
	2° scaglione: consumi oltre 1800 kWh €/KWh	0,007860	0,055465

Figura 57 Tariffa monoraria - servizi di rete

Alle tariffe qui riassunte vanno ancora aggiunte le componenti Asos (oneri a sostegno delle energie rinnovabili), UC3 e UC6 (relative ad alcuni meccanismi del servizio elettrico) pari rispettivamente a 0,055465 €/kWh, 0,000720 €/kWh e 0,000020 €/kWh.

La quota di energia immessa in rete dall'impianto fotovoltaico è soggetta allo scambio sul posto (SSP); un contributo finanziario viene attribuito per l'energia reimessa in rete che, quindi, non viene immediatamente autoconsumata. Tale contributo è assunto pari a  $C_{SSP}=0,10\text{€/kWh}$ . La bolletta annuale si calcola quindi come:

$$Bolletta = C_E \cdot E_{consumata} - C_{SSP} \cdot E_{imm\_FV}$$

Infine, è necessario calcolare il costo relativo alla mobilità tradizionale in modo da valutare il risparmio legato all'utilizzo dell'auto elettrica (non si considera quindi, in questa analisi, il costo di acquisto dell'auto).

Per eseguire questo calcolo è necessario, in primo luogo, ricavare o ipotizzare dati relativi al consumo medio di un'auto e al costo del combustibile; il calcolo è stato effettuato per 4 combustibili diversi: benzina, diesel, GPL e metano.

I dati utilizzati sono riassunti nella prossima tabella:

Auto convenzionale	consumi	costo carburante
benzina	14 km/l	1,65€/l
diesel	16 km/l	1,50 €/l
GPL	14 km/l	0,67€/l
Metano	21 km/l	0,97€/kg

Tabella 47 Dati relativi ai consumi e al costo del carburante per 4 tipologie di auto convenzionale

Se si utilizza l'auto elettrica i costi totali, sostenuti nell'anno, equivalgono alla bolletta totale; se invece si utilizza un'auto con motore a combustione interna, alla bolletta, che riguarda esclusivamente i consumi domestici, è necessario sommare il costo per l'acquisto del carburante necessario per il chilometraggio annuale.

$$C_{TOT} = bolletta + d_{anno} \cdot \frac{C_{combustibile}}{c_{auto}}$$

Dove:

- $C_{TOT}$ : è il costo totale sostenuto in un anno se non si utilizza l'auto elettrica.
- $d_{anno}$ : è la distanza percorsa in un anno.
- $C_{combustibile}$ : è il costo del combustibile utilizzato
- $c_{auto}$ : è il consumo medio dell'auto.

Ora è possibile riportare i vari risultati ottenuti.

Per quanto riguarda l'autoconsumo, con l'impianto fotovoltaico da 3kW si ottengono i seguenti risultati.

<b>Scenario 1 Dipendente 1</b>	Immissione in rete (kWh)	Autoconsumo (%)
No auto elettrica	1.428,80	60%
Dumb Charging	1.428,80	60%
V2H	951,02	74%
V2H+batteria	89,54	98%

Tabella 48 Autoconsumo - scenario 1 - 3kW

<b>Scenario 2 Dipendente 2</b>	Immissione in rete (kWh)	Autoconsumo (%)
No auto elettrica	1.428,80	60%
Dumb Charging	1.197,22	67%
V2H	717,44	80%
V2H+batteria	85,22	98%

Tabella 49 Autoconsumo - scenario 2 - 3kW

<b>Scenario 3 Turnista</b>	Immissione in rete (kWh)	Autoconsumo (%)
No auto elettrica	1.428,80	60%
Dumb Charging	1.242,44	66%
V2H	531,35	85%
V2H+batteria	55,33	98%

Tabella 50 Autoconsumo - scenario 3 - 3kW

<b>Scenario 4 Seconda auto</b>	Immissione in rete (kWh)	Autoconsumo (%)
No auto elettrica	1.428,80	60%
Dumb Charging	1.428,08	60%
V2H	132,40	96%
V2H+batteria	91,23	97%

Tabella 51 Autoconsumo - scenario 4 - 3kW

Se si utilizza l'impianto fotovoltaico da 4kW invece:

<b>Scenario 1 Dipendente 1</b>	Immissione in rete (kWh)	Autoconsumo (%)
No auto elettrica	2.484,96	48%
Dumb Charging	2.484,60	48%
V2H	1.686,74	65%
V2H+batteria	261,42	95%

Tabella 52 Autoconsumo - scenario 1 - 4kW

<b>Scenario 2 Dipendente 2</b>	Immissione in rete (kWh)	Autoconsumo (%)
No auto elettrica	2.484,96	48%
Dumb Charging	2.079,98	57%
V2H	1.281,61	73%
V2H+batteria	163,31	97%

Tabella 53 Autoconsumo - scenario 2 - 4kW

<b>Scenario 3 Turnista</b>	Immissione in rete (kWh)	Autoconsumo (%)
No auto elettrica	2.484,96	48%
Dumb Charging	2.181,76	55%
V2H	935,54	81%
V2H+batteria	140,21	97%

Tabella 54 Autoconsumo - scenario 3 - 4kW

<b>Scenario 4 Seconda auto</b>	Immissione in rete (kWh)	Autoconsumo (%)
No auto elettrica	2.484,96	48%
Dumb Charging	2.482,98	48%
V2H	381,42	92%
V2H+batteria	230,81	95%

Tabella 55 Autoconsumo - scenario 4 - 4kW

Si nota un miglioramento generale dell'autoconsumo. Se l'impianto fotovoltaico è da 3kW l'autoconsumo è pari al 60% nel caso base (no auto elettrica). Utilizzando il V2H l'autoconsumo aumenta in ogni scenario passando dal 74% dello scenario 1 (scenario peggiore) fino al 96% dello scenario 4. Il miglior scenario, dal punto di vista lavorativo, è il numero 3 (Turnista). Utilizzando anche una batteria da casa, in sinergia con il V2H, si ottiene un autoconsumo quasi totale in tutti gli scenari considerati.

Se si considera un impianto fotovoltaico da 4kW l'autoconsumo, nel caso base, è pari al 48%. Utilizzando il V2H l'autoconsumo varia da 65% a 92% in funzione dello scenario; utilizzando anche una batteria per l'accumulo domestico si raggiunge il 95% nella peggiore delle ipotesi. Verificato che l'utilizzo della tecnologia V2H è vantaggioso in termini di autoconsumo si può ora quantificare il risparmio che ne deriva, rispetto all'utilizzo dell'auto elettrica con la ricarica tradizionale.

Con 3kW di fotovoltaico si ottiene:

<b>Scenario 1 Dipendente 1</b>	Immissione in rete (kWh)	Energia prelevata dalla rete (kWh)	Bolletta € (consumi+auto)	Risparmio (€)	Risparmio (%)
Dumb Charging	1.428,80	6.667,50	1.403,83	-	-
V2H	951,02	6.254,22	1.363,05	40,78	3%
V2H+batteria	89,54	5.467,20	1.280,56	123,28	9%

Tabella 56 Risparmio annuale - scenario 1 - 3kW

<b>Scenario 2 Dipendente 2</b>	Immissione in rete (kWh)	Energia prelevata dalla rete (kWh)	Bolletta € (consumi+auto)	Risparmio (€)	Risparmio (%)
Dumb Charging	1.197,22	6.435,97	1.377,38	-	-
V2H	717,44	6.068,22	1.346,56	30,82	2%
V2H+batteria	85,22	5.480,17	1.283,77	93,61	7%

Tabella 57 Risparmio annuale - scenario 2 - 3kW

<b>Scenario 3 Turnista</b>	Immissione in rete (kWh)	Energia prelevata dalla rete (kWh)	Bolletta € (consumi+auto)	Risparmio (€)	Risparmio (%)
Dumb Charging	1.242,44	6.480,90	1.382,48	-	-
V2H	531,34	5.861,56	1.320,88	61,60	4%
V2H+batteria	55,33	5.433,19	1.276,69	105,79	8%

Tabella 58 Risparmio annuale - scenario 3 - 3kW

<b>Scenario 4 Seconda auto</b>	Immissione in rete (kWh)	Energia prelevata dalla rete (kWh)	Bolletta € (consumi+auto)	Risparmio (€)	Risparmio (%)
Dumb Charging	1.428,08	4.154,83	865,49	-	-
V2H	132,40	3.048,55	758,01	107,48	12%
V2H+batteria	91,23	3.002,62	752,28	113,21	13%

Tabella 59 Risparmio annuale - scenario 4 - 3kW

Utilizzando un impianto fotovoltaico da 4kW invece:

<b>Scenario 1 Dipendente 1</b>	Immissione in rete (kWh)	Energia prelevata dalla rete (kWh)	Bolletta € (consumi+auto)	Risparmio (€)	Risparmio (%)
Dumb Charging	2.484,60	6.522,79	1.267,25	-	-
V2H	1.686,74	5.792,06	1.190,45	76,79	6%
V2H+batteria	261,42	4.487,12	1.053,36	213,89	17%

Tabella 60 Risparmio annuale - scenario 1 - 4kW

<b>Scenario 2 Dipendente 2</b>	Immissione in rete (kWh)	Energia prelevata dalla rete (kWh)	Bolletta € (consumi+auto)	Risparmio (€)	Risparmio (%)
Dumb Charging	2.079,98	6.118,20	1.221,01	-	-
V2H	1.281,61	5.435,06	1.154,47	66,55	5%
V2H+batteria	163,31	4383,44	1.040,96	180,06	15%

Tabella 61 Risparmio annuale - scenario 2 - 4kW

<b>Scenario 3 Turnista</b>	Immissione in rete (kWh)	Energia prelevata dalla rete (kWh)	Bolletta € (consumi+auto)	Risparmio (€)	Risparmio (%)
Dumb Charging	2.181,76	6.219,68	1.232,58	-	-
V2H	935,54	5.071,93	1.111,26	121,32	10%
V2H+batteria	140,21	4.342,42	1.034,47	198,11	16%

Tabella 62 Risparmio annuale - scenario 3 - 4kW

<b>Scenario 4 Seconda auto</b>	Immissione in rete (kWh)	Energia prelevata dalla rete (kWh)	Bolletta € (consumi+auto)	Risparmio (€)	Risparmio (%)
Dumb Charging	2.482,98	4.009,19	728,79	-	-
V2H	381,42	2.108,01	531,56	197,23	27%
V2H+batteria	230,81	1.955,10	513,86	214,93	29%

Tabella 63 Risparmio annuale - scenario 4 - 4kW

Il risparmio annuale relativo all'utilizzo del veicolo in configurazione V2H varia tra i 30€ (scenario 2 – 3kW) fino ai 197€ (scenario 4 – 4kW). Anche in questo caso lo scenario migliore, tra quelli lavorativi, è il numero 3, il lavoratore turnista, quello che sfrutta al meglio l'energia prodotta dal fotovoltaico per la ricarica dell'auto; con un pannello da 4kW installato e l'utilizzo dell'auto in V2H, infatti, il turnista arriva a risparmiare circa 120€ all'anno.

Il V2H non consente di ottenere un risparmio consistente perché il contributo finanziario riconosciuto dal GSE per l'energia elettrica immessa in rete (dai dati si può notare che se non si effettua V2H viene immessa molta più energia elettrica in rete) non è trascurabile. In futuro il contributo potrebbe diminuire e rendere il V2H più conveniente.

Utilizzando anche la batteria domestica il risparmio varia da circa 93€ fino a circa 215€. Le batterie per l'accumulo domestico hanno, però, dei costi proibitivi (circa 6000€ per Tesla Powerwall da 13 kWh).

Le bollette e, di conseguenza, i risparmi calcolati nelle pagine precedenti sono stati ricavati utilizzando la tariffa monoraria; può essere interessante effettuare un confronto con la bolletta calcolata utilizzando la tariffa bioraria.

	<b>Monoraria (€)</b>	<b>Bioraria (€)</b>	<b>Differenza (€)</b>
<b>scenario 1</b>	V2H+batt 1.280,56	1.266,69	13,86
	V2H 1.363,05	1.348,29	14,76
	Dumb Ch. 1.403,83	1.387,42	16,41
<b>scenario 2</b>	1.283,77	1.286,52	-2,75
	1.346,56	1.350,33	-3,77
	1.377,38	1.378,31	-0,93
<b>scenario 3</b>	1.276,69	1.276,62	0,08
	1.320,88	1.320,51	0,37
	1.382,48	1.380,89	1,59
<b>scenario 4</b>	752,28	739,88	12,40
	758,01	745,28	12,73
	865,49	852,71	12,78

Tabella 64 Confronto tra bolletta calcolata con tariffa bioraria e monoraria (FV da 3kW)

Come si può vedere la differenza è minima. Il sistema di controllo della ricarica è stato studiato soltanto per sfruttare al meglio la produzione del pannello fotovoltaico; se nell'algoritmo di controllo si implementasse la possibilità di ricaricare l'auto quando è più conveniente (nelle ore notturne ad esempio) si potrebbe ottenere un vantaggio utilizzando la tariffa bioraria.

Siccome la differenza è minima i prossimi calcoli saranno effettuati utilizzando soltanto la tariffa monoraria.

Come visto in precedenza, il risparmio economico relativo all'utilizzo dell'auto elettrica in configurazione V2H è ridotto. Se si confronta però il costo totale, relativo all'auto elettrica, con il costo (consumi elettrici domestici + mobilità) che si sostiene utilizzando un'auto convenzionale si nota un vantaggio cospicuo. Le tabelle seguenti sono ottenute utilizzando la tariffa monoraria, il fotovoltaico da 3kW e facendo variare il combustibile utilizzato per l'auto convenzionale (N.B. si considera che le auto a GPL e metano funzionino costantemente a GPL o metano, senza mai consumare la benzina contenuta nel serbatoio tradizionale).

Auto a benzina:

Scenario	Tecnologia EV	Costo totale con auto conv (€)	Risparmio (€)	Risparmio (%)
Scenario 1	Dumb Charging	2.995,59	1.591,75	53%
	V2H		1.632,53	54%
	V2H+batt		1.715,03	57%
Scenario 2	Dumb Charging	2.995,59	1.618,21	54%
	V2H		1.649,03	55%
	V2H+batt		1.711,81	57%
Scenario 3	Dumb Charging	2.995,59	1.613,10	54%
	V2H		1.674,70	56%
	V2H+batt		1.718,89	57%
Scenario 4	Dumb Charging	1.463,44	597,95	41%
	V2H		705,44	48%
	V2H+batt		711,16	49%

Tabella 65 Confronto costi tra auto a benzina e auto elettrica

Auto diesel:

Scenario	Tecnologia EV	Costo totale con auto conv (€)	Risparmio (€)	Risparmio (%)
Scenario 1	Dumb Charging	2.494,16	1.090,32	44%
	V2H		1.131,10	45%
	V2H+batt		1.213,60	49%
Scenario 2	Dumb Charging	2.494,16	1.116,78	45%
	V2H		1.147,60	46%
	V2H+batt		1.210,39	49%
Scenario 3	Dumb Charging	2.494,16	1.111,67	45%
	V2H		1.173,27	47%
	V2H+batt		1.217,46	49%
Scenario 4	Dumb Charging	1.275,41	409,92	32%
	V2H		517,40	41%
	V2H+batt		523,13	41%

Tabella 66 Confronto costi tra auto diesel e auto elettrica

Auto GPL:

Scenario	Tecnologia EV	Costo totale con auto conv (€)	Risparmio (€)	Risparmio (%)
Scenario 1	Dumb Charging	1.539,59	135,75	9%
	V2H		176,53	11%
	V2H+batt		259,03	17%
Scenario 2	Dumb Charging	1.539,59	162,21	11%
	V2H		193,03	13%
	V2H+batt		255,81	17%
Scenario 3	Dumb Charging	1.539,59	157,10	10%
	V2H		218,70	14%
	V2H+batt		262,89	17%
Scenario 4	Dumb Charging	917,44	51,95	6%
	V2H		159,44	17%
	V2H+batt		165,16	18%

Tabella 67 Confronto costi tra auto GPL e auto elettrica

Auto a metano:

Scenario	Tecnologia EV	Costo totale con auto conv (€)	Risparmio (€)	Risparmio (%)
Scenario 1	Dumb Charging	1504,92	101,09	7%
	V2H		141,87	9%
	V2H+batt		224,36	15%
Scenario 2	Dumb Charging	1504,92	127,54	8%
	V2H		158,36	11%
	V2H+batt		221,15	15%
Scenario 3	Dumb Charging	1504,92	122,24	11%
	V2H		184,04	12%
	V2H+batt		228,23	15%
Scenario 4	Dumb Charging	904,44	38,95	4%
	V2H		146,44	16%
	V2H+batt		152,16	17%

Tabella 68 Confronto costi tra auto metano e auto elettrica

In generale l'auto elettrica è vantaggiosa, in termini economici, rispetto alla auto tradizionali; soprattutto sostituendo un'auto benzina o diesel datata con un veicolo elettrico ci si garantirebbe un risparmio annuale superiore ai 1000€, che potrebbe essere reinvestito nella realizzazione di un sistema V2H per sfruttare al meglio l'impianto fotovoltaico presente.

Dato che nel progetto di installazione di colonnine è previsto che i supermercati, e altre attività commerciali, concedano la possibilità di effettuare ricariche gratuite ai propri clienti si è pensato di valutarne l'effettivo vantaggio per il proprietario di un'auto elettrica.

Sono stati supposti 3 scenari:

- Scenario A: nessuna ricarica gratuita (come in tutti i risultati ottenuti in precedenza)
- Scenario B: ricarica gratuita nel 50% delle domeniche (a domeniche alterne).
- Scenario C: ricarica gratuita ogni domenica.

Si suppone, ai fini della simulazione, che il giorno in cui avviene la ricarica gratuita il veicolo torni a casa con la batteria completamente carica (al 95% della capacità nominale).

Lo scopo di questa analisi è valutare il risparmio del V2H rispetto alla ricarica tradizionale, in funzione delle ricariche esterne gratuite. Dai 3 scenari si ottengono 3 valori di risparmio; tali valori costituiscono i punti di un grafico. Utilizzando una funzione che approssimi tali punti è possibile ricavare il risparmio in funzione del numero di ricariche esterne gratuite.

Utilizzando un impianto fotovoltaico da 3kW si ottiene:

Risparmio (€)	Scenario A	Scenario B	Scenario C
Dipendente 1	€ 40,78	€ 126,01	€ 214,19
Dipendente 2	€ 30,82	€ 117,54	€ 206,36
Turnista	€ 61,60	€ 152,82	€ 246,34
Seconda auto	€ 107,48	€ 171,73	€ 234,06

Tabella 69 Risparmio annuale V2H in funzione degli scenari di ricarica gratuita – 3kW

I risparmi, visualizzati in tabella, sono calcolati rispetto alla bolletta che deriva dall'utilizzo dell'auto elettrica in dumb charging. Anche per l'auto che si ricarica in modo tradizionale sono state supposte le stesse ricariche gratuite, nello stesso momento dell'anno. Utilizzando la tecnologia V2H il risparmio aumenta all'aumentare delle ricariche gratuite. Questo accade perché la batteria dell'auto non è mai completamente carica quando ci si disconnette dalla colonnina, quindi la ricarica al supermercato, oltre a permettere un viaggio gratuito (come accade nella configurazione dumb charging) fornisce energia al sistema veicolo-nanogrid che può essere utilizzata per coprire i consumi casalinghi.

Dunque l'abilitazione dell'auto elettrica allo scambio bidirezionale di energia con l'abitazione sarà più vantaggioso in futuro, quando saranno disponibili colonnine di ricarica più diffuse nel territorio italiano.

Andando ad inserire i risultati della tabella precedente in alcuni grafici si ottiene:

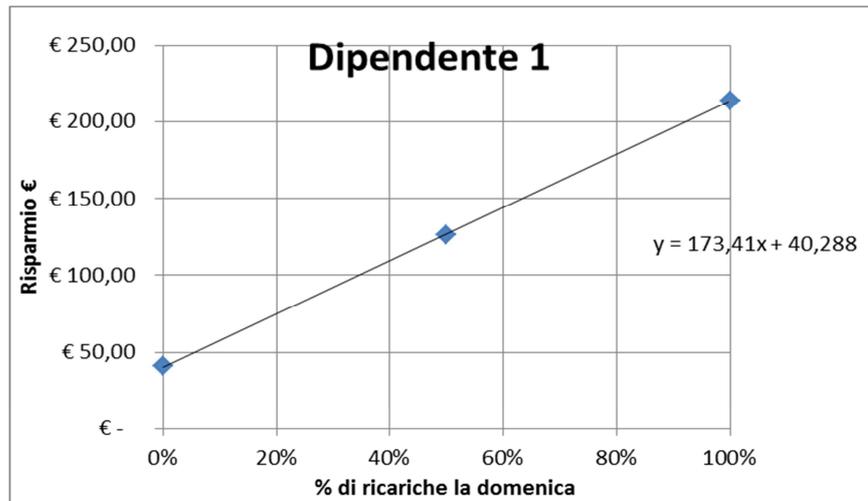


Figura 58 Risparmio annuale V2H in funzione delle ricariche domenicali gratuite - Dipendente 1 - 3kW

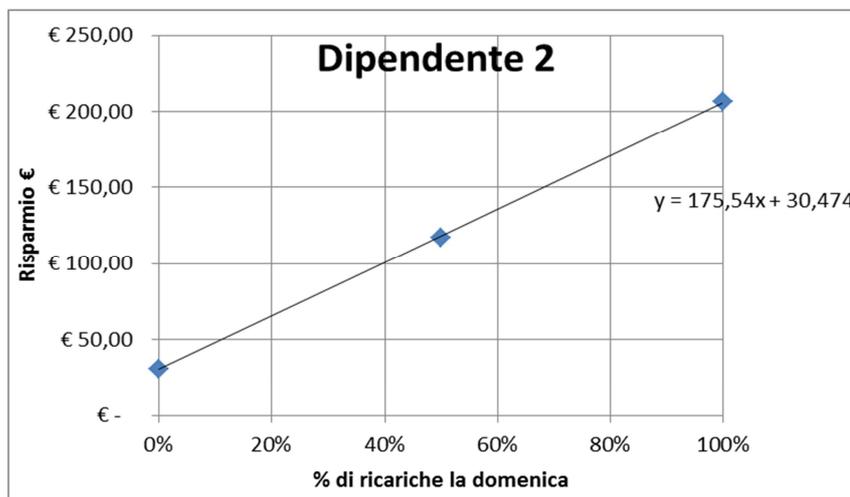


Figura 59 Risparmio annuale V2H in funzione delle ricariche domenicali gratuite - Dipendente 2 - 3kW

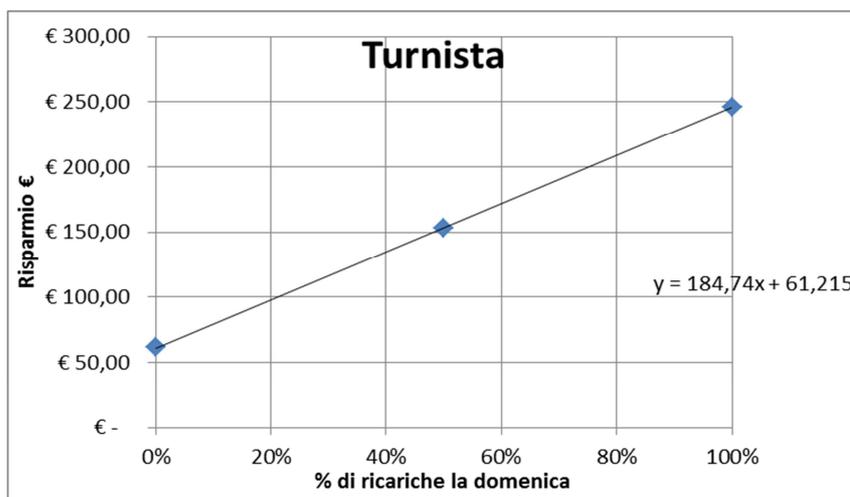


Figura 60 Risparmio annuale V2H in funzione delle ricariche domenicali gratuite - Turnista - 3kW

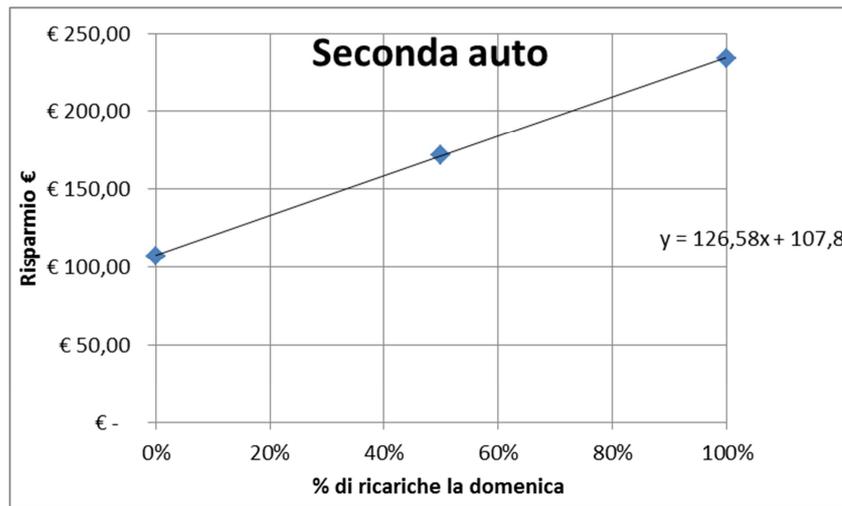


Figura 61 Risparmio annuale V2H in funzione delle ricariche domenicali gratuite – Seconda auto - 3kW

Dai grafici si può notare come i punti possano essere ben approssimati da una funzione lineare; la retta che meglio approssima i punti, per ogni scenario, è indicata sul grafico, in questo modo, ipotizzando una percentuale di ricariche domenicali gratuite, è possibile ricavare il risparmio in ogni situazione.

Il risparmio in funzione delle ricariche gratuite è stato ricavato anche quando si dispone di un impianto fotovoltaico da 4kW ed è riassunto nella tabella seguente.

Risparmio (€)	Scenario A	Scenario B	Scenario C
Dipendente 1	€ 76,79	€ 150,01	€ 226,65
Dipendente 2	€ 66,55	€ 141,74	€ 216,45
Turnista	€ 121,32	€ 202,97	€ 285,93
Seconda auto	€ 197,23	€ 244,62	€ 292,36

Tabella 70 Risparmio annuale V2H in funzione degli scenari di ricarica gratuita – 3kW

I grafici non sono stati riportati, ma sono semplici da ricavare e, anche in questo caso, sono ben approssimati da una linea retta.

## 5.6 Analisi di sensibilità

È stata svolta un'analisi di sensibilità al fine di determinare autoconsumo e risparmio al variare della capacità della batteria dell'auto e della capacità della batteria domestica.

### Scenario 1 – 3kW

		Capacità batteria domestica (kWh)						
Autoconsumo (%)		0	2	5	7	10	15	20
Capacità batteria auto (kWh)	25	73%	82%	96%	97%	97%	97%	98%
	30	73%	82%	96%	97%	97%	98%	98%
	35	74%	83%	96%	97%	97%	98%	98%
	40	74%	83%	96%	97%	98%	98%	98%
	45	74%	83%	96%	97%	98%	98%	98%
	50	74%	83%	96%	98%	98%	98%	98%
	60	74%	83%	96%	98%	98%	98%	98%
	70	74%	83%	97%	98%	98%	99%	99%
	80	75%	84%	97%	98%	98%	99%	99%
	90	75%	84%	97%	99%	99%	99%	99%

Tabella 71 Autoconsumo in funzione della capacità delle batterie - scenario 1 - 3kW

		Capacità batteria domestica (kWh)						
Risparmio (€)		0	2	5	7	10	15	20
capacità batteria auto (kWh)	25	36,86	66,80	111,27	117,81	119,35	120,87	122,69
	30	37,72	68,42	113,41	118,80	120,90	122,83	124,18
	35	39,83	70,12	114,33	120,54	121,83	123,78	125,57
	40	40,78	71,05	115,57	121,52	123,28	125,22	126,86
	45	41,63	72,29	117,28	123,03	124,61	126,98	128,63
	50	43,12	74,04	118,59	124,64	125,83	128,17	129,68
	60	45,56	76,15	121,48	127,21	128,40	131,08	132,32
	70	48,52	78,90	124,12	129,32	131,32	133,69	135,25
	80	50,96	81,53	125,98	132,26	133,95	136,05	137,75
	90	53,83	83,68	129,04	135,23	136,90	138,74	140,47

Tabella 72 Risparmio in funzione della capacità delle batterie - scenario 1 - 3kW

Dall'analisi si riscontra una maggior sensibilità del modello al variare della capacità della batteria domestica, almeno fino a 7-10kWh. Al variare della capacità di accumulo della batteria dell'auto si ha, invece, una variazione minore di autoconsumo e risparmio.

## Scenario 2 – 3kW

		Capacità batteria domestica (kWh)						
capacità batteria auto (kWh)	Autoconsumo (%)	0	2	5	7	10	15	20
	25	80%	88%	97%	97%	97%	97%	98%
	30	80%	88%	97%	97%	97%	98%	98%
	35	80%	88%	97%	97%	98%	98%	98%
	40	80%	89%	97%	98%	98%	98%	98%
	45	80%	89%	98%	98%	98%	98%	98%
	50	80%	89%	98%	98%	98%	98%	98%
	60	80%	89%	98%	98%	98%	98%	98%
	70	81%	89%	98%	98%	98%	98%	99%
	80	81%	89%	98%	98%	99%	99%	99%
	90	81%	90%	99%	99%	99%	99%	99%

Tabella 73 Autoconsumo in funzione della capacità delle batterie - scenario 2 - 3kW

		Capacità batteria domestica (kWh)						
capacità batteria auto (kWh)	Risparmio (€)	0	2	5	7	10	15	20
	25	26,91	55,75	87,45	88,42	89,74	91,46	93,79
	30	28,59	57,12	89,47	89,96	91,40	93,16	94,64
	35	29,54	58,23	90,17	91,49	92,64	93,79	95,85
	40	30,82	60,11	91,75	92,80	93,61	95,66	97,18
	45	32,52	60,97	93,07	94,27	95,11	96,97	98,67
	50	33,46	62,26	94,50	95,40	96,34	98,18	99,87
	60	36,45	65,20	97,11	98,58	98,94	101,01	102,94
	70	39,41	67,64	99,89	101,01	101,94	103,77	105,60
	80	41,62	69,84	103,00	103,61	104,29	106,48	108,03
	90	44,19	73,13	105,18	106,16	107,47	108,48	110,64

Tabella 74 Risparmio in funzione della capacità delle batterie - scenario 2 - 3kW

Anche in questo caso valgono le considerazioni fatte in precedenza; utilizzando una batteria domestica con capacità di accumulo superiore a 5kW autoconsumo e risparmio rimangono circa costanti.

## Scenario 3 – 3kW

		Capacità batteria domestica (kWh)						
capacità batteria auto (kWh)	Autoconsumo (%)	0	2	5	7	10	15	20
	25	85%	91%	97%	98%	98%	98%	98%
	30	86%	91%	98%	98%	98%	98%	98%
	35	86%	92%	98%	98%	98%	98%	99%
	40	86%	92%	98%	98%	98%	99%	99%
	45	86%	92%	98%	98%	99%	99%	99%
	50	86%	92%	98%	99%	99%	99%	99%
	60	87%	92%	98%	99%	99%	99%	99%
	70	87%	93%	99%	99%	99%	99%	99%
	80	87%	93%	99%	99%	99%	100%	100%
	90	87%	93%	99%	100%	100%	100%	100%

Tabella 75 Autoconsumo in funzione della capacità delle batterie - scenario 3 - 3kW

		Capacità batteria domestica (kWh)						
capacità batteria auto (kWh)	Risparmio (€)	0	2	5	7	10	15	20
	25	52,21	72,36	98,27	99,44	100,28	102,91	103,87
	30	55,25	74,41	99,56	100,99	102,00	103,91	105,75
	35	56,89	76,88	101,06	102,35	104,01	105,85	107,81
	40	58,19	78,45	102,34	104,55	105,79	107,61	108,78
	45	60,23	79,96	103,68	105,51	106,86	108,62	110,88
	50	61,16	81,12	104,77	107,35	108,04	110,26	112,38
	60	64,12	83,96	108,09	109,46	111,24	112,98	114,68
	70	66,44	86,45	111,04	112,44	114,20	115,43	117,30
	80	69,00	89,49	113,10	115,29	116,49	118,32	120,14
90	71,98	91,31	116,00	117,90	118,98	121,18	123,09	

Tabella 76 Risparmio in funzione della capacità delle batterie - scenario 3 - 3kW

Così come per lo scenario 2 conviene installare una batteria domestica con capacità di accumulo massima pari a 5kWh. È interessante notare come, in questo scenario, per la prima volta, venga raggiunto un autoconsumo totale (100% con batteria domestica da 7kWh e batteria dell'auto da 90kWh).

#### Scenario 4 – 3kW

		Capacità batteria domestica (kWh)						
capacità batteria auto (kWh)	Autoconsumo (%)	0	2	5	7	10	15	20
	25	81%	82%	96%	96%	97%	97%	97%
	30	95%	96%	97%	97%	97%	97%	98%
	35	96%	97%	97%	97%	97%	98%	98%
	40	96%	97%	97%	97%	97%	98%	98%
	45	96%	97%	97%	97%	98%	98%	98%
	50	97%	97%	98%	98%	98%	98%	98%
	60	97%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
	70	97%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
	80	97%	98%	98%	98%	98%	99%	99%
90	98%	98%	99%	98%	99%	99%	99%	

Tabella 77 Autoconsumo in funzione della capacità delle batterie - scenario 4 - 3kW

		Capacità batteria domestica (kWh)						
capacità batteria auto (kWh)	Risparmio (€)	0	2	5	7	10	15	20
	25	43,81	48,58	102,66	104,68	106,99	109,25	111,61
	30	102,13	104,50	107,41	108,67	110,49	112,70	114,01
	35	105,47	108,12	109,73	111,01	111,82	114,05	115,67
	40	107,48	109,80	111,66	112,53	113,21	114,89	116,77
	45	108,97	111,82	112,86	113,96	114,73	116,91	118,61
	50	110,38	113,18	114,60	114,85	116,71	118,27	119,86
	60	113,36	115,72	117,27	117,69	118,84	120,84	122,54
	70	116,28	118,61	119,69	120,72	121,28	123,63	125,14
	80	118,23	120,95	122,74	122,89	124,25	125,96	127,62
90	121,21	123,94	124,96	125,67	126,57	128,03	130,37	

Tabella 78 Risparmio in funzione della capacità delle batterie - scenario 4 - 3kW

In questo scenario si nota una differenza; il modello è più sensibile alle variazioni di capacità di batteria dell'auto (soprattutto alla variazione tra 25 e 30 kWh). Inoltre, se la batteria dell'auto supera i 30-35 kWh il contributo della batteria domestica risulta trascurabile.

### Scenario 1 – 4kW

		Capacità batteria domestica (kWh)						
capacità batteria auto (kWh)	Autoconsumo (%)	0	2	5	7	10	15	20
	25	64%	72%	87%	93%	94%	95%	95%
	30	65%	73%	88%	93%	94%	95%	96%
	35	65%	73%	88%	93%	94%	95%	96%
	40	65%	73%	88%	93%	95%	95%	96%
	45	65%	73%	88%	93%	95%	96%	96%
	50	65%	73%	88%	94%	95%	96%	96%
	60	65%	73%	88%	94%	95%	96%	96%
	70	65%	73%	88%	94%	95%	96%	96%
	80	66%	74%	89%	94%	95%	96%	96%
	90	66%	74%	89%	94%	95%	96%	97%

Tabella 79 Autoconsumo in funzione della capacità delle batterie - scenario 1 - 4kW

		Capacità batteria domestica (kWh)						
capacità batteria auto (kWh)	Risparmio (€)	0	2	5	7	10	15	20
	25	71,74	107,18	178,75	206,45	213,56	218,67	220,56
	30	73,84	109,18	177,18	205,02	210,92	217,30	220,05
	35	75,28	110,50	177,96	205,93	212,52	218,71	220,89
	40	76,79	111,30	179,37	207,55	213,89	219,74	222,85
	45	77,78	113,10	180,61	208,94	215,43	221,22	223,83
	50	79,10	114,42	181,81	209,99	217,00	223,27	224,81
	60	82,14	117,02	184,94	212,95	219,35	225,62	227,79
	70	83,99	119,32	187,51	215,38	221,87	228,17	230,69
	80	86,94	122,09	189,68	217,69	224,84	231,11	233,69
	90	89,88	124,61	192,93	220,66	227,73	233,98	236,12

Tabella 80 Risparmio in funzione della capacità delle batterie - scenario 1 - 4kW

### Scenario 2 – 4kW

		Capacità batteria domestica (kWh)						
capacità batteria auto (kWh)	Autoconsumo (%)	0	2	5	7	10	15	20
	25	73%	81%	93%	96%	96%	96%	97%
	30	73%	81%	94%	96%	96%	97%	97%
	35	73%	81%	94%	96%	97%	97%	97%
	40	73%	81%	94%	96%	97%	97%	97%
	45	73%	81%	94%	96%	97%	97%	97%
	50	73%	81%	94%	96%	97%	97%	97%
	60	74%	82%	94%	96%	97%	97%	97%
	70	74%	82%	94%	97%	97%	97%	98%
	80	74%	82%	94%	97%	97%	98%	98%
	90	74%	82%	95%	97%	97%	98%	98%

Tabella 81 Autoconsumo in funzione della capacità delle batterie - scenario 2 - 4kW

		Capacità batteria domestica (kWh)						
capacità batteria auto (kWh)	Risparmio (€)	0	2	5	7	10	15	20
	25	61,32	97,69	164,26	176,18	178,77	181,51	184,13
	30	64,18	100,18	160,73	174,15	177,11	180,15	182,11
	35	65,23	101,02	162,77	175,34	178,30	181,44	183,77
	40	66,55	102,49	164,25	177,18	180,06	182,46	184,56
	45	68,20	104,10	165,08	178,07	180,89	183,92	186,14
	50	69,15	104,94	166,40	179,26	183,01	185,36	187,64
	60	72,12	108,02	169,08	182,55	184,97	188,59	190,61
	70	75,03	110,97	172,18	184,90	187,89	190,75	192,81
	80	77,33	113,28	174,25	187,37	190,30	193,16	195,67
	90	79,96	115,70	177,07	190,19	193,25	196,24	198,33

Tabella 82 Risparmio in funzione della capacità delle batterie - scenario 2 - 4kW

### Scenario 3 – 4 kW

		Capacità batteria domestica (kWh)						
capacità batteria auto (kWh)	Autoconsumo (%)	0	2	5	7	10	15	20
	25	79%	85%	93%	96%	96%	97%	97%
	30	81%	86%	94%	96%	97%	97%	97%
	35	81%	87%	94%	96%	97%	97%	98%
	40	81%	87%	94%	96%	97%	97%	98%
	45	81%	87%	94%	96%	97%	97%	98%
	50	81%	87%	94%	96%	97%	98%	98%
	60	81%	87%	95%	97%	97%	98%	98%
	70	82%	87%	95%	97%	98%	98%	98%
	80	82%	88%	95%	97%	98%	98%	98%
	90	82%	88%	95%	97%	98%	98%	99%

Tabella 83 Autoconsumo in funzione della capacità delle batterie - scenario 3 - 4kW

		Capacità batteria domestica (kWh)						
capacità batteria auto (kWh)	Risparmio (€)	0	2	5	7	10	15	20
	25	104,82	135,51	191,17	201,66	207,19	210,65	213,69
	30	114,30	141,56	179,69	190,74	196,16	198,36	201,49
	35	116,77	144,29	182,28	193,25	197,26	199,73	203,27
	40	118,02	145,57	183,27	194,13	198,11	201,28	204,57
	45	119,63	146,45	185,15	195,50	199,81	203,35	205,76
	50	120,94	148,56	186,27	196,96	201,01	204,20	206,96
	60	123,60	150,78	188,87	199,24	204,01	206,57	209,77
	70	125,86	153,44	191,33	202,54	206,83	210,20	212,03
	80	128,80	156,36	194,17	205,22	209,46	212,70	214,96
	90	131,79	159,37	196,90	207,63	211,94	215,63	217,90

Tabella 84 Risparmio in funzione della capacità delle batterie - scenario 3 - 4kW

## Scenario 4 – 4kW

		Capacità batteria domestica (kWh)						
capacità batteria auto (kWh)	Autoconsumo (%)	0	2	5	7	10	15	20
	25	67%	68%	86%	89%	91%	91%	92%
	30	87%	87%	92%	92%	93%	94%	94%
	35	91%	92%	93%	94%	94%	95%	95%
	40	92%	93%	94%	95%	95%	95%	96%
	45	93%	94%	95%	95%	96%	96%	96%
	50	94%	95%	96%	96%	96%	96%	97%
	60	95%	96%	96%	96%	96%	97%	97%
	70	95%	96%	97%	97%	97%	97%	97%
	80	96%	96%	97%	97%	97%	97%	98%
90	96%	97%	97%	97%	97%	98%	98%	

Tabella 85 Autoconsumo in funzione della capacità delle batterie - scenario 4 - 4kW

		Capacità batteria domestica (kWh)						
capacità batteria auto (kWh)	Risparmio (€)	0	2	5	7	10	15	20
	25	62,91	70,14	160,75	177,45	185,64	189,20	191,99
	30	166,42	169,94	192,84	196,58	202,19	205,88	207,28
	35	190,50	194,34	200,92	205,66	209,64	211,74	214,55
	40	197,23	202,07	207,14	211,66	214,93	217,25	218,94
	45	203,93	209,80	214,17	215,73	218,36	220,43	222,89
	50	209,06	214,17	217,90	219,86	221,56	224,24	226,87
	60	216,51	220,43	222,61	223,81	225,15	227,43	229,63
	70	220,06	223,98	226,68	227,29	229,15	231,61	233,14
	80	223,41	226,94	230,44	230,89	232,27	234,28	236,72
90	227,00	230,97	233,11	234,17	235,78	237,96	239,94	

Tabella 86 Risparmio in funzione della capacità delle batterie - scenario 4 - 4kW

Per i risultati dell'analisi di sensitività eseguita con il pannello fotovoltaico da 4kW valgono le considerazioni espresse in precedenza.

In generale, si nota che utilizzando il V2H si può ridurre la capacità della batteria di accumulo domestico; così facendo si ottiene una riduzione del costo di acquisto.

## 6. MICROGRID E AUTO ELETTRICHE

---

Per concludere il lavoro è stata svolta una simulazione di comportamento di veicoli elettrici in una microgrid.

La microgrid considerata è composta da un quartiere di 100 famiglie, con le abitazioni interconnesse, che utilizzano l'auto (100 auto) come descritto negli scenari precedenti. In particolare:

- 20% utilizzano l'auto come il Dipendente 1.
- 40% come il Dipendente 2.
- 10% sono turnisti.
- Il restante 30% utilizza l'auto soltanto nel fine settimana.

Sono state ipotizzate 6 configurazioni di rete, caratterizzate da un numero via via crescente di veicoli elettrici circolanti e di impianti fotovoltaici presenti; in questo modo è stato possibile calcolare l'autoconsumo totale della rete, il risparmio in termini economici, il risparmio in termini di combustibile e la diminuzione di anidride carbonica immessa in rete.

Le 6 configurazioni sono ipotizzate come segue:

- Rete 0: le 100 famiglie non utilizzano auto elettriche e non sono presenti impianti fotovoltaici.
- Rete 1: in questa configurazione si suppone che il 20% delle famiglie abbia installato un impianto fotovoltaico da 3kWp.
- Rete 2: il 10% delle famiglie che ha installato un impianto fotovoltaico compra un'auto elettrica.
- Rete 3: il 20% di famiglie ha un impianto fotovoltaico e l'auto elettrica.
- Rete 4: 30% di famiglie con auto elettrica e impianto fotovoltaico.
- Rete 5: 40% di famiglie con auto elettrica e impianto fotovoltaico.

Si parte quindi da 2 configurazioni realistiche (rete 0 e rete 1) per arrivare ad analizzare alcuni possibili scenari futuri.

Le formule utilizzate per il calcolo dell'autoconsumo e dei costi sono analoghe a quelle utilizzate nel capitolo 5. Per quanto riguarda, invece, il calcolo delle emissioni di CO<sub>2</sub> è sufficiente stimare i litri di carburante utilizzati dalle auto convenzionali e moltiplicare per i

kg di CO<sub>2</sub> emessi al litro; al totale va poi sommata la CO<sub>2</sub> generata nella produzione di energia elettrica (per i veicoli elettrici).

Ai fini della simulazione sono state utilizzate alcune ipotesi:

- Tutte le auto con motore a combustione interna sono alimentate a gasolio (con consumi medi e costo del carburante uguali a quelli ipotizzati nel capitolo precedente).
- Gli impianti fotovoltaici presenti hanno potenza di picco pari a 3kW.
- I consumi elettrici di ogni famiglia sono uguali e pari a quelli riportati precedentemente.
- Si ipotizza un utilizzo tradizionale dell'auto elettrica (dumb charging).
- L'intervallo di tempo della simulazione è pari ad un'ora, come in precedenza.

Per calcolare le emissioni di CO<sub>2</sub> è stata utilizzata la formula seguente:

$$E_{CO_2} = e_{CO_2_{km}} \cdot d_{veicolo_{diesel}} + (e_{EV_{km}} \cdot d_{EV})$$

Dove:

- $E_{CO_2}$ : emissione di anidride carbonica (kg).
- $e_{EV_{km}}$ : emissioni di CO<sub>2</sub> per produrre l'elettricità necessaria all'auto elettrica per percorrere un chilometro (kg/km)
- $e_{CO_2_{km}}$ : emissioni di CO<sub>2</sub> al chilometro dell'auto diesel (kg/km).
- $d_{veicolo_{diesel}}$ : distanza percorsa dai veicoli con motore a combustione interna (km).
- $d_{EV}$ : distanza percorsa dai veicoli elettrici (km).

Le emissioni di anidride carbonica al chilometro sono calcolate in questo modo:

$$e_{CO_2_{km}} = \frac{m_{CO_2_{diesel}}}{c_{auto_{diesel}}}$$

Dove:

- $m_{CO_2_{diesel}}$ : rappresenta la massa di anidride carbonica rilasciata per ogni litro di gasolio bruciato. Dai calcoli stechiometrici risulta pari a 2,65 kg/l.
- $c_{auto_{diesel}}$ : è il consumo medio di un auto diesel (ipotizzato pari a 16 km/l).

Quindi risulta:

$$e_{CO2_{km}} = 0,166 \text{ kg}_{CO2}/km$$

Per ricavare le emissioni relative ai veicoli elettrici ci si riconduce ai dati ISPRA relativi alle emissioni medie di anidride carbonica del mix di produzione energetica nazionale; le emissioni medie nazionali moltiplicate per il consumo medio di un'auto elettrica rappresentano le emissioni relative all'EV.

$$e_{EV_{km}} = e_{medie\_nazionali} \cdot c_{auto\_el}$$

Dai dati ISPRA, relativi al 2017, risulta:  $e_{medie\_nazionali}=325,2 \text{ g}_{CO2}/kWh$ .

Quindi per valutare le emissioni totali del quartiere si è ricavato:

$$e_{EV_{km}} = 0,059 \text{ kg}_{CO2}/km$$

All'interno della rete ipotizzata, almeno in alcune configurazioni, la componente rinnovabile è maggiore della media nazionale;  $e_{EV_{km}}$  in questi casi sarebbe minore, ma è stato mantenuto costante per semplicità.

Per il calcolo dell'autoconsumo e del risparmio economico sono state utilizzate due configurazioni di rete differenti, in modo da poter effettuare un confronto efficace: una configurazione di rete standard (in cui ogni abitazione è connessa esclusivamente alla rete elettrica nazionale) e una configurazione a microgrid.

Sfruttando i calcoli effettuati in precedenza sulla singola abitazione, sono stati creati dei vettori che rappresentano l'energia richiesta da ogni singola abitazione in ogni intervallo di tempo considerato (con segno negativo) e dell'energia reimpressa in rete (con segno positivo). Così facendo è stata creata una matrice composta da 8760 righe e 100 colonne. In questo modo, sommando riga per riga, si ottengono i flussi di energia richiesti dalla microgrid (in pratica, la sovrapproduzione di un'abitazione viene utilizzata per coprire il deficit delle altre); sommando, riga per riga, separatamente i valori positivi e i valori negativi si ottengono i flussi di energia per la configurazione standard.

Utilizzando la configurazione a microgrid si sfrutterà, dunque, molto meglio la produzione di energia elettrica degli impianti fotovoltaici.

## 6.1 Risultati

Per quanto riguarda la riduzione delle emissioni di anidride carbonica si è ottenuto:

	<b>D<sub>Veicolo_diesel</sub> (km)</b>	<b>E<sub>CO2</sub>(kg)</b>	<b>riduzione E<sub>CO2</sub> (kg)</b>
<b>rete 0</b>	1.690.000,00	279.906,25	-
<b>rete 2</b>	1.521.000,00	261.808,21	18.098,04
<b>rete 3</b>	1.352.000,00	243.710,17	36.196,08
<b>rete 4</b>	1.183.000,00	225.612,13	54.294,12
<b>rete 5</b>	1.014.000,00	207.514,09	72.392,16

Tabella 87 Riduzione delle emissioni di anidride carbonica

Non si è considerata la configurazione “rete 1” poiché in quel caso non circolano auto elettriche: le emissioni di CO<sub>2</sub> sarebbero state uguali al caso “rete 0”.

Le emissioni di anidride carbonica si riducono di circa 18 tonnellate all’anno se, all’interno del quartiere considerato, circolano 10 auto elettriche e si riducono di 72 tonnellate se il numero di veicoli a batteria sale a 40.

Per quanto riguarda i vantaggi connessi all’utilizzo della microgrid si è calcolato:

	<b>Produzione totale FV (kWh)</b>	<b>Rete tradizionale</b>		<b>Microgrid</b>	
		<b>Immissione in rete (kWh)</b>	<b>Autoconsumo (%)</b>	<b>Immissione in rete (kWh)</b>	<b>Autoconsumo (%)</b>
<b>rete 0</b>	0,00	0,00	-	0,00	-
<b>rete 1</b>	72.031,97	28.576,06	60%	536,57	99%
<b>rete 2</b>	72.031,97	27.493,26	62%	536,57	99%
<b>rete 3</b>	72.031,97	26.410,46	63%	536,57	99%
<b>rete 4</b>	108.047,96	39.615,68	63%	2.040,24	98%
<b>rete 5</b>	144.063,94	52.820,91	63%	4.836,94	97%

Tabella 88 Autoconsumo con e senza microgrid

Come si può notare dalla tabella 88, utilizzando una configurazione di rete a microgrid solo una minima parte dell’energia prodotta dagli impianti fotovoltaici viene reimpressa in rete. Si raggiunge un autoconsumo quasi totale: tra 97% e 99%, contro il circa 60% della rete tradizionale.

Si può notare come l'immissione in rete, con microgrid, per le reti 1,2 e 3 sia uguale; ciò è dovuto ad una generazione di energia uguale nei 3 casi (20% di abitazioni con pannello fotovoltaico) e al periodo di ferie ad agosto in cui le auto non necessitano di ricarica.

Ovviamente, se non si garantisce una capacità di accumulo adeguata all'interno della microgrid i vantaggi diminuiscono all'aumentare della potenza FV installata.

Infine, sono stati calcolati i risparmi in termini economici per l'intera rete, sia dovuti al risparmio di combustibile, sia dovuti all'utilizzo della microgrid.

In primo luogo si vuole quantificare il risparmio economico garantito dalla microgrid:

	Rete tradizionale		Microgrid		Risparmio (€)	Risparmio (%)
	Prelievo da rete (kWh)	Costo totale elettricità (consumi casalinghi + EV)	Prelievo da rete (kWh)	Costo totale elettricità (consumi casalinghi + EV)		
<b>rete 1</b>	439.381,09	89.327,22	411.341,60	86.248,52	3.078,70	3%
<b>rete 2</b>	470.881,78	96.044,67	443.925,10	93.084,87	2.959,80	3%
<b>rete 3</b>	502.382,47	102.762,11	476.508,59	99.921,22	2.840,89	3%
<b>rete 4</b>	512.155,21	103.491,93	474.579,76	99.366,22	4.125,71	4%
<b>rete 5</b>	521.927,95	104.221,74	473.943,98	98.953,18	5.268,56	5%

Tabella 89 Confronto costi elettrici tra rete tradizionale e microgrid

L'energia totale consumata dall'intero quartiere diminuisce se si utilizza una configurazione a microgrid; come conseguenza diminuiscono anche le spese in materia di energia.

Il risultato degno di nota in questa valutazione è che, a parità di condizioni al contorno, utilizzando una microgrid diminuiscono sia i prelievi di energia dalla rete, sia le immissioni; questo risultato è importante perché facilita la gestione dei flussi energetici a livello nazionale e diminuisce l'impatto sulla rete della mobilità elettrica.

Infine si può valutare il risparmio economico garantito dalla transizione verso la mobilità elettrica. Come già dimostrato per la singola abitazione l'utilizzo dell'auto elettrica in sostituzione di un veicolo tradizionale è vantaggioso; ora il calcolo verrà esteso alla rete considerata.

In primo luogo si può valutare il risparmio di combustibile rispetto alla rete 0:

	<b>Carburante utilizzato (l)</b>	<b>Risparmio (l)</b>
<b>rete 0</b>	120.714,29	-
<b>rete 2</b>	108.642,86	12.071,43
<b>rete 3</b>	96.571,43	24.142,86
<b>rete 4</b>	84.500,00	36.214,29
<b>rete 5</b>	72.428,57	48.285,71

Tabella 90 Risparmio di carburante

Ora, ipotizzando un costo per il combustibile pari a quello utilizzato nel capitolo precedente, è possibile ricavare i costi totali, per l'intero quartiere, dovuti a elettricità (consumi casalinghi + veicoli elettrici) e mobilità tradizionale; verrà poi quantificato il risparmio, rispetto alla rete 0, sia in configurazione microgrid sia in configurazione tradizionale:

	<b>Rete tradizionale</b>			<b>Microgrid</b>		
	<b>Costo Totale (€)</b>	<b>Risparmio (€)</b>	<b>Risparmio (%)</b>	<b>Costo Totale (€)</b>	<b>Risparmio (€)</b>	<b>Risparmio (%)</b>
<b>rete 0</b>	300.481,05	-	-	300.481,05	-	-
<b>rete 2</b>	275.305,38	25.175,67	8%	272.345,58	28.135,47	9%
<b>rete 3</b>	262.104,97	38.376,08	13%	259.264,07	41.216,97	14%
<b>rete 4</b>	242.916,93	57.564,12	19%	238.791,22	61.689,83	21%
<b>rete 5</b>	223.728,89	76.752,16	26%	218.460,33	82.020,72	27%

Tabella 91 Risparmio rispetto alle rete 0

È possibile osservare un risparmio che varia da circa 25.000€ a circa 80.000€ annui per un solo quartiere.

## 7. CONCLUSIONE

---

In questo lavoro sono stati investigati alcuni aspetti relativi alla mobilità elettrica.

In primo luogo, è stato dimostrato, utilizzando un business plan, che può essere vantaggioso, per un'azienda, investire nella creazione di un'infrastruttura di ricarica pubblica e privata; il BP è stato redatto supponendo 3 scenari di diffusione e di utilizzo dei veicoli elettrici. Allo scenario di diffusione e utilizzo attuale dei veicoli elettrici l'investimento non viene ripagato, ma in futuro, considerando i possibili sviluppi di mercato e l'incremento di vendite che si sta già verificando nel 2018, l'investimento garantirà un ritorno economico. Inoltre, la creazione di un'infrastruttura di ricarica spingerà verso l'acquisto di veicoli elettrici in numero sempre maggiore.

In seguito sono stati valutati i vantaggi per l'utilizzatore di un veicolo elettrico. È stato calcolato il vantaggio economico dovuto ai costi ridotti per il rifornimento rispetto alle auto tradizionali (benzina, diesel, GPL e metano) secondo 4 scenari di utilizzo del veicolo. Si ottiene un ottimo risparmio a fine anno (fino al 57%).

Sempre utilizzando gli stessi 4 scenari di utilizzo del veicolo elettrico, è stata svolta una simulazione di Vehicle to Home; l'obiettivo era valutare gli effetti del V2H in termini di autoconsumo e in termini economici. L'abitazione (situata a Cuneo), a cui è connessa l'auto, dispone di un impianto fotovoltaico che, ai fini della simulazione, è stato supposto prima da 3 kW di potenza di picco e poi da 4 kW. In ogni situazione si verifica sia un miglioramento dell'autoconsumo (compreso tra 13 e 44 punti percentuali), sia un di risparmio fino al 27% (risparmio rispetto alla modalità di ricarica tradizionale). Infine, per completezza è stata aggiunta una batteria domestica al sistema; in questo modo si è raggiunto un autoconsumo quasi totale (compreso tra il 95% e il 98% in ogni configurazione) e un risparmio maggiore.

Infine, sono stati investigati gli effetti del progressivo spostamento verso la mobilità elettrica in un quartiere in cui sono presenti 100 auto in totale; al fine di effettuare un confronto, la rete elettrica è stata utilizzata prima in configurazione tradizionale, poi in configurazione Microgrid. È stato valutato il vantaggio in termini economici e in termini ambientali (riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> fino a 72 tonnellate all'anno se le auto elettriche raggiungono il 40% del totale), dell'intera rete, garantito da un utilizzo via via maggiore di veicoli elettrici. In ultima analisi, è stato valutato un ulteriore risparmio economico,

compreso tra il 3% e il 5%, e il vantaggio in termini di autoconsumo (autoconsumo quasi totale) se la rete elettrica fosse in configurazione microgrid.

Per riassumere, l'utilizzo dell'auto elettrica è già di per sé vantaggioso, dal punto di vista dell'utilizzatore finale (per via del risparmio durante l'utilizzo), ma i vantaggi possono migliorare se si utilizza l'auto in configurazione V2H o se la rete elettrica è configurata come una microgrid. Inoltre, utilizzando queste tecnologie è possibile ridurre drasticamente l'energia elettrica reimpressa in rete degli impianti fotovoltaici semplificando la gestione dei flussi energetici sulla rete di distribuzione.

## BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

---

- [1] M. Antonelli, U. Desideri, A. Franco, "Effects of large scale penetration of renewables: The Italian case in the years 2008-2015", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81 (2018), 3090-3100.
- [2] F. Fattori, N. Anglani, G. Muliere, "Combining photovoltaic energy with electric vehicles, smart charging and vehicle to grid", *Solar Energy* 110 (2014), 438-451.
- [3] F. Giordano, A. Ciocia, P. Di Leo, F. Spertino, A. Tenconi, S. Vaschetto, "Self-Consumption Improvement for a Nanogrid with Photovoltaic and Vehicle-to-Home Technologies", IEEE.
- [4] J.G. Pinto, V. Monteiro, H. Gonçalves, B. Exposto, D. Pedrosa, C. Couto, J.L. Afonso, "Bidirectional Battery Charger with Grid-to-Vehicle, Vehicle-to-Grid and Vehicle-to-Home Technologies", *IECON 2013 – 39<sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*.
- [5] K. Uddin, T. Jackson, W.D. Widanage, G. Chouchelamane, P.A. Jennings, J. Marco, "On the possibility of extending the lifetime of lithium-ion batteries through optimal V2G facilitated by an integrated vehicle and smart-grid system", *Energy* 133 (2017), 710-722.
- [6] D. Gandini, "Energy Storage as Enabling Technology for Smart Grid: Modeling, Simulation and Prototyping of a Modular Workbench", PhD Thesis, Politecnico di Torino, 2016.
- [7] D. De Franceschi, "Analisi dei consumi energetici residenziali e vantaggi connessi all'utilizzo di un manager energetico", Master degree thesis, Politecnico di Torino, 2011.
- [8] G. Azzone, P. Secchi, D. Zaninelli - Enel Foundation, Politecnico di Milano, "Apriamo la strada al trasporto elettrico nazionale", 2016.
- [9] M. Van der Kam, W. van Sark, "Smart charging of electric vehicles with photovoltaic power and vehicle-to-grid technology in a microgrid; a case study", *Applied Energy* 152 (2015), 20-30.
- [10] Energy and Strategy Group, Politecnico di Milano, "E-Mobility Report 2017", 2017.
- [11] Energy and Strategy Group, Politecnico di Milano, "E-Mobility Report 2018", 2018.
- [12] Ricerca sul Sistema Energetico – RSE SpA, "E... muoviti! Mobilità elettrica a sistema", Editrice Alkes, 2013.

- [13] G. Caretto, “Mobilità elettrica, è ora di capire come e dove va il mondo”, StartMagazine, 12/05/17.
- [14] Ricerca sul Sistema Energetico – RSE SpA, “Elementi per una roadmap della mobilità sostenibile. Inquadramento generale e focus sul trasporto stradale”, Editrice Alkes, 2017.
- [15] “Infographic – Presa... in pieno!”, Nuova Energia 4 (2018), 69-71.
- [16] L. Branchini, “Generazione Distribuita e Tecnologie per l’Accumulo di Energia”, Fare i conti con l’ambiente - Ravenna 2016
- [17] Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale – ISPRA, “Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra e altri gas nel settore elettrico”, 2018.
- [18] International Energy Agency – IEA, “World Energy Outlook 2017. Executive summary”, 2017.
- [19] Istituto Superiore di Formazione e Ricerca per i Trasporti - ISFORT, “14° Rapporto sulla mobilità in Italia”, 2017.
- [20] D.Lgs. 16 dicembre 2016, n. 257
- [21] Piano Nazionale Infrastrutturale per la Ricarica dei veicoli alimentati ad energia Elettrica – PNire
- [22] F. Piglione, G. Chicco, “Sistemi Elettrici Industriali parte 2”, Politecnico di Torino, 2013-2014.
- [23] <https://www.terna.it/>
- [24] <http://www.arpa.piemonte.it/>
- [25] <https://www.e-distribuzione.it/>
- [26] <https://www.tesla.com/>
- [27] <https://www.servizioelettriconazionale.it/>
- [28] <https://yearbook.enerdata.net/>
- [29] <https://www.greenstart.it/>

# RINGRAZIAMENTI

---

Giunto al termine di questo lungo percorso desidero ringraziare il Prof. Filippo Spertino e l'Ing. Massimo Cellino che mi hanno guidato nella stesura di questa tesi con pazienza e disponibilità.

Un ringraziamento speciale va alla mia famiglia per avermi sempre sostenuto e per aver sempre creduto in me in ogni occasione.

Ringrazio la mia fidanzata Sara che è sempre rimasta al mio fianco.

Infine, un pensiero va a tutti gli amici che ci sono stati per me.

Ho raggiunto questo traguardo grazie a tutti voi.