



Ricerca di Sistema elettrico

# Analisi dello stato dell'arte delle applicazioni V2H e delle strategie di gestione implementabili

C. Villante, M. Anatone, A. De Vita



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DELL'AQUILA

RdS/PTR(2020)/056

## ANALISI DELLO STATO DELL'ARTE DELLE APPLICAZIONI V2H E DELLE STRATEGIE DI GESTIONE IMPLEMENTABILI

C. Villante, M. Anatone, A. De Vita – Università dell'Aquila, CITraMS

Dicembre 2020

### Report Ricerca di Sistema Elettrico RdS/PTR(2020)/057

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - I annualità

Obiettivo: Tecnologie

Progetto: Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Work package: Mobilità

Linea di attività: 2.16 - Stato dell'arte delle strategie di gestione energetica nelle attuali soluzioni V2H, categorizzazione dei possibili contesti applicativi

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work package: Maria Pia Valentini, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Modelli previsionali per il dimensionamento ottimo di sistemi di ricarica wireless V2He la loro gestione ottima in termini energetico/economici"

Responsabile scientifico ENEA: Antonino Genovese

Responsabile scientifico UnivAQ-CITraMS: Carlo Villante

## Indice

|  |    |
|--|----|
| SOMMARIO.....  | 4  |
| INTRODUZIONE.....  | 5  |
| 1.1    SCENARI DI PENETRAZIONE DELLA MOBILITÀ ELETTRICA .....                          | 5  |
| 1.2    SCENARI DI PENETRAZIONE DELLA MOBILITÀ ELETTRICA .....                          | 8  |
| 1.3    ANALISI E SCENARI EVOLUTIVI DEL SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE .....               | 11 |
| 1.4    POTENZIALITÀ DI SISTEMI V2X PER L'INTERFACCIAMENTO VEICOLO-RETE.....            | 14 |
| 1.5    TIPOLOGIE DI SISTEMI V2X.....   | 17 |
| 2    PRINCIPALI PROGETTI DI SVILUPPO IN CORSO .....                                    | 23 |
| 3    SISTEMI V2H COMMERCIALI ATTUALMENTE DISPONIBILI.....                              | 27 |
| 4    POSSIBILI STRATEGIE DI CONTROLLO OTTIMO DI SISTEMI V2H .....                      | 32 |
| 4.1    CONTROLLO DISPOSITIVI V2H CON STRATEGIE FREQUENCY-BASED .....                   | 32 |
| 4.2    CONTROLLO DISPOSITIVI V2H CON STRATEGIE VOLTAGE-BASED .....                     | 33 |
| 4.3    CONTROLLO DISPOSITIVI V2H CON OTTIMIZZAZIONE ENERGETICA ED ENERGY-PRICING ..... | 34 |
| CONCLUSIONI .....  | 36 |
| APPENDICE: CV DEL RESP.LE SCIENTIFICO PER L'UNIVERSITÀ DELL'AQUILA - CITRAMS .....     | 37 |

## Sommario

Come noto, la disponibilità di sistemi di accumulo elettrico, anche se su base mobile, come quelli a bordo dei veicoli, offrirà in futuro ampie opportunità di una ottimizzazione dei flussi di energia elettrica di cessione e/o prelievo alla/dalla rete, permettendo, ad esempio, di aumentare l'efficienza nell'utilizzo dell'energia da fonti rinnovabili non programmabili e diminuire il costo complessivo delle forniture. A tal fine, però, le capacità di bi-direzionalità della rete sia in termini fisici che di gestione, contabilizzazione e fatturazione e billing devono ancora essere fortemente incrementate, nel cosiddetto paradigma smart-grid.

In attesa della implementazione di più ampie e pervasive azioni di connessione dei veicoli con la rete (dialogo "vehicle-to-grid": sistemi V2G), è già oggi possibile pensare ad applicazioni su scala più ristretta (ad esempio singole abitazioni o piccoli condomini) ed installare e valutare l'efficacia di tali sistemi (basati sul dialogo "vehicle-to-home": sistemi V2H). Queste applicazioni però, seppur certamente più semplici in termini realizzativi ed installabili senza particolarità necessità di opere infrastrutturali a livello urbano, hanno margini di efficacia ed applicabilità più ristretti, sia in termini energetici, sia in termini economici. Ciò è dovuto alla tendenziale coincidenza della connessione del veicolo alla stazione di ricarica con periodi di ridotto consumo, scarsa producibilità da fonte rinnovabile e scarsa valorizzazione economica della energia elettrica messa a disposizione dai sistemi di accumulo veicolari.

Diviene cruciale pertanto la realizzazione di sistemi di ottimizzazione della gestione dei sistemi V2H che prevedano anche il potenziale coinvolgimento attivo degli utenti e la modifica almeno parziale delle proprie abitudini di consumo e di connessione dei veicoli alla rete di ricarica.

Tutto ciò premesso, in questa prima linea di attività si è realizzata una analisi dello stato dell'arte sia dei sistemi V2H già disponibili sul mercato e delle relative strategie di gestione energetica da essi implementate. Si è analizzata anche la bibliografia presente in materia di gestione ottima di sistemi V2H: si tenga anche presente che la gestione di tali sistemi è inevitabilmente fortemente dipendente dal sito di applicazione non solo per la diversità delle abitudini tipiche dei consumatori in zone differenti (rurali, grandi o piccoli centri urbani, ...) ma anche per le differenti opzioni di fatturazione locale dell'energia elettrica ed i differenti meccanismi di incentivazione alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili ed al suo autoconsumo locale.

Tutti questi aspetti sono oggetto della presente relazione di attività

## Introduzione

Come noto, la disponibilità di sistemi di accumulo elettrico, anche se su base mobile, come quelli a bordo dei veicoli, offrirà in futuro ampie opportunità di una ottimizzazione dei flussi di energia elettrica di cessione e/o prelievo alla/dalla rete, permettendo, ad esempio, di aumentare l'efficienza nell'utilizzo dell'energia da fonti rinnovabili non programmabili e diminuire il costo complessivo delle forniture. A tal fine, però, le capacità di bi-direzionalità della rete sia in termini fisici che di gestione, contabilizzazione e fatturazione e billing devono ancora essere fortemente incrementate, nel cosiddetto paradigma smart-grid.

In attesa della implementazione di più ampie e pervasive azioni di connessione dei veicoli con la rete (dialogo "vehicle-to-grid": sistemi V2G), è già oggi possibile pensare ad applicazioni su scala più ristretta (ad esempio singole abitazioni o piccoli condomini) ed installare e valutare l'efficacia di tali sistemi (basati sul dialogo "vehicle-to-home": sistemi V2H). Queste applicazioni però, seppur certamente più semplici in termini realizzativi ed installabili senza particolarità necessità di opere infrastrutturali a livello urbano, hanno margini di efficacia ed applicabilità più ristretti, sia in termini energetici, sia in termini economici. Ciò è dovuto alla tendenziale coincidenza della connessione del veicolo alla stazione di ricarica con periodi di ridotto consumo, scarsa producibilità da fonte rinnovabile e scarsa valorizzazione economica della energia elettrica messa a disposizione dai sistemi di accumulo veicolari.

Diviene cruciale pertanto la realizzazione di sistemi di ottimizzazione della gestione dei sistemi V2H che prevedano anche il potenziale coinvolgimento attivo degli utenti e la modifica almeno parziale delle proprie abitudini di consumo e di connessione dei veicoli alla rete di ricarica.

Tutto ciò premesso, in questa prima linea di attività si è realizzata una analisi dello stato dell'arte sia dei sistemi V2H già disponibili sul mercato e delle relative strategie di gestione energetica da essi implementate. Si è analizzata anche la bibliografia presente in materia di gestione ottima di sistemi V2H: si tenga anche presente che la gestione di tali sistemi è inevitabilmente fortemente dipendente dal sito di applicazione non solo per la diversità delle abitudini tipiche dei consumatori in zone differenti (rurali, grandi o piccoli centri urbani, ...) ma anche per le differenti opzioni di fatturazione locale dell'energia elettrica ed i differenti meccanismi di incentivazione alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili ed al suo autoconsumo locale.

Tutti questi aspetti sono oggetto della presente relazione di attività.

### *1.1 Scenari di penetrazione della mobilità elettrica*

La diffusione della mobilità elettrica offre la possibilità di una interazione biunivoca tra rete di distribuzione e sistema di accumulo veicolare per il tramite di appositi dispositivi di interconnessione, definiti nel complesso V2X (dal Veicolo ad un sistema ricevitore esterno).

Questi dispositivi potranno connettere il Veicolo in maniera diretta alla rete di distribuzione/o trasmissione (V2G – Vehicle-to-Grid), ovvero, su scala minore, abilitare l'interazione con i singoli utenti: i cosiddetti sistemi V2H (Vehicle-to Home) vedono infatti come soggetto di interazione l'utenza (sia essa domestica o aziendale), per minimizzare i costi energetici grazie ad esempio ad una diversa distribuzione temporale dei flussi energetici e ad una riduzione della richiesta di potenza. Diviene in questo caso basilare analizzare le esigenze dell'utenza fissa e quella mobile per coglierne la complementarietà e le possibili sinergie.

La ricerca in oggetto, iniziata in questo primo anno di lavoro, si propone, basandosi sull'utilizzo di big data sulla mobilità privata, di offrire informazioni sul reale utilizzo del veicolo, da cui estrarre informazioni sulle esigenze di ricarica e sulla disponibilità di energia da offrire all'utenza nelle differenti ore della giornata, senza minare le possibilità di utilizzo susseguente del mezzo. Al contempo si potranno valutare azioni di intervento sulla ricarica della batteria del mezzo per tramite di azioni di modulazione della potenza o di shift della carica stessa in ore di minore impegno.

L'attuale crescita del numero di veicoli elettrici nel parco auto mondiale presenta infatti varie criticità, tra le quali una notevole potenza elettrica che la rete deve rendere disponibile per la ricarica delle auto. Dall'altro lato il crescente numero di veicoli comporta anche una maggior capacità di accumulare energia tramite le batterie, nasce quindi la possibilità di interfacciare questo accumulo con la rete per scambiare energia con lo scopo di far fronte alla domanda sempre crescente di energia ed alle sue variazioni. Infatti, uno dei primi vantaggi è quello di fornire servizi ancillari, che comprendono la stabilizzazione della tensione della rete facendo fronte a variazioni di domanda, fornendo potenza reattiva dal veicolo, e la stabilizzazione della frequenza, fornendo potenza attiva.

Ad esempio, nel caso la rete presenti un picco di domanda, momento nel quale anche il costo dell'energia è abbastanza alto, ma la produzione da fonti rinnovabili è bassa, il veicolo elettrico fornisce potenza elettrica rivendendola alla rete. Si parla in questo caso di V2G (vehicle to grid), tuttavia questo flusso di potenza può essere indirizzato anche verso una rete elettrica domestica tramite il cosiddetto V2H (vehicle to home).

Interfacciare il veicolo con un'abitazione ha però l'obiettivo di coprire il carico richiesto dalle utenze con energia proveniente dall'accumulatore e non dalla rete elettrica; si cerca quindi di ottimizzare la gestione dei flussi dal punto di vista economico per ottenere un risparmio. Ovviamente l'energia presente nella batteria dell'auto proviene comunque dalla rete elettrica, ma viene fornita al veicolo nei periodi nei quali il costo dell'energia è inferiore, si parla in questo caso di H2V (home to vehicle), che corrisponde dunque alla ricarica della batteria.

Il collegamento tra veicolo ed abitazione è gestito da un PCS (Power Control System) che permette di soddisfare la domanda della rete domestica totalmente o parzialmente e controlla la carica e scarica della batteria. Oltre al PCS è necessario avere dei convertitori bidirezionali di energia che permettano la bidirezionalità dell'energia elettrica ed i quali verranno illustrati più avanti. I PCS possono essere integrati con impianti a fonte rinnovabile aumentando quindi i punti di immissione dell'energia, ma anche la complessità della strategia che il PCS deve adottare<sup>1</sup>. La batteria può quindi essere usata come accumulatore soprattutto nelle ore centrali del giorno quando c'è un surplus di energia prodotta dalle rinnovabili.

La tecnologia del V2H può coinvolgere anche diversi veicoli elettrici aumentando quindi l'energia disponibile che può essere utilizzata anche per far fronte ad un carico domestico più grande, come un condominio, si parla quindi di V2B (vehicle to building).

Il sistema di bidirezionalità dei flussi di energia tra veicolo elettrico e casa (con integrato un generico impianto a fonte rinnovabile) viene quindi adottato in un sistema di rete detto "smart grid".

La rete elettrica convenzionale utilizzata finora è quella che prevede la produzione di energia elettrica e la distribuzione di questa tramite pochi punti di immissione e molti punti di prelievo, mentre la smart grid è una rete intelligente che aumenta il numero dei punti di immissione e prevede la comunicazione di veicoli connessi alla rete con la rete stessa o con la casa. Lo scopo dell'utilizzo di questa rete è quello di far ottenere un beneficio al produttore, al consumatore e all'ambiente.

I componenti chiave della smart grid sono:

- centrali di generazione di energia;
- impianti a fonte rinnovabile;
- veicoli elettrici e stazioni di ricarica;
- unità immobiliari integrate con i componenti sopraelencati.

---

<sup>1</sup> "The Strategies of EV Charge/Discharge Management in Smart Grid Vehicle-to Everything (V2X) Communication Networks", Ujjwal Datta, Juan Shi, Akhtar Kalam

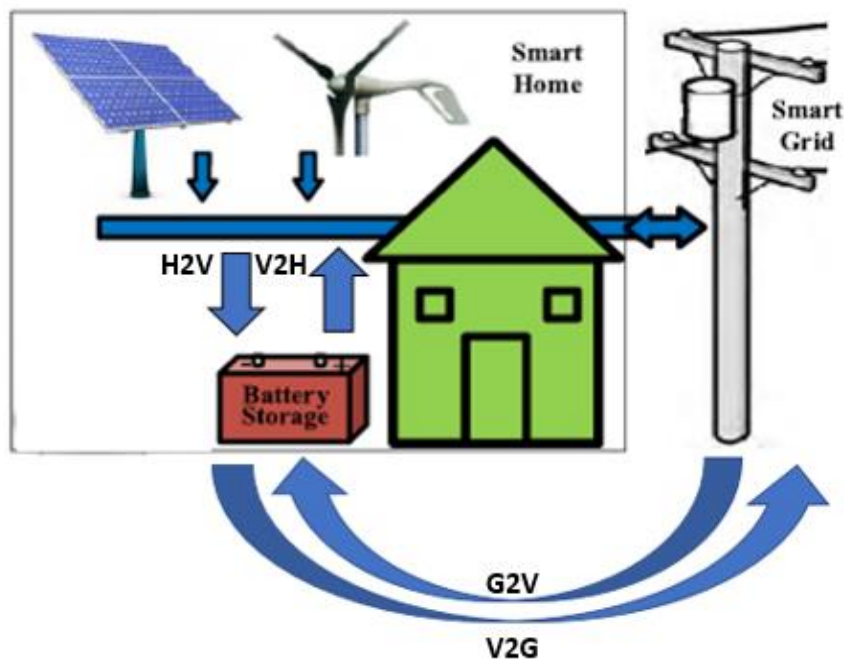


Figura 1. Schema flussi di potenza<sup>2</sup>

I punti di ricarica devono essere intelligenti, nel senso che permettono una bidirezionalità dell'energia e la registrazione di dati. Grazie a ciò è possibile stimare l'andamento orario della domanda richiesta per la ricarica dei veicoli elettrici.

Il generico impianto a fonte rinnovabile però introduce un problema dovuto all'imprevedibilità della fonte ed alla sua intermittenza, ciò influenza la stabilità della rete.

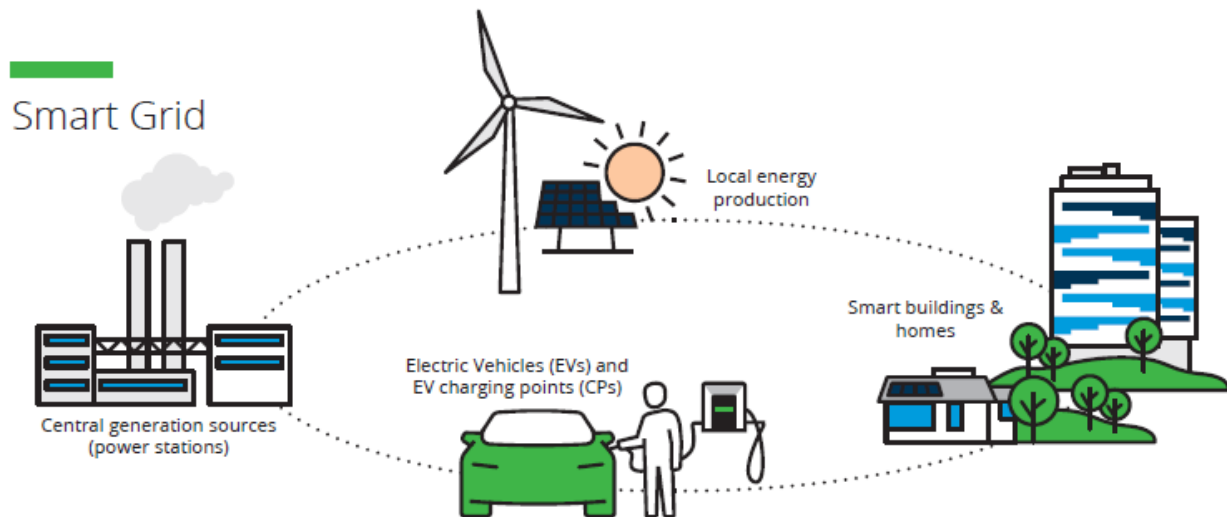


Figura 2. Schema smart grid<sup>3</sup>

<sup>2</sup> "Effects of V2H Integration on Optimal Sizing of Renewable Resources in Smart Home Based on Monte Carlo Simulations", BAHMAN NAGHIBI, MOHAMMAD A. S. MASOUM, SARA DEILAMI

<sup>3</sup> Ensto, "V2G and V2H The smart future of vehicle-to-grid and vehicle-to-home", September 2016

Un altro parametro da tenere in considerazione è il livello di carica della batteria, detto anche SOC (state of charge), infatti bisogna fare in modo che l'utente, all'inizio della giornata, abbia a disposizione un SOC sufficiente a garantire la percorrenza media quotidiana.

Questa tecnologia offre un beneficio sulla stabilità della rete elettrica e uno di tipo economico. In linea generale, si preferisce la ricarica della batteria del veicolo durante le ore notturne quando il prezzo dell'energia è più basso, o nelle ore nelle quali l'impianto a fonte rinnovabile ha il suo picco di produzione; nelle ore nelle quali c'è un picco di domanda, ed il prezzo dell'energia è più alto, è il veicolo ad alimentare la rete domestica.

Si capisce dunque come sia necessaria un'attenta strategia di carica e scarica della batteria che tenga conto di tutte le variabili appena citate.

### 1.2 Scenari di penetrazione della mobilità elettrica

Le potenzialità delle tecnologie appena citate, soprattutto la V2G, sono giustificate dal numero crescente dei veicoli elettrici nel parco auto mondiale: per fornire dei numeri di riferimento, seppur in un contesto ancor non pienamente delineato, è interessante qui, in estrema sintesi, riportare alcuni dei principali risultati di una analisi di scenario elaborata dalla IEA (International Energy Agency). Lo studio in questione, noto come Global Electric Vehicle Outlook 2018<sup>4</sup>, fornisce un quadro dello stato attuale dei veicoli elettrici, delle postazioni di ricarica e delle politiche messe in atto dalle varie nazioni, fino a proporre scenari evolutivi futuri fino all'anno 2030.

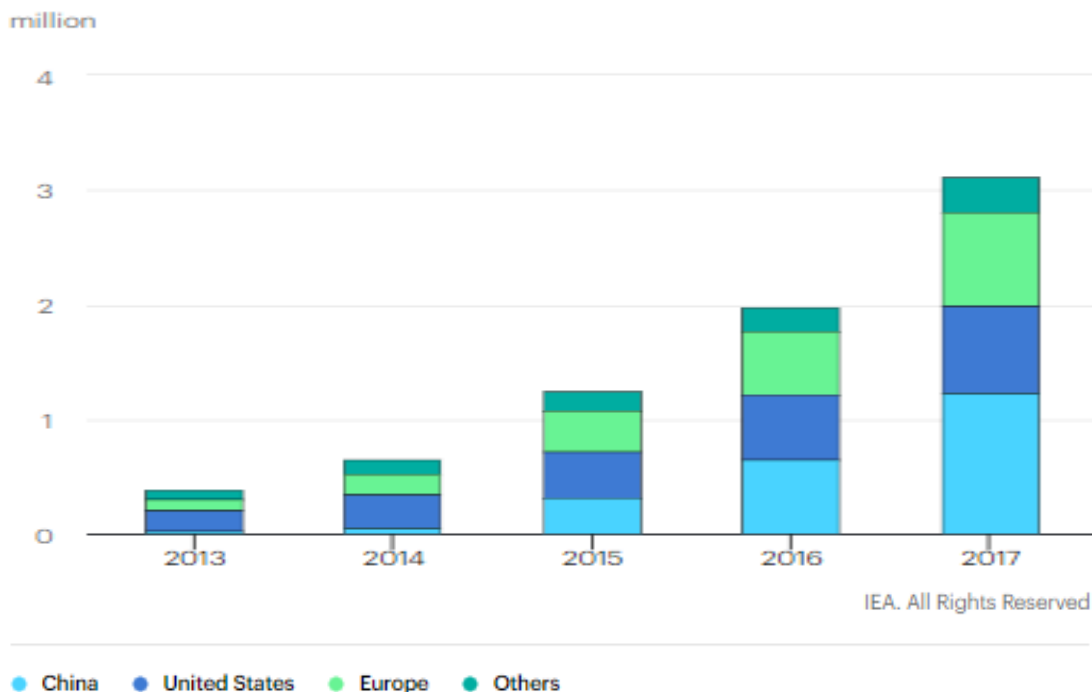


Figura 3. Numero di auto elettriche circolanti nelle varie nazioni dal 2013 al 2017

<sup>4</sup> <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2018>

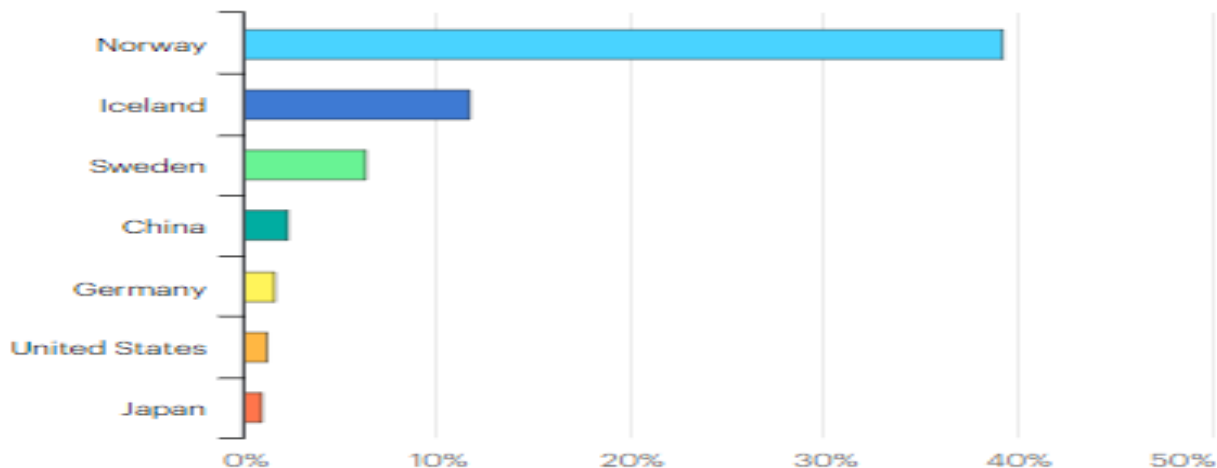


Nell'anno 2017 i veicoli elettrici venduti sono stati circa 1 milione, con circa mezzo milione di auto vendute nella sola Cina; il numero totale di auto elettriche circolanti nel panorama mondiale ha sorpassato i 3 milioni di unità con un aumento del 50% rispetto al 2016 [2] (c'è da considerare però che un aumento del 50% non è relativamente grande considerando l'ancor basso numero di veicoli elettrici).

Lo studio mostra le nazioni con una maggior percentuale di veicoli elettrici venduti rispetto al numero totale di quelli venduti. Le nazioni scandinave sono quelle ad ottenere il primato con in testa la Norvegia col 39% di vetture elettriche vendute nel 2017.

L'aumento di auto elettriche nel parco auto mondiale necessita di essere supportato da un adeguato numero di stazioni di ricarica, nel 2017 sono stati stimati circa 3 milioni di stazioni di ricarica private domestiche o aziendali, il che si inserisce anche nello scenario evolutivo delle tecnologie V2G e V2H.

Per quanto riguarda le stazioni di ricarica pubbliche il numero si attesta intorno alle 430 mila unità, un quarto delle quali è ad alta velocità di ricarica.



**Figura 4. Percentuale di veicoli elettrici venduti nel 2017**

Il costo delle auto elettriche è considerato essere ancora relativamente alto, tuttavia molti Paesi forniscono incentivi per il loro acquisto e inoltre il costo delle batterie si è abbassato negli anni grazie all'aumento della loro produzione. Questi due fattori fanno sì che gli scenari evolutivi futuri siano più ottimisti con un considerevole aumento del numero di vetture elettriche.

Passando ad esaminare gli scenari futuri l'IEA considera due diverse situazioni: la prima fornisce risultati considerando le attuali politiche messe in atto dai diversi governi ed i vari accordi internazionali (come l'accordo di Parigi), la seconda considerando delle politiche in linea con la campagna EV30@30. Quest'ultima è una campagna lanciata nel 2017 all'ottavo Clean Energy Ministerial, supportata da Cina, Canada, Finlandia, Francia, Giappone, Messico, Olanda, Norvegia, Svezia ed India, con obiettivo quello di raggiungere nel 2030 il 30% di veicoli elettrici venduti sul totale dei veicoli venduti.

Secondo il primo scenario evolutivo il numero di auto elettriche raggiungerà i 125 milioni per l'anno 2030, mentre per quanto riguarda il secondo scenario il valore si attesterà sui 220 milioni di unità.

Le tipologie di vetture considerate sono BEV (battery electric vehicle) e PHEV (plug-in hybrid electric vehicle) dividendoli in PLDV (passenger light duty vehicle) e LCV (long combination vehicle).

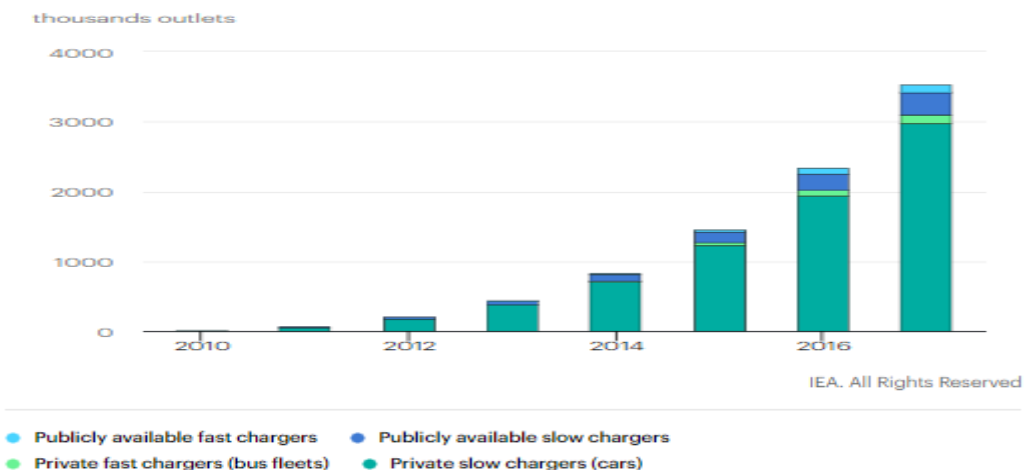


Figura 5. Evoluzione negli anni del numero stazioni di ricarica pubbliche e private

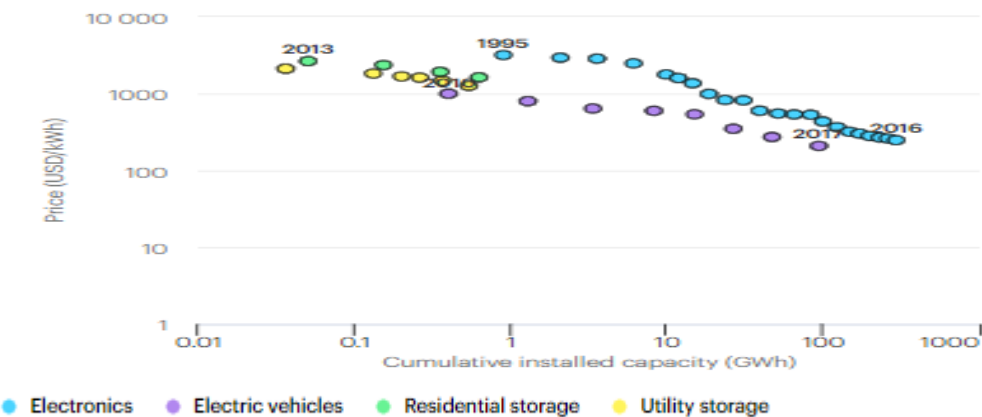


Figura 6. Costo batterie per unità di energia immagazzinabile



Figura 7. Andamento numero vetture elettriche secondo i due scenari

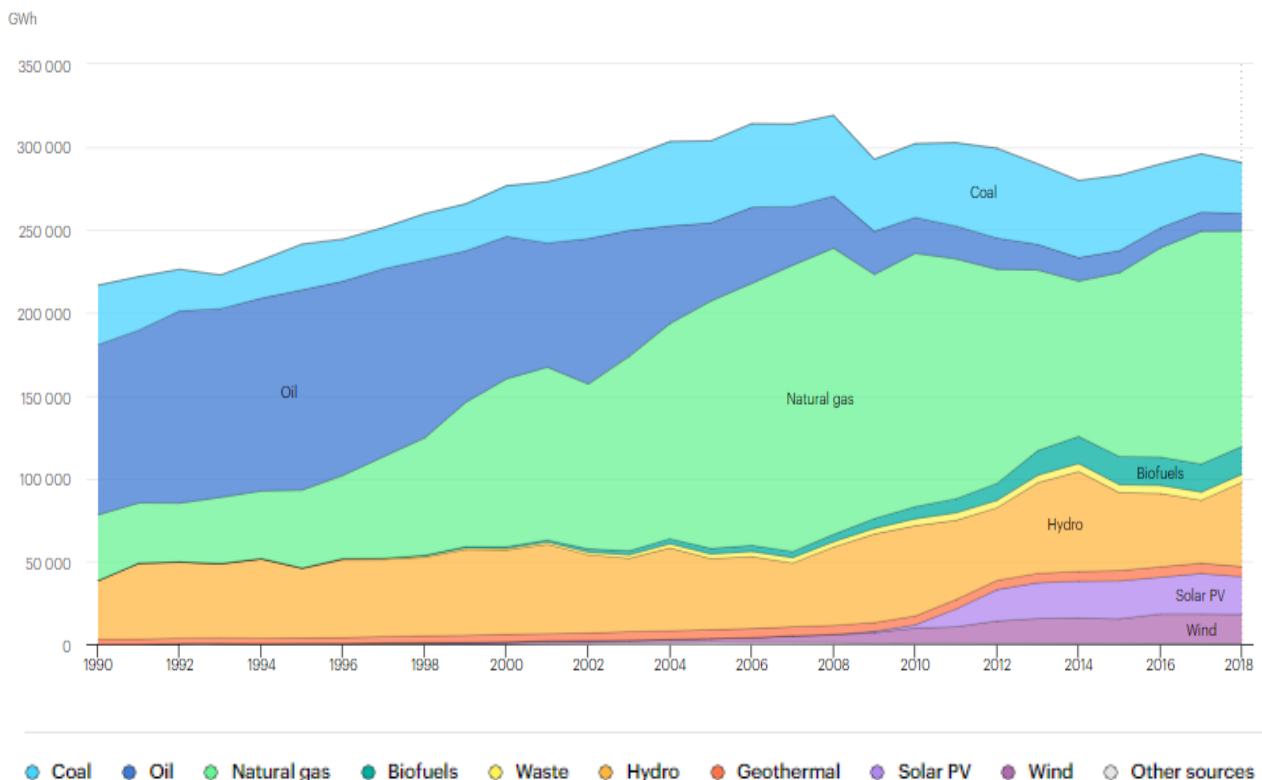
### 1.3 Analisi e scenari evolutivi del Sistema elettrico nazionale

E' utile qui riportare in estrema sintesi anche alcuni tratti relativi alla forte evoluzione di settore nel sistema elettrico nazionale.

Negli ultimi anni, in corrispondenza di una notevole crisi economica che ha generato una contrazione dei consumi nazionali, il mix energetico italiano è stato infatti caratterizzato da una forte penetrazione delle fonti rinnovabili<sup>5</sup>.

Contestualmente si è osservata una rilevante diminuzione del costo dell'energia osservabile dall'andamento del PUN<sup>6</sup> (prezzo unico nazionale, che dipende dalle curve di offerta e domanda e dal contesto fisico del mercato) dal 2007 al 2016: quest'ultimo ha subito un calo negli anni a causa della crescita dell'offerta (grazie appunto alla maggior energia disponibile grazie alle rinnovabili), ma anche a causa del calo della domanda che c'è stato in Italia a causa della crisi economica.

Un'altra importante conseguenza dell'ingresso delle rinnovabili è quella dovuta al fatto che si è spesso giunti ad una produzione sovradimensionata rispetto all'offerta disponibile, specie nelle ore di picco di disponibilità delle fonti rinnovabili non programmabili, come eolico e solare. Ciò ha condotto a forti distorsioni di mercato, con una oscillazione dei prezzi e dei fabbisogni orari rispetto a quelli comunemente osservabili negli anni precedenti e dovuti esclusivamente alla oscillazione della domanda oraria di energia.



**Figura 8. Mix energetico italiano**

<sup>5</sup> <https://www.iea.org/data-and-statistics>

<sup>6</sup> [https://www.gse.it/documenti\\_site/Documenti GSE/Studi e scenari/Il valore dell'energia rinnovabile sul mercato elettrico.pdf](https://www.gse.it/documenti_site/Documenti GSE/Studi e scenari/Il valore dell'energia rinnovabile sul mercato elettrico.pdf)

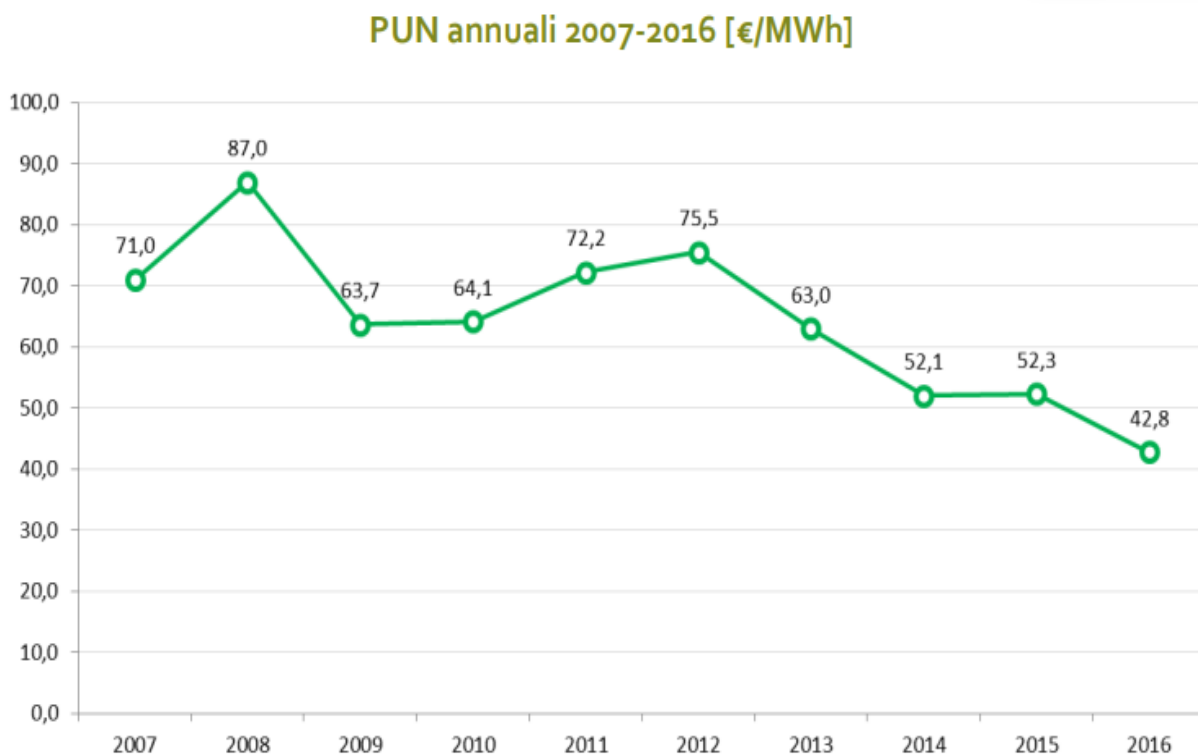


Figura 9. Andamento negli anni del PUN

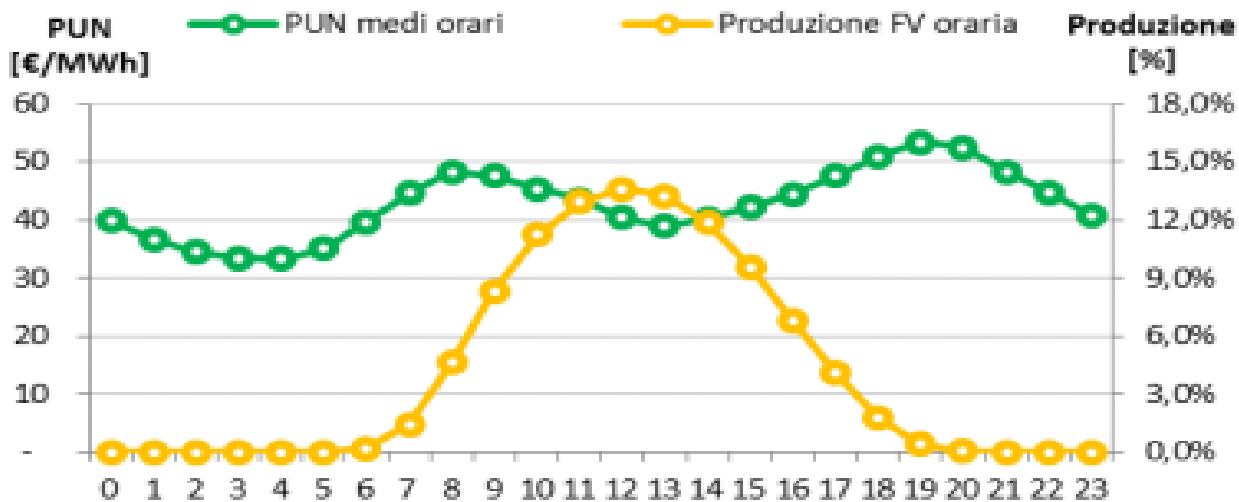
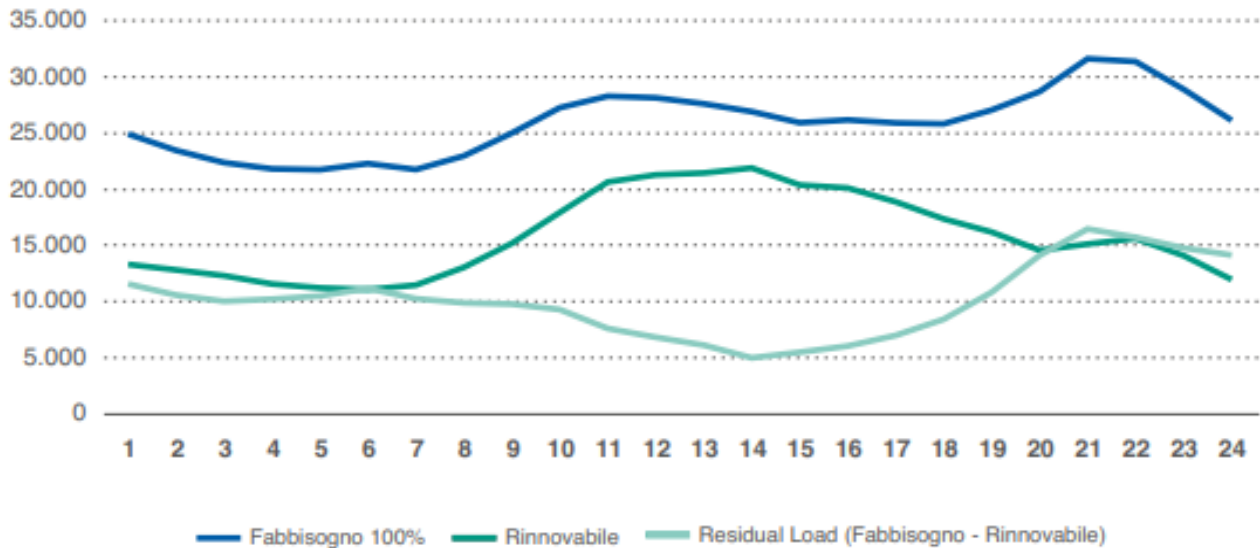


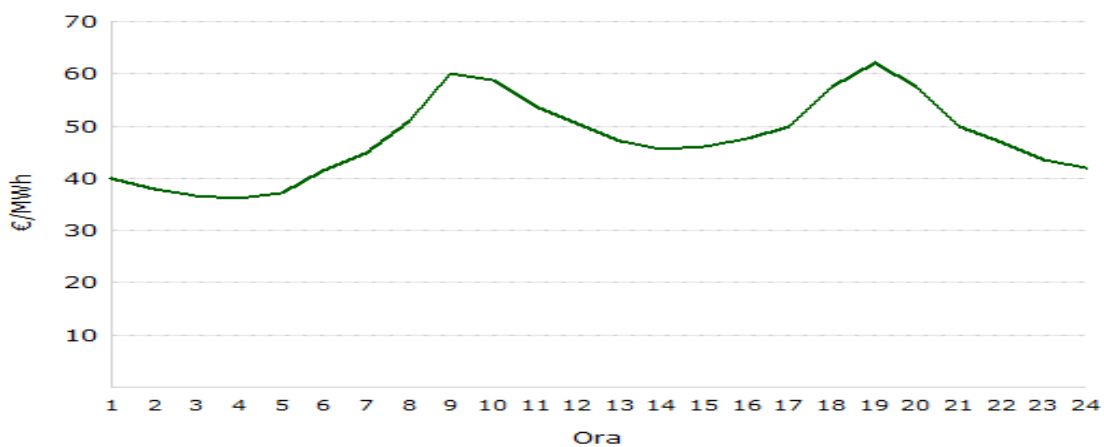
Figura 10. Tipico andamento del PUN orario con la produzione oraria del fotovoltaico

In particolare, essendo la domanda di energia alta anche nelle ore serali, nelle quali però l’apporto di energia dalle rinnovabili è molto più ridotto; il carico residuale (pari alla differenza tra carico richiesto ed energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili) sperimenta un aumento nelle ore serali. A desso devono far fronte prontamente impianti flessibili a combustibile fossile (di norma centrali turbogas a metano), causando di norma un aumento nelle prime ore serali, specie nel periodo invernale. A titolo di esempio, sono qui riportati

un tipico andamento del carico residuale (Residual load)<sup>7</sup> e gli esiti dei prezzi orari sul MGP (Mercato del Giorno Prima dell'Energia elettrica) per un giorno invernale tipico<sup>8</sup>.



**Figura 11. Andamento carico residuale 25/04/2016**



**Figura 12. Esito MGP per una tipica giornata lavorativa invernale**

La tecnologia del V2G si va ad inserire in questo discorso perché l'energia proveniente dagli impianti fotovoltaici andrebbe stoccata nelle batterie e verrebbe utilizzata per soddisfare la richiesta di energia della rete andando così a ridurre i picchi della curva di carico con un'omogeneizzazione dei prezzi orari. Questo discorso verrà approfondito comunque nel prossimo capitolo.

Analoghi effetti distortivi possono essere prodotti dalla produzione da fonte eolica, meno variabile durante la giornata, ma comunque imprevedibile in intensità e fortemente disaccoppiata dalla domanda di energia.

<sup>7</sup> <https://download.terna.it/terna/0000/0994/85.PDF>

<sup>8</sup> <http://www.mercatoelettrico.org/It/Esiti/MGP/EsitiMGP.aspx>

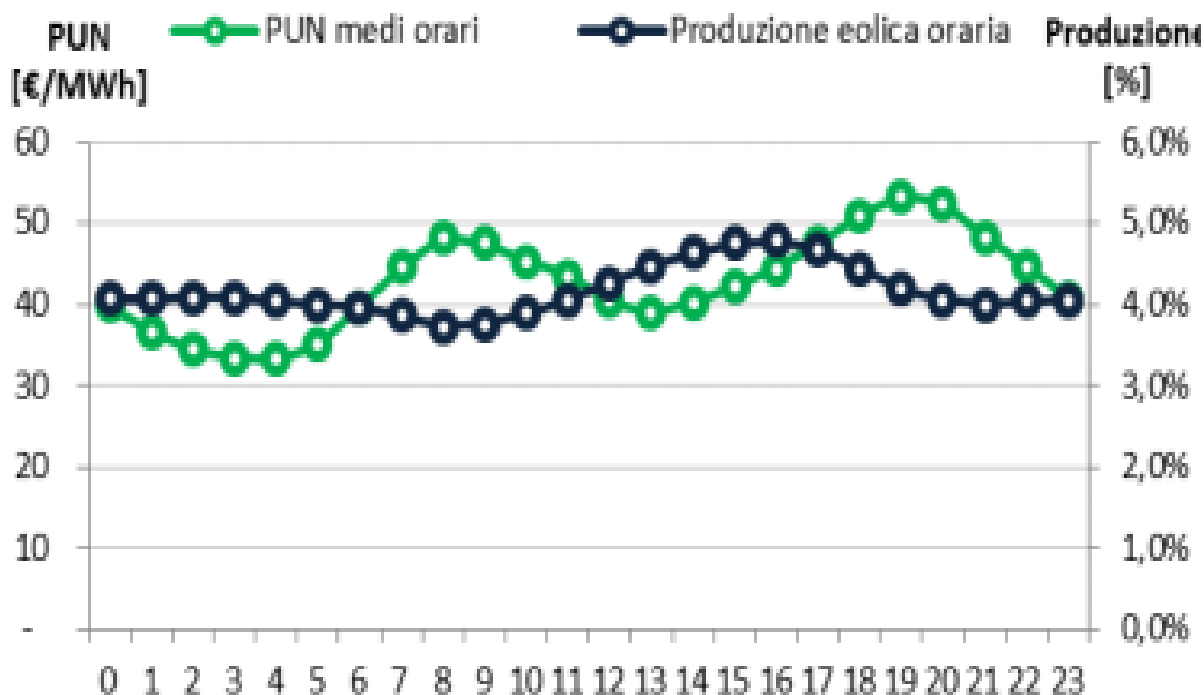


Figura 13. Produzione oraria energia da fonte eolica e PUN medi orari

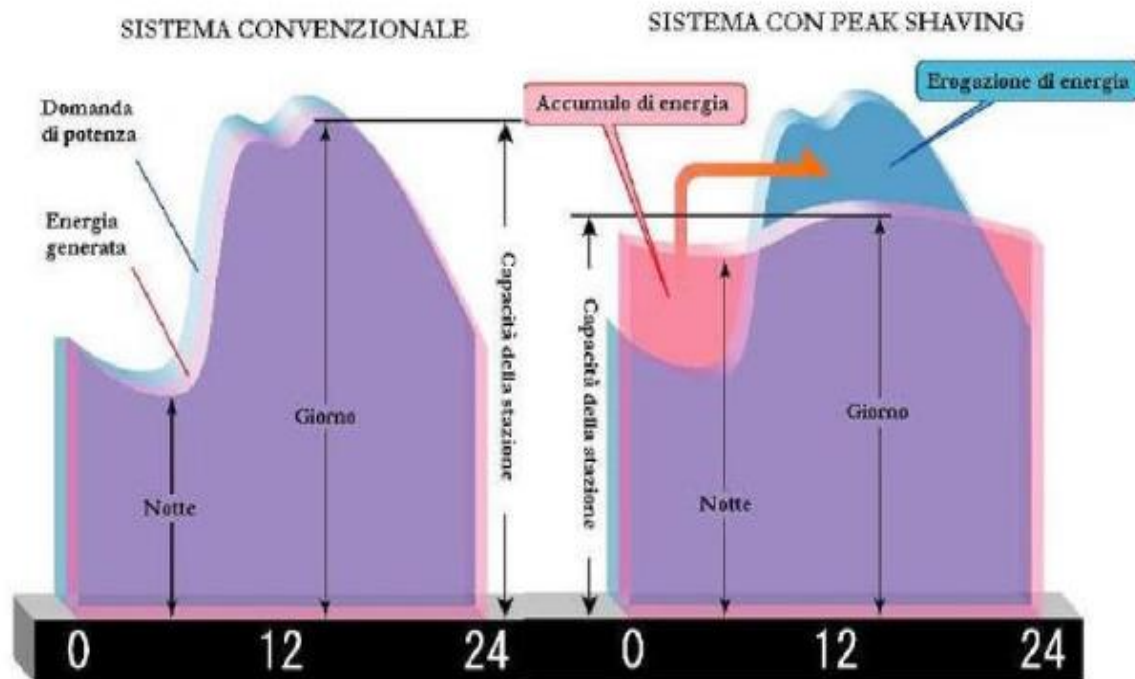
A fronte di queste problematiche sulla rete pare sempre più evidente la necessità di utilizzo di un accumulo energetico che si interfacci con la rete scambiandovi energia. A tal riguardo, deve essere considerato che una percentuale rilevante dell’energia elettrica è prodotta in Italia da fotovoltaico in maniera strettamente connessa alle utenze domestiche e potrebbe essere meglio gestibile in una logica di accumulo finalizzato all’autoconsumo locale.

Tutto ciò considerato, il contesto Italiano appare particolarmente promettente per l’introduzione di tecnologie di integrazione tra domanda ed offerta su scala domestica tramite sistemi di accumulo a proprietà diffusa come i sistemi V2G, specifico oggetto della presente ricerca.

### 1.4 Potenzialità di sistemi V2X per l’Interfacciamento Veicolo-Rete

Da quanto detto si comprende come la disponibilità di sistemi di accumulo (come le batterie automobilistiche) connesse a rete (seppure in maniera pulsante e non del tutto programmabile) possa essere considerata una opportunità più che interessante in un’ottica di gestione ed ottimizzazione del sistema elettrico nazionale. A tal fine, vengono qui elencati i principali benefici teoricamente ottenibili tramite un esteso sistema di connessioni V2X, per poi specificare in seguito più nel dettaglio le potenzialità dei sistemi V2H, orientati all’utilizzo da parte di utenze domestiche (o comunque private) e le relative possibili logiche di gestione energetica.

Il primo beneficio derivante da un’integrazione di vetture elettriche e della rete è la capacità di far fronte a variazioni di carico richiesto dalla rete. La batteria del veicolo risulta essere una rapida sorgente di energia a disposizione della rete, questo evita l’accensione momentanea di impianti ad alto costo marginale tipici del panorama produttivo italiano. Da questa capacità di fornire energia a fronte di variazioni di potenza richiesta nasce la possibilità di operare un Peak Shaving, ossia il livellamento del carico su una potenza media in modo da diminuire la differenza tra il picco di carico massimo e le condizioni di minimo carico. A tal fine è necessario assorbire energia elettrica durante le fasi di basso carico per poi restituirla durante i picchi di carico.



**Figura 14. Peak Shaving e curva di carico**

Un altro servizio erogabile alla rete per il tramite di sistemi locali di accumulo opportunamente connessi e gestiti è la cosiddetta “Spinning Reserve” (Riserva Rotante), ovvero la fornitura di frequenti picchi di potenza in brevi intervalli di tempo (circa 10 minuti). Questo permette di far fronte ad improvvise variazioni di carico che possono, ad esempio, essere dovute a interruzioni o guasti di un impianto di produzione di energia (evenienza verificabile di norma tra le 20 e le 50 volte in un anno).

Ulteriori benefici possono derivare dall’uso di sistemi V2G per la regolazione della frequenza e della tensione di rete, ossia dei cosiddetti servizi ancillari, necessari per il corretto funzionamento di tutti i dispositivi elettrici collegati alla rete stessa. Le variazioni di frequenza dalla rete sono infatti dovute alle fluttuazioni di potenza attiva che possono essere dovute a guasti o a variazioni di condizioni operative inattese degli impianti a fonti rinnovabili (diminuzione dell’intensità luminosa o di quella del vento). Per quanto riguarda la regolazione della tensione della rete, invece, il principale parametro operativo è la potenza reattiva: se la potenza reattiva in rete è più alta del dovuto nascono maggiori cadute di tensione sulle impedenze di linea e di carico; ciò tende a provocare una diminuzione della tensione di rete che può essere contrastata da sistemi di accumulo locale opportunamente gestiti tramite convertitori per assorbire o generare all’occorrenza potenza reattiva.

Un altro importante beneficio è quello di immagazzinamento di energia derivante da fonti rinnovabili, infatti eolico e fotovoltaico sono due fonti che oltre ad essere intermittenti sono legate strettamente alle condizioni di lavoro e quindi ambientali, questo implica che sono necessarie operazioni di bilanciamento. Ciò è possibile grazie all’accumulo tramite le batterie dei veicoli elettrici che permette di far fronte quindi al disaccoppiamento temporale tra domanda oraria della rete e produzione oraria come già visto precedentemente.

Merita di essere considerato che, come ovvio, ad ognuno di questi servizi erogabili alla rete corrisponde una valorizzazione economica commisurata al danno evitato o alla più efficiente spacciabilità di energia sulla rete. E’ evidente ad esempio come tramite azioni di peak shaving è possibile ottenere una minore oscillazione

dei prezzi orari ed, in generale una diminuzione dei prezzi riducendo i costi di congestione. Non è ovvio invece l'effetto di queste azioni sul consumo energetico complessivo. Le azioni di peak shaving determinano infatti un aumento di energia complessivamente erogata alle utenze (dovendo includere un rendimento certamente non unitario in dare /avere dei sistemi di accumulo utilizzati). Questo effetto però è di norma più che bilanciato dal un maggiore utilizzo ottenibile per l'energia da fonte rinnovabile e dal migliore utilizzo di quella da fonte fossile: è infatti possibile favorire e massimizzare l'utilizzo di impianti ad alto rendimento ed alta capacità (come i cicli combinati di grande taglia, scarsamente adatti alla variazione del carico) ed evitare l'accensione di di altri impianti più flessibili ma meno efficienti (come ad esempio piccole centrali turbogas).

Oltre alla presenza di benefici derivanti da sistemi V2X devono anche essere prese in considerazione alcune criticità che potrebbero emergere. Un primo problema è l'inquinamento armonico che potrebbe derivare dall'immissione di energia elettrica dai veicoli alla rete tramite i convertitori a ciò preposti: alcuni prime analisi mostrano però che gli effetti distorsivi nel profilo della corrente di rete possono essere limitati al di sotto dell'1% con una corretta progettazione e gestione dei dispositivi<sup>9</sup>.

Altri inevitabili problemi sorgeranno sul fronte contrattuale nella gestione di un accumulo complessivamente potenzialmente molto vasto ma di dimensione continuamente variabile e di proprietà diffusa. La problematica è nota da tempo ed è anch'essa vista come una notevole opportunità di business per le aziende di distribuzione. Esistono ad esempio notevoli problematiche non del tutto risolte di interfaccia dinamica tra veicoli e rete di ricarica pubblica: in questo ambito si sta affermando sempre di più l'idea di avere protocollo di gestione e comunicazione standard in grado di gestire la clientela in maniera indipendente dal proprio gestore e con logiche di gestione delle infrastrutture e delle fatturazioni il più possibile dinamiche (smart billing e accordi di roaming). Notevoli problemi possono insorgere, come noto, anche in molti nodi della rete per la limitata capacità di transito della stessa in termini di bi-direzionalità locale. Tutte queste problematiche sono senz'altro una sfida da affrontare e parallelamente alla penetrazione della mobilità elettrica, ed all'infrastrutturazione della rete con sistemi di ricarica idonei all'implementazione di logiche V2X.

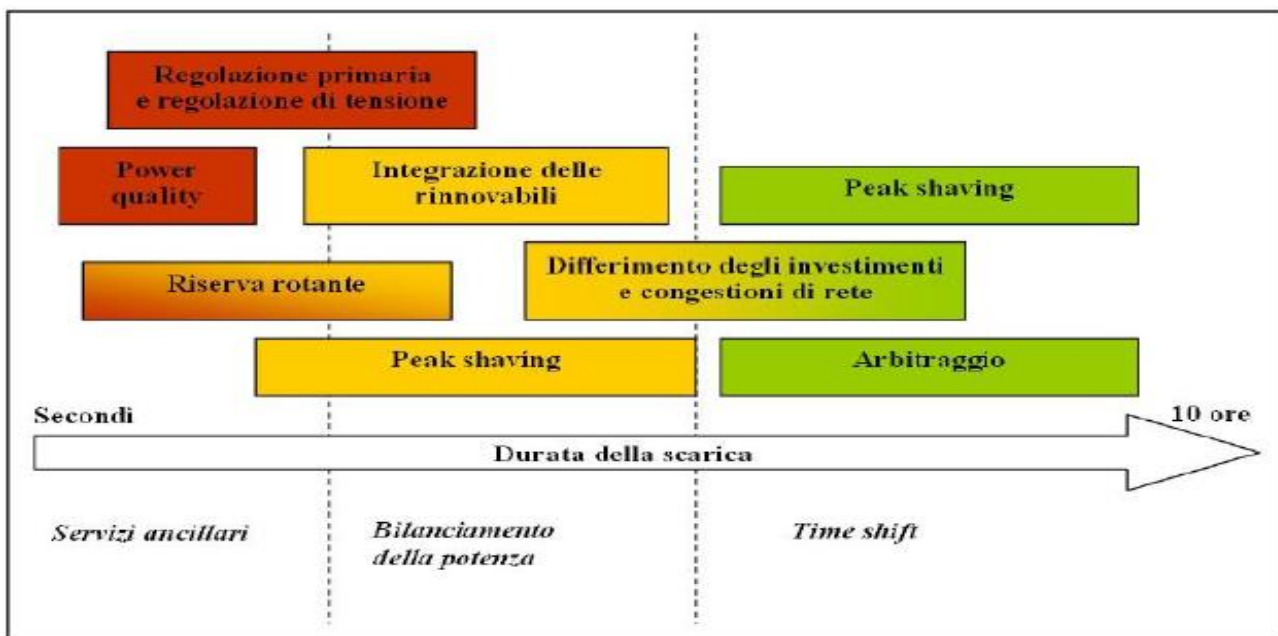


Figura 15. Servizi offerti alla rete

<sup>9</sup> R. Bass, R. Harley, F. Lambert, V. Rajasekaran and J. Pierce, "Residential harmonic loads and EV charging", 2001 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings



Molto più semplice, invece, è la gestione di sistemi di ricarica V2H, privati (in particolare quelli dedicati ad utenti residenziali) e dedicati all'interfaccia con veicoli noti ed in contesto contrattuale ben circostanziato. E' necessario sottolineare, ad ogni modo, che anche in questo ambito, in Italia come nel resto dei Paesi, è necessario una maggiore flessibilità contrattuale nei contratti di fornitura che ad oggi appaiono troppo standardizzati (pur per giuste esigenze legate alla tutela dei consumatori), in termini ad esempio, di variabilità del prezzo dell'energia per fasce orarie per poter cogliere pienamente le opportunità offerte da sistemi di dialogo veicolo-rete.

### 1.5 Tipologie di sistemi V2X

E' ora il caso di introdurre brevemente le diverse possibilità tecniche e commerciali che sono alle porte in termini di interfacciamento tra veicoli e rete elettrica nazionale, intesa come unione di reti di distribuzione trasmissione). In particolare, come già parzialmente introdotto, con la sigla V2X si intende Vehicle-to-Everything ossia quella categoria di sistemi che comprende tutti i possibili casi di bidirezionalità tra veicolo ed un secondo elemento.

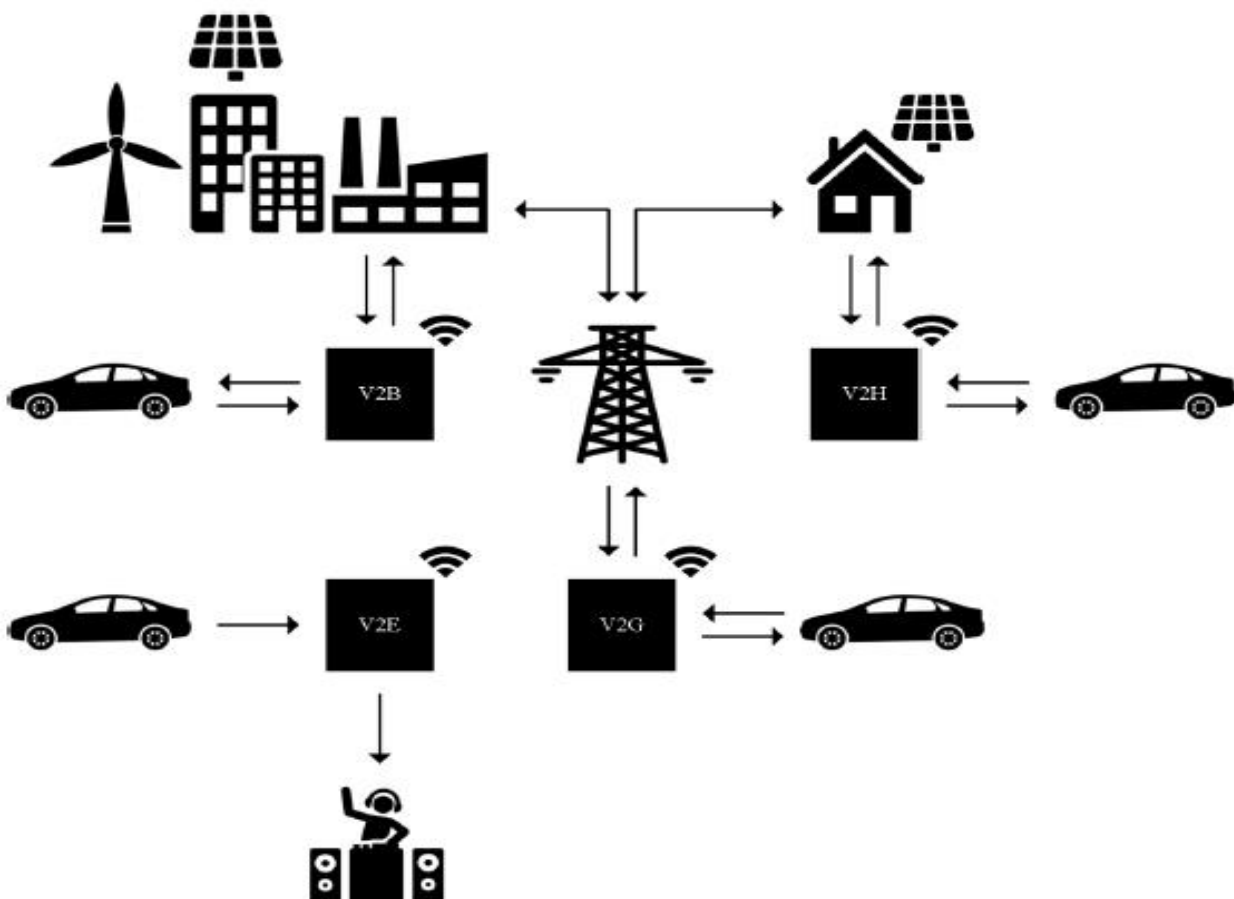


Figura 16. Diversi tipologie di interfacciamento veicolo-rete<sup>10</sup>

<sup>10</sup> "Developing a business model for bidirectional smart charging how legitimization tactics can serve as input for business model design choices", Willemsse, E.I.D.J., Eindhoven University of Technology

Con la sigla V2G (Vehicle-to-Grid) si intendono invece di norma tutti quei sistemi che prevedono in maniera piena e diretta l'interfacciamento tra il veicolo e la rete elettrica (distribuzione e trasmissione). I sistemi V2G, in particolare, possono erogare servizi sia alla rete nazionale che alle utenze private tramite i distributori locali: di conseguenza ne beneficiano sia il TSO (Transmission System Operator) che il DSO (Distribution System Operator).

A livello di rete nazionale, ad esempio, possono essere erogati servizi di Peak Shaving, mentre a livello locale possono essere risolti problemi di congestione della rete.

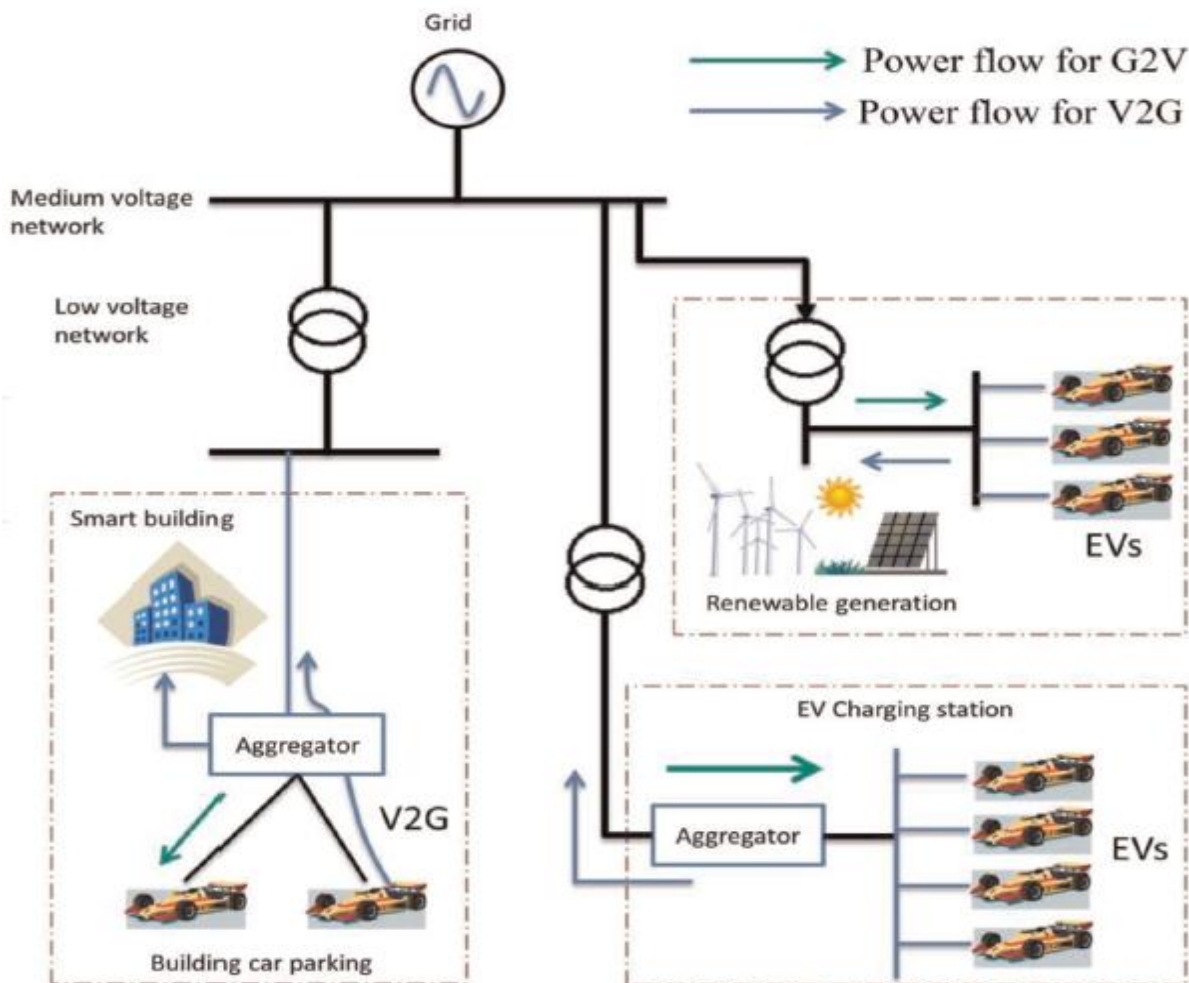
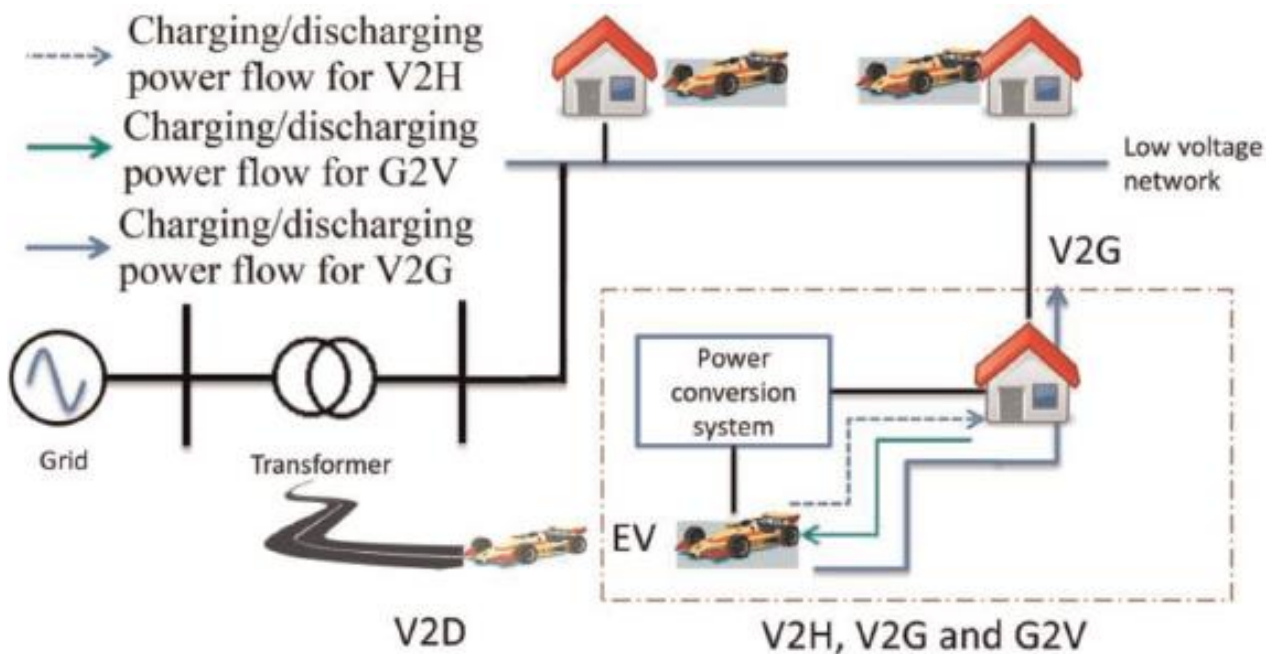


Figura 17. Schema interfaccia veicolo-rete<sup>11</sup>

Se invece si limita l'attenzione alle connessioni alla rete tramite singole utenze private si è nel cosiddetto ambito V2H (Vehicle-to-Home), in questo caso la stazione di ricarica è privata e collegata direttamente alla rete elettrica domestica. Il veicolo viene collegato tramite un convertitore bidirezionale che permette l'alimentazione dell'abitazione con corrente alternata alla tensione e frequenza della rete nazionale. Ovviamente in questo caso non si tratta di un collegamento con più veicoli potenzialmente dalle caratteristiche incognite e con un gestore energetico da definirsi, ma con uno o più veicoli noti e con una contrattualistica predefinita per l'erogazione di energia e servizi locali e di rete. La dimensione del sistema di

<sup>11</sup> "The Strategies of EV Charge/Discharge Management in Smart Grid Vehicle-to-Everything (V2X) Communication Networks", Ujjwal Datta, Juan Shi, Akhtar Kalam

accumulo disponibile è anch'essa nota, ma i margini di azione sullo stesso dipendono dallo stato di carica residuo e dalle necessità previste alla disconnessione dello stesso.



**Figura 18. Schema interfaccia veicolo-abitazione<sup>12</sup>**

In generale, da sistemi V2H sono attivabili tre possibili flussi di potenza, uno nel quale il veicolo alimenta le utenze (più propriamente V2H), uno in cui trasferisce potenza alla rete (V2G) ed uno che rappresenta la ricarica del veicolo dalla rete (G2V). L'obiettivo principale dei due flussi lato rete in questo caso non è prioritariamente quello di fornire stabilità della rete (come per sistemi V2G), ma è quello di avere un accumulo sempre disponibile in caso di blackout della rete e di poter fornire energia alle utenze nelle ore in cui il costo dell'elettricità è più alto per avere quindi un beneficio economico.

Dal punto di vista dell'utilizzabilità della vettura come unità di backup si tenga ad esempio presente che un normale sistema di accumulo veicolare (a piena carica) è di norma in grado di alimentare utenze domestiche per più di 24 ore. Basandosi sulle stime dell'E Mobility Report 2018, si può infatti facilmente valutare per una comune auto privata un tasso di utilizzo molto ridotto (pari a circa il 5%). E' però più difficile valutare, a seconda delle tipologie di utenza, la percentuale di tempo per la quale il veicolo si può immaginare resti in parcheggio presso la propria abitazione (probabilmente solo nelle prime ore mattutine ed in quelle serali e notturne), piuttosto che in parcheggi aziendali e/o commerciali (in fasce orarie di maggiore appetibilità dal punto di vista della producibilità da fotovoltaico).

A questo proposito, si può in effetti immaginare dispositivi in molti sensi intermedi tra quelli V2G e quelli V2H, i cosiddetti sistemi di connessione V2B (Vehicle-to-Building). Questi implementano il collegamento tra le auto situate in un parcheggio aziendale con l'edificio e le rete locale a rete dell'azienda stessa.

<sup>12</sup> "The Strategies of EV Charge/Discharge Management in Smart Grid Vehicle-to-Everything (V2X) Communication Networks", Ujjwal Datta, Juan Shi, Akhtar Kalam

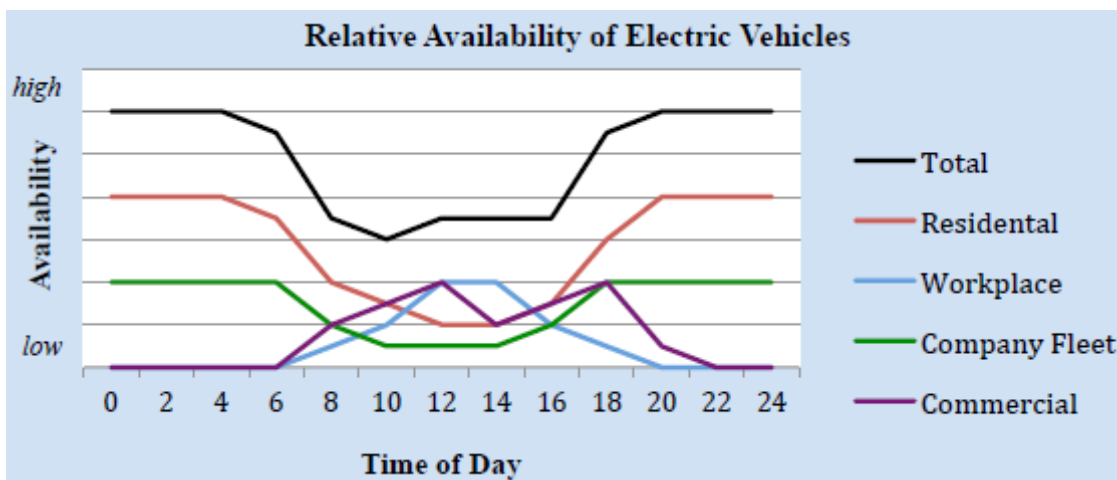


Figura 19. Disponibilità oraria veicoli presso le abitazioni<sup>13</sup>

Un sistema di tal genere implementa sicuramente dei flussi energetici da e per la Rete locale ed esterna, ma rende probabilmente necessario anche un sistema di comunicazione e travaso energetico tra veicoli in modo tale che ogni veicolo possa rendersi disponibile allo stato di carica desiderato dall'utente al momento previsto del prelievo limitando le richieste di potenza lato rete e le necessità infrastrutturali della stazione di ricarica<sup>14</sup>.

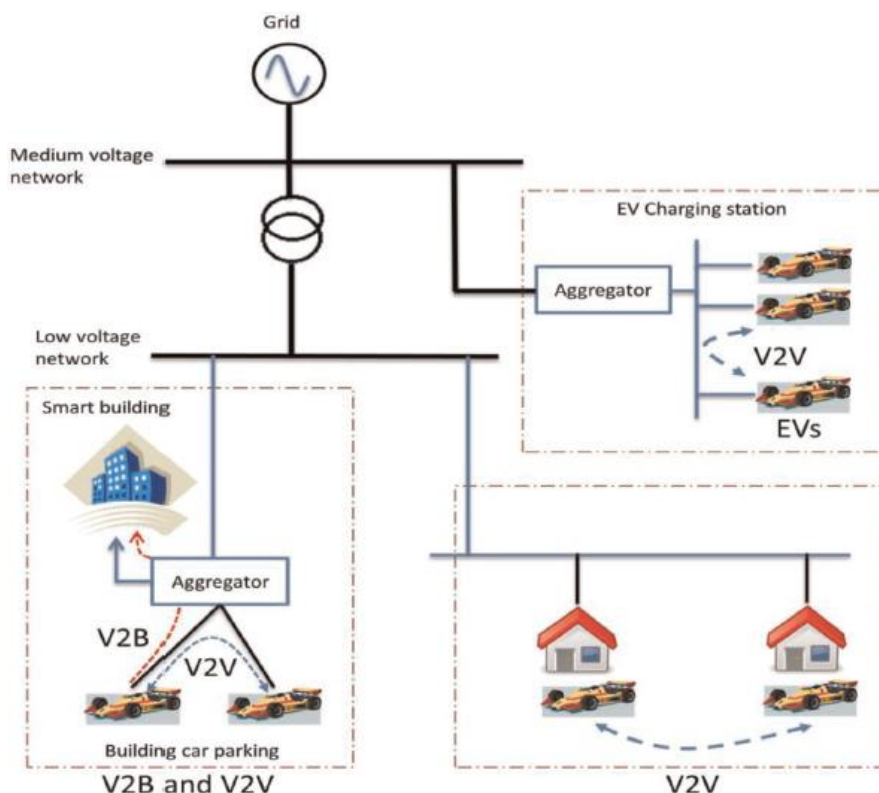


Figura 20. Schema interfaccia veicolo-edificio

<sup>13</sup> "Vehicle-to-Grid Business Model –Entering the Swiss Energy Market", Alexander Kaufmann, Supervisor: Prof. Dr. Moritz Look

<sup>14</sup> "Developing a business model for bidirectional smart charging how legitimization tactics can serve as input for business model design choices", Willemse, E.I.D.J., Eindhoven University of Technology

Per lo sviluppo di tutti i sistemi appena introdotti sono comunque necessarie i seguenti elementi:

- connessione di potenza opportunamente dimensionate tenendo conto non solo della ricarica da effettuarsi ma anche dei servizi da erogare;
- controlli e interfacce logiche, che permettano al gestore della rete di determinare la capacità disponibile delle batterie, di monitorare la potenza in uscita dal veicolo e garantire la presenza di servizi ausiliari;
- adeguata e certificata strumentazione di misura dei flussi di energia bidirezionali.

Questi elementi non rientrano automaticamente tra quelli presenti in una colonnina di ricarica convenzionale, ma richiedono una maggiore intelligenza di sistema, configurando un componente della smart grid. Una generica rete elettrica deve infatti poter assolvere a quattro compiti: generazione dell'elettricità, trasmissione, distribuzione e controllo. Mentre le reti elettriche tradizionali sono usate per trasferire energia da poche centrali ad un gran numero di utenti, la smart grid utilizza la piena bidirezionalità dell'energia per creare una rete intelligente ed avanzata. A tal fine è però necessaria dal punto di vista pratico anche una piena misurabilità e fatturabilità (smart metering e smart billing) dei flussi ogni volta che si oltrepassi una rete locale definita da un unico contratto di utenza.

| <b>Existing Grid</b>   | <b>Smart Grid</b>      |
|------------------------|------------------------|
| Electromechanical      | Digital                |
| One-way communication  | Two-way communication  |
| Centralized generation | Distributed generation |
| Few sensors            | Sensors throughout     |
| Manual monitoring      | Self-monitoring        |
| Manual restoration     | Self-healing           |
| Failures and blackouts | Adaptive and islanding |
| Limited control        | Pervasive control      |
| Few customer choices   | Many customer choices  |

**Figura 21. Tabella comparativa reti**

La smart grid dovrà poter gestire le problematiche connesse alla generazione che in futuro sarà sempre più distribuita ed associata a fonti rinnovabili non prevedibili. Lo schema di massima delle future Smart Grid si basa sulla suddivisione della rete in micro-reti locali tra di loro interagenti (microgrids). La microrete è un gruppo localizzato di generatori e carichi che può distaccarsi dalla rete elettrica principale ed è governata da un "cervello" centrale che gestisce i flussi di potenza. Tuttavia, la creazione di queste microgrids integrata con rinnovabili presenta varie criticità.

La prima è dovuta alle fluttuazioni della potenza generata dalle rinnovabili ed alla loro imprevedibilità. In questo contesto sicuramente giocano un grande ruolo le batterie dei veicoli elettrici secondo le modalità più volte descritte. In secondo luogo, vi è un problema di costi dato che una unità di energia elettrica prodotta da rinnovabili è attualmente più costosa di una prodotta da impianti termici tradizionali. Infine, vi è un problema di complessità dovuto alla imprevedibilità dell'energia producibile all'interno della microrete. A tal fine nasce il concetto di impianto di potenza virtuale (Virtual Power Plant VPP) che gestisce un largo gruppo di generatori distribuiti tramite un controllore centrale, tale sistema risulta essere più efficiente e flessibile, con la possibilità di reagire meglio a fluttuazioni della rete.

Dal punto di vista della trasmissione la smart grid è invece composta da tre elementi: centri di controllo (smart control system), nuove linee di trasmissione della potenza (smart power transmission networks) e delle stazioni intermedie (smart substations). I centri di controllo sono atti a visualizzare, analizzare e monitorare la potenza trasmessa, le linee di trasmissione sono della stessa tipologia di quelle già esistenti, ma con una maggior complessità dal punto di vista dei sensori presenti e della sicurezza, così per quanto riguarda le stazioni intermedie queste saranno digitalizzate e più avanzate dal punto di vista del controllo istantaneo.

In questo contesto, l’impatto della mobilità elettrica su un sistema interconnesso di microgrids può generare un aumento di carico richiesto che può non essere supportato dal sistema. Nasce quindi la necessità di elaborare una strategia di ricarica che permetta di limitare l’aumento di carico di picco della microrete coordinando la ricarica dei vari veicoli presenti, evitando di farlo nello stesso momento se non nei momenti di bassa richiesta (valley filling)<sup>15</sup>.

Volendo sintetizzare in maniera estrema le caratteristiche dei sistemi V2H V2B e V2G riportiamo qui anche alcuni risultati di una attività di concettualizzazione del settore effettuato da alcuni ricercatori spagnoli<sup>16</sup>.

|                        | V2H  | V2B   | V2G  |
|------------------------|--|---|--|
| <b>Characteristics</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Operation at home level</li> <li>Normally one PEV</li> <li>Reduce electricity bills</li> <li>Provide backup power</li> <li>Easy implementation</li> <li>Provide energy in isolated houses</li> <li>Interaction with larger systems</li> <li>Integration of local DER</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Operation at building level</li> <li>Ideal for little fleets</li> <li>Improve local DER integration</li> <li>Reduce electricity bills</li> <li>Provide backup power</li> <li>Easier PEV demand prediction (fleets)</li> <li>Less investments needed</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Operation at large scale</li> <li>Supply ancillary services</li> <li>Reactive power support</li> <li>Improve grid reliability</li> <li>An aggregator is needed</li> <li>New business models</li> <li>Electricity market participation</li> <li>Large scale RES integration</li> </ul> |
| <b>Drawbacks</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Not adequate to residential blocks, only for single family homes.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>User willingness required</li> <li>Quite complex operation</li> <li>Poor market integration</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Complex operation</li> <li>Complex prediction of PEV demand</li> <li>Large number of PEVs involved</li> <li>Communication infrastructure required</li> <li>User willingness required</li> <li>Lack of regulation framework</li> <li>More industry standards needed</li> </ul>         |
| <b>Pilot Projects</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Leaf to Home</li> <li>Toyota Smart Homes</li> <li>Honda Smart Home</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Nissan Leaf to Building</li> <li>CGI Project: National V2G school bus demonstration</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>SMARTV2G</li> <li>eV2G Project</li> <li>CGI Project: National V2G school bus demonstration</li> <li>Grid-on-wheels</li> <li>The Nikola Project</li> </ul>   |

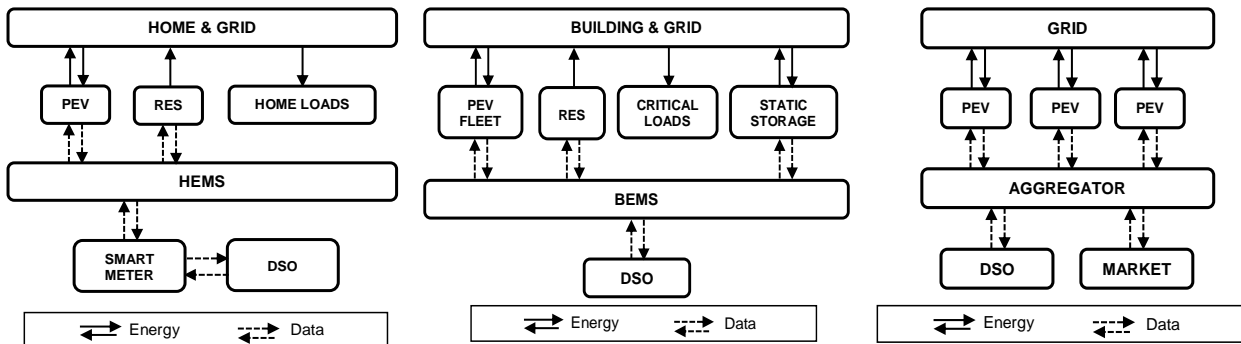


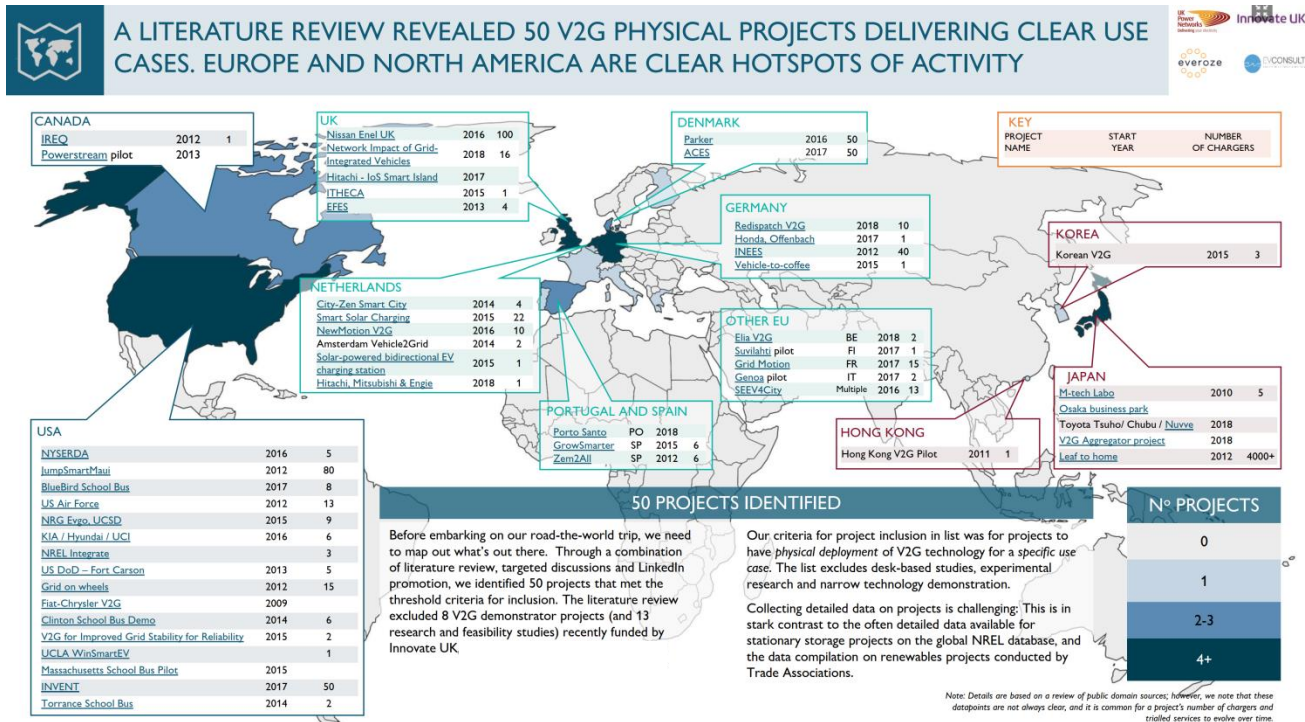
Figura 22. Comparazione sistemi V2H, V2B e V2G

<sup>15</sup> “Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey”, Xi Fang, Satyajayant Misra, Guoliang Xue and Dejun Yang

<sup>16</sup> “Delivering energy from PEV Batteries: V2G, V2B and V2H approaches”, J.Garcia, I.Zamora, J.I. San Martin, I. Junquera, P. Eguia – ICREPQ15, Spain 2015

## 2 Principali progetti di sviluppo in corso

Un progetto di ricerca recentemente commissionato alla Everoze UK Consult dalla Rete di trasmissione della Gran Bretagna ha censito per il 2018 i 50 principali progetti di ricerca su scala mondiale nell'ambito V2G. Di questi la metà sono in Europa, 18 negli Stati Uniti e 7 in Asia.



| SERVICE          | # OF PROJECTS GLOBALLY | SERVICE READINESS LEVEL |              |           |                              |                            |                           |
|------------------|------------------------|-------------------------|--------------|-----------|------------------------------|----------------------------|---------------------------|
|                  |                        | 1. RESEARCHED           | 2. TESTING   | 3. PROVEN | 4. COMMERCIAL ANYWHERE       | 5. COMMERCIAL (SIMILAR UK) | 6. COMMERCIAL COMPETITION |
| ARBITRAGE        | 4                      | FRANCE, DENMARK         | NL           |           |                              |                            |                           |
| RESERVE          | 2                      | FRANCE                  |              |           |                              |                            |                           |
| FREQ RESP.       | 16                     | FRANCE                  | NL           | USA       |                              | DENMARK                    | Expected in UK shortly    |
| DSO SERVICES     | 10                     | DENMARK                 | UK, NL, (DE) | US        | Expected in US 18/19         |                            |                           |
| TIME SHIFTING*** | 23                     |                         | KOREA        | USA, UK   | JAPAN (Expected in US 18/19) |                            | Expected in UK shortly    |

\*\*\*For energy users

### 10 LANDMARK PROJECTS ARE ESPECIALLY INTERESTING

- Denmark, 2016 "Parker" World's first fully commercial vehicle-to-grid hub: Nuvve
- Germany, 2018 "Re-dispatch" Unique redispatch approach: TenneT
- Netherlands, 2014 "City-zen Smart City", Innovative DSO services trial: Allander
- Netherlands, 2014 "Smart Solar Charging" Distinctive AC approach: LomboXnet
- France, 2017, "Grid Motion" Delivering cutting-edge customer insights: Groupe PSA
- Korea, 2014 "Korean V2G" Preparing Korea for EV roll out: KEPCO, Hyundai
- Japan, 2012 "M-tech Labo" Pioneering vehicle-to-building model: Mitsubishi Motors Corp.
- US, 2012 "JUMPSmart MAUI", V2G via V2H with 80 chargers on island of Maui: Hitachi
- US, 2017 "INVENT" 50 chargers with innovative EMS: Nuvve and UC San Diego
- UK, 2018 "Network impact" DNO-led study of V2G network impact: Northern Powergrid

**Figura 23. Principali progetti di ricerca in ambito V2G nel mondo<sup>17</sup>**

Il National Renewable Energy Laboratory (NREL) del Dipartimento dell'Energia statunitense (DOE), ad esempio ha effettuato vari studi sul V2G nel progetto INTEGRATE (Integrated Network Testbed for Energy Grid Research and Technology Experimentation) che mirano ad integrare la rete elettrica con il sempre in aumento contributo delle rinnovabili.

<sup>17</sup> "V2G GLOBAL ROADTRIP: AROUND THE WORLD IN 50 PROJECTS", An Everoze & EVConsult report jointly commissioned by UK Power Networks and Innovate UK

Il progetto è stato testato proprio sul campus del NREL utilizzando 36 veicoli elettrici ed un impianto fotovoltaico di 1.2 MW di potenza. La strategia di carica viene gestita da un software sviluppato da NREL che integra i bisogni del guidatore con il carico richiesto dal campus, basandosi sui dati raccolti dal veicolo elettrico il software stima quindi l'ammontare di energia necessaria al veicolo per percorrere il suo percorso abituale e mette a punto una strategia di ricarica basata sui dati di carico richiesti in tempo reale dal campus e sulla potenza oraria disponibile dall'impianto fotovoltaico.

Il team ha poi testato il V2G utilizzando una BMW Mini E ed uno scuolabus con le corrispondenti stazioni di ricarica, sono stati quindi sviluppati sistema di controllo del SOC ed un aggregatore che permettessero di controllare i flussi di potenza in modo da consentire ai veicoli di fornire servizi alla rete integrata con fonti rinnovabili.

Il progetto INTEGRATE ha visto poi la messa a punto di una simulazione per valutare i potenziali vantaggi sulla rete derivanti dall'utilizzo del software per la strategia di ricarica ipotizzando 3 milioni di veicoli elettrici. I benefici attesi sono di 310 milioni di dollari di risparmio, una diminuzione del costo dell'energia stimato fra l'1% ed il 3%, una riduzione del carico di picco dell'1,5%, una riduzione delle emissioni di anidride carbonica fra l'1% ed il 4% ed infine una riduzione del curtailment (mancata immissione in un'utenza di energia) dell'energia derivante da rinnovabili del 25% perché appunto l'energia che non può essere usata per motivi tecnici viene stoccata nelle batterie<sup>18</sup>.

In Europa sono varie le nazioni attive su questo tema: la Spagna ad esempio ha avviato il progetto Zem2All con un budget di 60 milioni di euro. Nella città di Malaga sono state installate 29 stazioni di ricarica che supportano il protocollo CHAdeMO, in seguito tramite l'utilizzo di 160 Mitsubishi iMIEV e 40 Nissan Leaf verranno raccolti dati sul loro utilizzo in modo da poter sviluppare una strategia di controllo che possa interfacciarle con la rete. Infatti, i veicoli potranno stoccare l'energia intermittente proveniente dalle rinnovabili per poterla poi rilasciarla nei momenti di picco di richiesta come già visto. Questo si presenta essere come il più grande progetto pilota sul V2G della durata di 4 anni che ha come obiettivo quello di dimostrare di poter ridurre le emissioni di CO2 attraverso l'ingresso nel parco auto mondiale di veicoli elettrici<sup>19</sup>.

Un altro interessante progetto europeo è AirQon (Air Quality through EV Battery Connectivity) da attuare nella città di Breda nei Paesi Bassi che è solita ospitare eventi. Il problema risulta dunque essere legato alla fornitura energetica di questi festival che viene attuata da generatori a gasolio, una diretta conseguenza è il peggioramento della qualità dell'aria con utilizzo annuo di gasolio stimato intorno ai 180000 litri e con una conseguente immissione nell'aria di 0,6 tonnellate di PM10 e 4,7 tonnellate di Nox. La soluzione ideata è quella di fornire energia ai diversi festival tramite le vetture elettriche dei partecipanti che quando verranno parcheggiate in un'apposita zona forniranno energia, in cambio di questo servizio i visitatori potranno entrare gratuitamente all'evento o magari avere delle consumazioni gratuite. Questo risulta essere un chiaro esempio di V2E che entro l'anno 2022 se il 50% degli eventi funzionasse secondo le nuove modalità permetterebbe di ottenere i seguenti benefici: 105 MWh di energia disponibile da fornire, 80000 litri di gasolio risparmiati evitando l'immissione in aria di 0,5 tonnellate di PM10, 10000 tonnellate di CO2 e 3,8 tonnellate di NOx<sup>20</sup>.

Anche l'Italia è attiva in ambito progettuale, in particolare nell'ambito V2H, con il progetto Vehicle to Home – L'auto elettrica come vettore di energia nella smart grid urbana del Programma Operativo Regionale (POR) del Veneto che, finanziato dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR), ha concluso un progetto che ha visto la realizzazione di una smart grid urbana.

---

<sup>18</sup> [www.nrel.gov/news/program/2017/connecting-electric-vehicles-to-the-grid-for-greater-infrastructure-resilience.html](http://www.nrel.gov/news/program/2017/connecting-electric-vehicles-to-the-grid-for-greater-infrastructure-resilience.html)

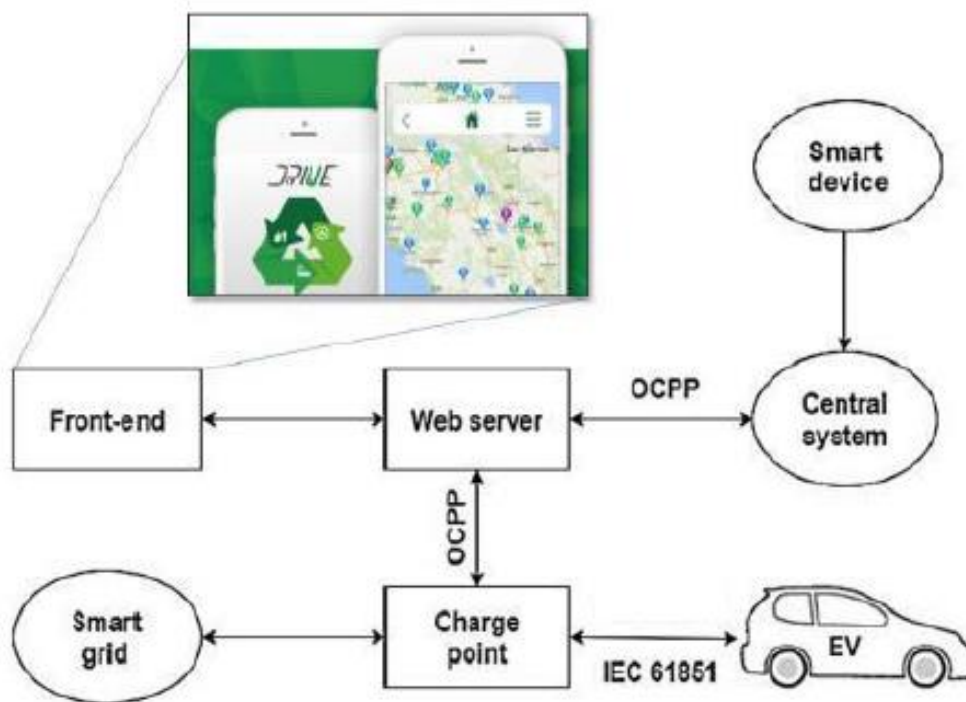
<sup>19</sup> [www.chademo.com/smart-city-project-in-malaga-with-29-chademo-chargers-inaugurated-by-spanish-crown-prince-felipe/](http://www.chademo.com/smart-city-project-in-malaga-with-29-chademo-chargers-inaugurated-by-spanish-crown-prince-felipe/)

<sup>20</sup> <https://www.uia-initiative.eu/en/uia-cities/breda>



L'intero sistema V2H viene gestito da un'applicazione (V2HApp) che registra i flussi di energia nel prototipo situato nel Green Energy Park di Padova, con quest'app il cittadino può decidere quando collegare il veicolo e ricaricarlo o scaricarlo<sup>21</sup>.

Il progetto mira a sperimentare l'implementazione di una smart grid urbana, il tutto gestito dall'utente tramite l'applicazione, ovviamente i vantaggi sono tutti quelli che sono stati descritti finora fra i quali la possibilità di erogare servizi alla rete e di avere un accumulo energetico per alimentare le utenze domestiche durante le ore di maggior costo dell'energia o durante dei guasti della linea elettrica principale.



**Figura 24. Schema del collegamento auto-smart grid<sup>22</sup>**

Il processo di carica avviene mediante una opportuna comunicazione tra il veicolo elettrico e il fornitore del servizio, attraverso fasi codificate per l'autorizzazione:

Quando un EV sceglie un servizio da un EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment), viene inviata una richiesta di autorizzazione che contiene informazioni sulla sicurezza e sullo stato della batteria del veicolo (es. Modo 3 di comunicazione). In risposta dall'EVSE si ha la conferma o meno dell'autorizzazione. I punti di accesso per la comunicazione con un determinato elemento della rete sono offerti dai server. A ogni server sono associati dei parametri definiti, come un indirizzo IP e un numero di porta. All'interno dei server sono presenti dei dispositivi logici che permettono di monitorare la rete o parte di essa; questi dispositivi sono formati a loro volta da nodi logici che valutano lo stato della rete utilizzando quattro parametri:

<sup>21</sup> Vehicle to home (V2H) – L'auto elettrica come vettore di energia nella smart grid urbana POR Regione Veneto

<sup>22</sup> Vehicle to home (V2H) – L'auto elettrica come vettore di energia nella smart grid urbana POR (programma operativo regionale) Regione Veneto

- Status Information: informazioni, in sola lettura, che descrivono lo stato del veicolo e dell'utenza edificio
- Settings: valori di configurazione modificabili;
- Valori di Misura: risultati delle misurazioni, sono valori di lettura;
- Controllo: offre la possibilità di effettuare operazioni di distacco sulle utenze; I veicoli elettrici, con le loro batterie, possono essere considerati come delle centrali elettriche virtuali. Attraverso questi dispositivi e tecniche di controllo è possibile monitorare lo stato di una centrale virtuale e dei carichi connessi, così da gestire la smart grid in maniera ottimale cercando di mantenere il bilancio energetico.

### 3 Sistemi V2H commerciali attualmente disponibili

In merito alle applicazioni V2H esistono inoltre alcune prime proposte commerciali, principale ad opera di case automobilistiche Asiatiche. Le prime a muoversi in questa direzione, già da diversi anni, sono state Nissan e Toyota.

La Nissan, in particolare, è attiva con il suo progetto “Leaf to Home” già dal 2012. In questo caso il veicolo possiede una batteria da 40 kWh, 60kWh per la Leaf E+, che può essere collegata alla rete domestica. Si stima che nel 2017 fossero già 4000 le abitazioni in Giappone interfacciate con i propri veicoli elettrici.

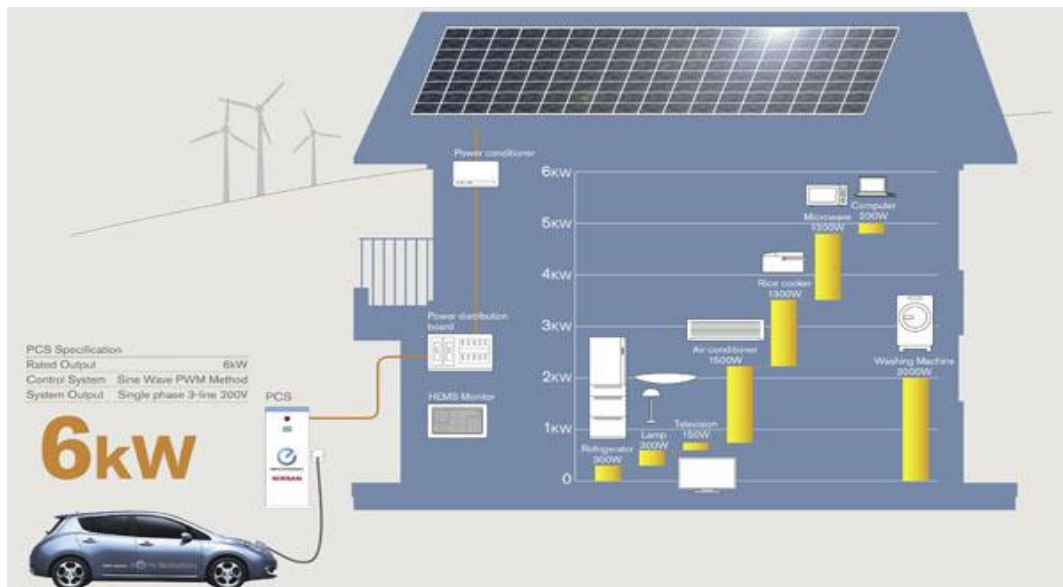


Figura 25. Interfaccia Leaf to Home<sup>23</sup>

Il collegamento tra veicolo e abitazione tramite un PCS (power control system) o Leaf to Home Unit, quest'ultimo permette la bidirezionalità dell'energia elettrica fino ad una potenza di 6 kW, utilizzando il protocollo CHAdeMO. Tramite un display sul PCS (fornito dalla OVO Energy) viene mostrato lo stato di carica della batteria del veicolo e la potenza fornita.

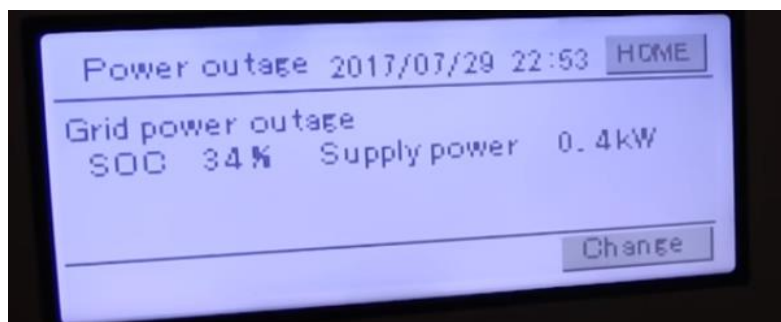


Figura 26. Particolare del PCS

<sup>23</sup> [https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/vehicle\\_to\\_home.html](https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/vehicle_to_home.html)

Con il modello di Nissan Leaf del 2012, equipaggiato con una batteria di capacità 24 kWh, si possono teoricamente alimentare i consumi di una abitazione media per circa 48 ore.

Il sistema può essere gestito anche in maniera remota tramite una app chiamata Kaluza che permette di impostare il SOC desiderato per un'ora del giorno e regolare la potenza massima di ricarica. Il sistema è preimpostato per poter fornire in maniera attiva energia alla rete tra le 16:00 e le 19:00.

# Specifications

- Power Output:** 6kW on charge and export
- Weight:** 27kg
- Dimensions:** 520 x 230 x 690mm
- Charging Cable:** 5m Waterproof CHAdeMO cable
- Installation:** Outdoor, wall mounted
- Compatible with:** Nissan electric vehicles with a battery capacity of 30kWh or more




Figure 27. Specifiche tecniche caricatore<sup>24</sup>

Come detto, Altra azienda che ha sperimentato in questo campo è stata la Toyota col suo progetto Toyota City Project. Infatti, alla fine del 2012 sono state utilizzate delle Toyota Prius ibride plug-in interfacciate con le unità abitative. I veicoli avevano a bordo un inverter AC100V (in Giappone la tensione di rete è pari a 100V) in grado di fornire energia elettrica alla rete domestica. I flussi energetici sono regolati da un HEMS (home energy management system).

Altra casa automobilistica ultimamente molto attiva non solo in Giappone è la Mitsubishi. Essa ha infatti rilasciato sul mercato già alcuni modelli di auto interfacciabili con la rete domestica. Questo è il caso ad esempio della Outlander PHEV (plug-in hybrid electric vehicle), si tratta sostanzialmente di un veicolo ibrido, quindi con la presenza di un motore termico ed uno elettrico.

La Mitsubishi ha messo in commercio il sistema “Dendo Drive House” che comprende un impianto fotovoltaico, un caricatore bidirezionale (es. MiEV power box), un accumulatore domestico ed il veicolo stesso; dato che la produzione di energia dell'impianto non coincide temporalmente con il picco di domanda della rete, l'idea è quella di immagazzinare l'energia proveniente dall'impianto nell'accumulatore o nella batteria del veicolo per poi alimentare l'abitazione.

<sup>24</sup> <https://www.ovoenergy.com/electric-cars/vehicle-to-grid-charger>

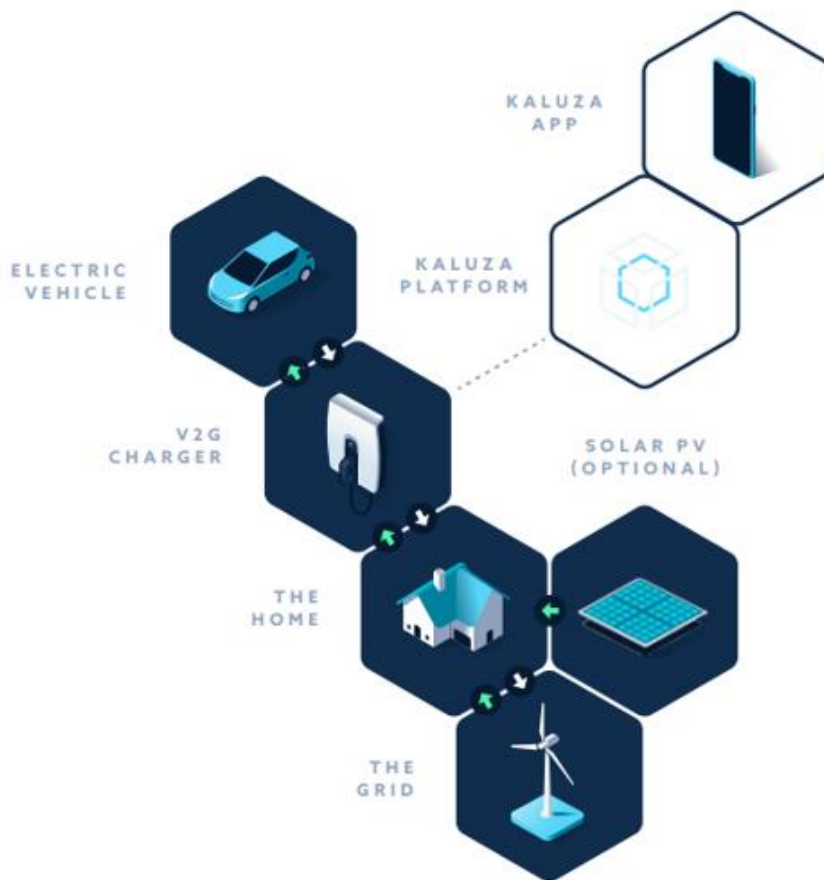


Figure 28. Schema di funzionamento PCS con l'app<sup>25</sup>

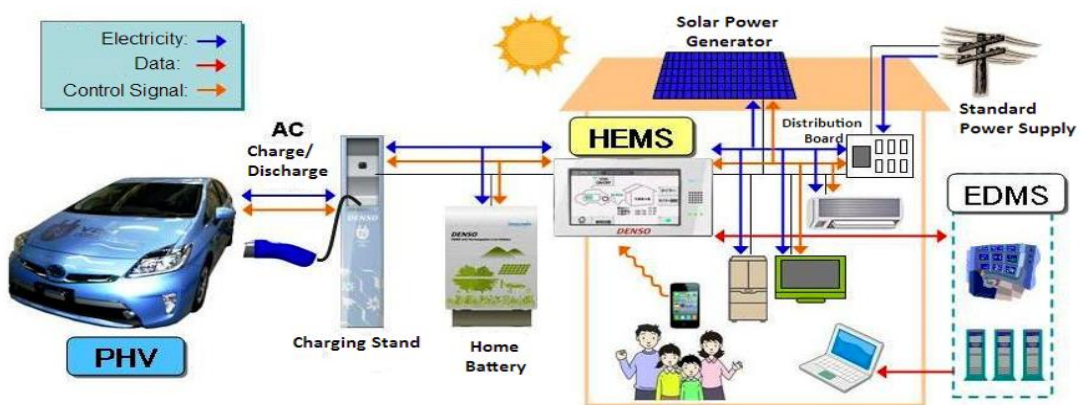


Figura 29. Toyota City Project<sup>26</sup>

<sup>25</sup> [https://prod-etp-static-content.s3-eu-west-1.amazonaws.com/documents/OVO\\_Vehicle\\_to\\_Grid\\_User\\_Guide.pdf](https://prod-etp-static-content.s3-eu-west-1.amazonaws.com/documents/OVO_Vehicle_to_Grid_User_Guide.pdf)

<sup>26</sup> <http://www2.toyota.co.jp/en/news/12/06/0604.html>



## THE SOLUTION | DENDO DRIVE HOUSE

**All-in-one package**

Equipped with everything customer needs to generate, store and share.



**All-in-one Package Solution**

All devices and associated services as a package customized for each users



**One Stop Service**

Find the solution in a single place  
At your Mitsubishi Motors dealers



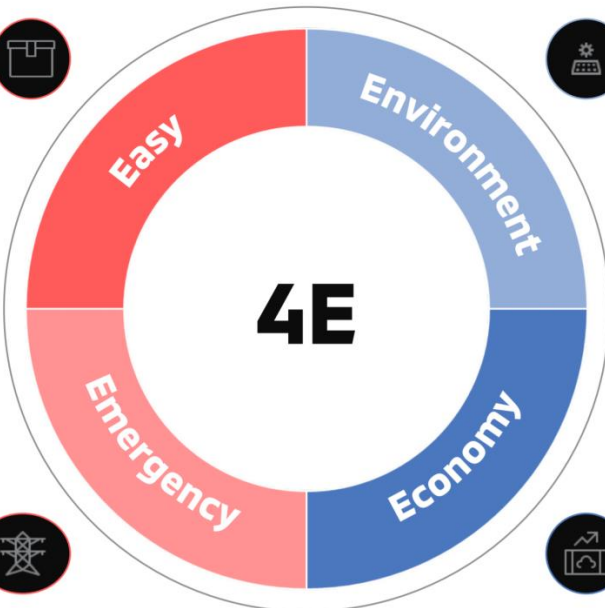
**Backup Energy**

No stress in case of power outages.  
Utilize storage electricity to power your home up to xx days



**(TBD) Independency**

Be more independency from the grid



**Renewable Energy**

Produce your own electricity with solar panels and cut your CO2 emission up to xx%



**Energy Efficiency**

Produce and Storage Electricity and maximize Your consumption efficiency



**Cost Savings**

Produce your own electricity and saving both electricity and fuel bills



**Return on Investment**

Get your investment return for all devices and services with accessible plans

**Investments**



**0**  
No initial cost for devices and installation and services



**10yrs**  
Leasing agreement throughout the charger life cycle



**15%**  
Exclusive Electricity plan with a discount up to 15%

**Bill Savings**

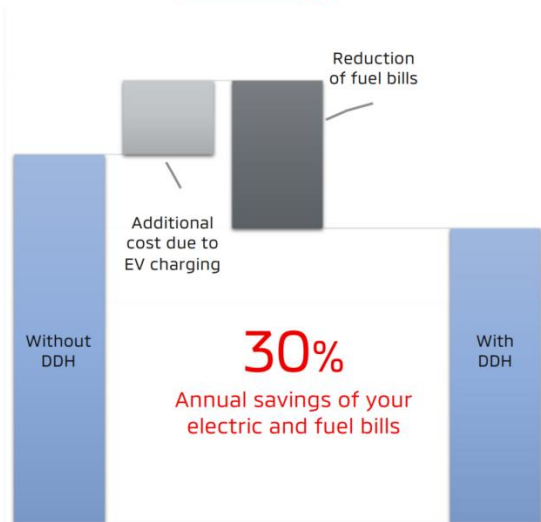


Figura 30. Dendo Drive House<sup>27</sup>

<sup>27</sup> <https://www.mitsubishi-motors.com/en/innovation/motorshow/2019/gms2019/dendo/>  
[https://www.mitsubishi-motors.com/publish/pressrelease\\_en/corporate/2014/news/detail0954.html](https://www.mitsubishi-motors.com/publish/pressrelease_en/corporate/2014/news/detail0954.html)

Il veicolo vanta una batteria con 13,8 kWh di capacità che fornisce una potenza di 1,5 kW tramite un'apposita presa Shuko presente nel bagagliaio e dietro la console centrale. In questo caso si sottolinea come non ci sia bisogno di una power box, ma l'elettronica di potenza, integrata nel veicolo stesso, permette la bidirezionalità della corrente.

Secondo i consumi medi di un'abitazione, la batteria in questione permette l'alimentazione delle utenze domestiche per un giorno circa, inoltre, essendo un veicolo ibrido, i tempi di alimentazione dell'abitazione salgono a dieci giorni con serbatoio pieno, infatti il motore termico, funzionando da generatore, può ricaricare continuamente la batteria.

## 4 Possibili Strategie di controllo ottimo di sistemi V2H

I parametri di controllo in ingresso ai convertitori per applicazioni V2H possono variare in base ai servizi ausiliari offerti per l’abitazione o per la rete. I servizi energetici possono essere di controllo di variazioni di frequenza in crescita o diminuzione (under-frequency oppure over-frequency control) oppure di fornitura e drenaggio energia per livellamento di carico sulla rete (power-smoothing o peak.shaving). d ogni modo, lo stato di carica della batteria (SOC), opportunamente stimato dal relativo BMS (Battery Management System) è l'unico parametro che può definire in tempo reale la quantità di capacità energetica disponibile per servizi ausiliari indipendentemente dal tipo di servizio erogato.

Nei sistemi V2H il controllo avviene in genere utilizzando come feedback principalmente la potenza attiva assorbita dalla rete; nei sistemi V2B e V2G, invece, più spesso, i parametri di controllo sono estesi alla frequenza e tensione di rete, a seconda anche delle richieste dell’operatore locale di distribuzione.

### 4.1 Controllo dispositivi V2H con strategie Frequency-based

Nel caso di sistemi operati per la re regolazione della frequenza di rete, è cruciale poter modificare prontamente le condizioni di carico del sistema di accumulo veicolare in funzione dello scostamento rilevato tra la frequenza di rete e quella desiderata. Un comando di feedback in frequenza al controller del convertitore utilizzato, regola pertanto la potenza erogata per rispondere alle variazioni di frequenza, pur mantenendo il SOC del sistema di accumulo in un range predefinito dal proprietario. Questa strategia di controllo è particolarmente utile in connessione sulla rete locale di sistemi di generazione distribuita a fonte rinnovabile non prevedibile (tipicamente generatori fotovoltaici). Qu

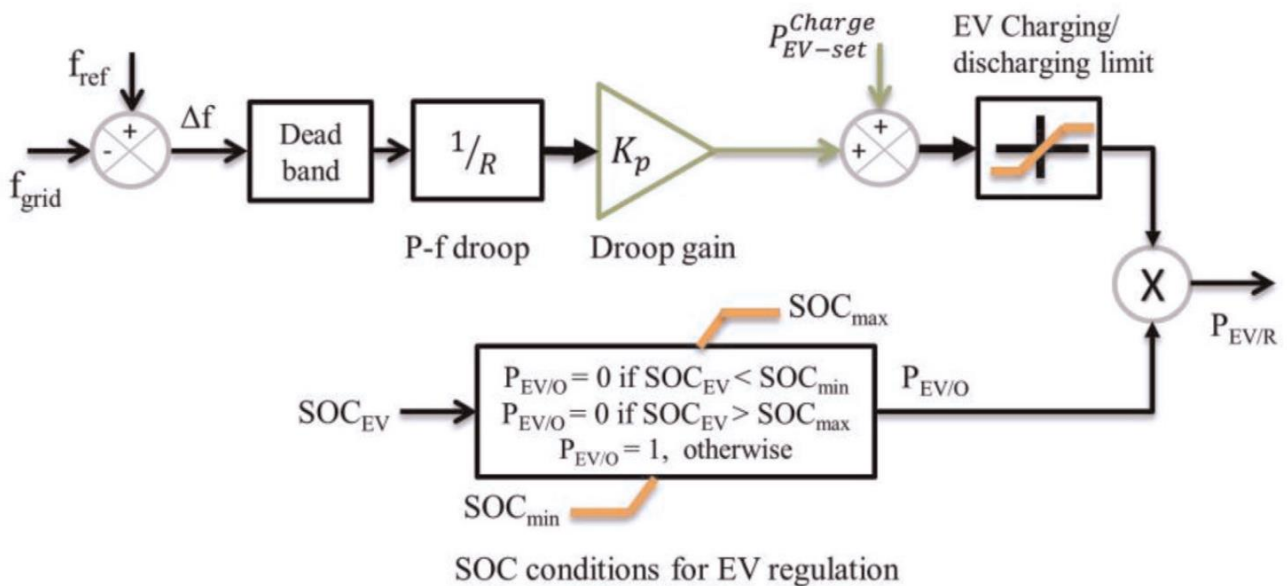


Figura 31. Controllo Frequency-based per applicativi V2H<sup>28</sup>

In Figura è rappresentato un tipico schema di controllo utilizzabile per questo tipo di applicazioni. Il guadagno frequenza-potenza “P-f droop” definisce la prontezza del sistema nell’intervento su variazioni di frequenza.

<sup>28</sup> <https://www.mitsubishi-motors.com/en/innovation/motorshow/2019/gms2019/dendo/>  
[https://www.mitsubishi-motors.com/publish/pressrelease\\_en/corporate/2014/news/detail0954.html](https://www.mitsubishi-motors.com/publish/pressrelease_en/corporate/2014/news/detail0954.html)



Nel definire un corretto valore per questo parametro bisogna contemperare le esigenze derivanti dalle conseguenti oscillazioni del SOC del sistema di accumulo, ma anche considerazioni concernenti la potenza erogata o ricevuta dallo stesso in funzione dei suoi limiti operativi (che possono limitare il rendimento in dare/avere e la vita utile del sistema di accumulo stesso).

#### 4.2 Controllo dispositivi V2H con strategie Voltage-based

Nel caso di presenza nella rete locale di generatori fotovoltaici di potenza medio/alta (comparata alle necessità locali di consumo) anche la tensione della rete locale può essere sensibilmente disturbata dalla presenza della produzione da rinnovabili. In questi casi, il controllo del dispositivo V2H può essere effettuato con approcci "voltage-based" ossia finalizzati alla stabilizzazione della tensione di rete.

In Figura è rappresentato un tipico schema di controllo utilizzabile per questo tipo di applicazioni.

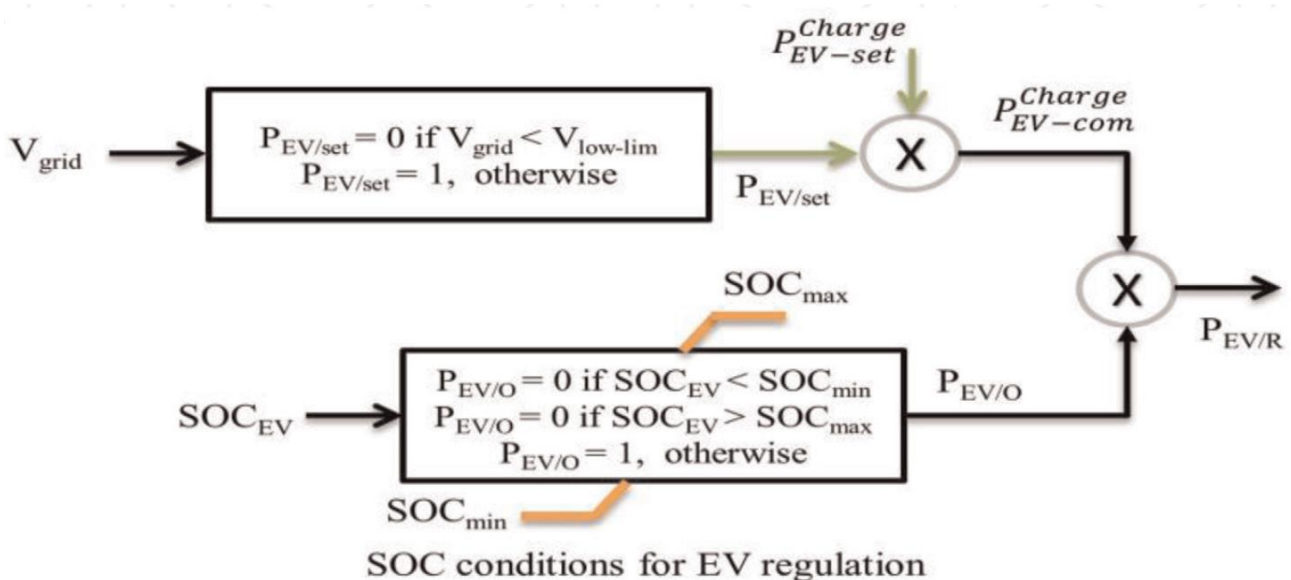


Figura 32. Controllo Voltage-based per applicativi V2H<sup>29</sup>

Durante il picco della generazione solare di giorno, la ricarica dei veicoli elettrici può contrastare il tendenziale aumento di tensione di rete. Il sistema di accumulo si caricherà finché la tensione di rete resta superiore ad un valore di riferimento. Modulando la potenza di ricarica il sistema di accumulo può anche partecipare al controllo del carico reattivo sulla rete e migliorare i problemi di qualità dell'energia nella rete.

In effetti, anche in caso di azione di peak-shaving lato-rete o di interruzione del carico, oltre che per mitigare oscillazioni di potenza dovute alle fonti rinnovabili sulla rete locale, la potenza attiva di rete è sempre usata come feedback con il quale modulare la potenza in uscita o in ingresso del convertitore di servizio del dispositivo V2H, compatibilmente con le specifiche di SOC e potenza del sistema di accumulo connesso.

<sup>29</sup> <https://www.mitsubishi-motors.com/en/innovation/motorshow/2019/gms2019/dendo/>  
[https://www.mitsubishi-motors.com/publish/pressrelease\\_en/corporate/2014/news/detail0954.html](https://www.mitsubishi-motors.com/publish/pressrelease_en/corporate/2014/news/detail0954.html)

### 4.3 Controllo dispositivi V2H con ottimizzazione energetica ed energy-pricing

Il valore di mercato dell'energia elettrica sulla rete è molto variabile al variare dell'ora del giorno, ma anche del giorno della settimana, distinguendo i giorni feriali da quelli lavorativi. L'opportunità di connessione futura di un notevole numero di sistemi di accumulo alle reti domestiche rende possibile pertanto, almeno su base teorica, ipotizzare un loro controllo basato su logiche di ottimizzazione dell'energia complessiva consumata da fonte fossile e sul costo complessivo di fornitura dell'energia per l'utente locale. Su questa base è possibile definire dei funzionali di controllo ottimo per i sistemi di accumulo che tengano in conto anche (o in maniera esclusiva) questi aspetti (anche contemperando, ove possibile, la limitazione nella loro vita residua connessa ai più frequenti cicli di carica e scarica). Questo approccio è molto diverso da quelli mostrati in precedenza, orientati invece al miglioramento di qualità del servizio di rete.

Il prevalere o meno di una delle due logiche di controllo dipende anche dalla possibilità su base contrattuale di poter lucrare su base locale sulla oscillazione oraria dei prezzi dell'energia. Questa opportunità, ad esempio, è sostanzialmente non esistente oggi in Italia, dove la fatturazione all'utente dell'energia elettrica è realizzabile solo su poche e molto ampie fasce orarie che mediano la variazione dei prezzi reali dell'energia elettrica lato utenza limitando e sostanzialmente annullando i potenziali benefici di un controllo di sistemi V2H basato sull'energy pricing. Pur tuttavia la tematica, almeno in chiave prospettica è estremamente interessante potendo contribuire sensibilmente tra l'altro, su scala generale, ad una forte riduzione attesa dei costi dell'energia e quanto meno alla mitigazione degli extra-costi attesi per la penetrazione delle fonti rinnovabili distribuite sulla rete elettrica nazionale.

Merita di essere sottolineato che queste ulteriori logiche di controllo non sono di per sé in contrasto con quelle individuate nei precedenti paragrafi e più indirizzate al miglioramento e mantenimento delle specifiche di qualità della rete locale in presenza di "disturbi" locali connessi alla ricarica stessa e/o alla generazione distribuita da fonti rinnovabili.

Tali logiche infatti sono integrabili con quelle qui descritte: nella pratica reale, di fatto, la potenza erogata e/o assorbita dalla stazione di ricarica può essere definita in catena diretta secondo funzionali di ottimizzazione energetica e/o economica. Il valore identificato può poi essere corretto in tempo reale tramite misure di tensione e/o frequenza di rete in funzione dell'errore rilevato sulla rete in tempo reale, così come descritto nei precedenti paragrafi. In questo modo si possono "inseguire" costantemente dei valori di potenza definiti secondo logiche di ottimizzazione, pur mantenendo le specifiche di rete all'interno di un range di errore all'interno di standard qualitativi ritenuti accettabili.

Per quanto riguarda gli algoritmi di ottimizzazione utilizzabili a tal fine, è possibile utilizzare una classificazione in almeno quattro differenti categorie:

- Dumb Charging: la ricarica avviene appena l'auto viene connessa alla rete, senza possibilità di modularla;
- Delayed Charging: possibilità di programmare la ricarica posticipandola nel tempo;
- Price-based Charging: la ricarica viene effettuata nei momenti in cui il prezzo dell'elettricità è più basso;
- RES/Load-based Charging: la ricarica viene modulata in base alla disponibilità di energia da fonti rinnovabili o in base al carico sulla rete, preferendo come momenti per ricaricare quelli nei quali la produzione da rinnovabili è maggiore o nei quali la domanda sulla rete è bassa.

I differenti algoritmi di controllo così individuabili sono rappresentativi di approcci di integrazione con la rete più o meno ampia, ma presuppongono anche una differente intelligenza di sistema ed una differente potenzialità nella interazione con il sistema di accumulo a bordo veicolo. In effetti, da questo punto di vista, si possono distinguere quattro differenti situazioni operative:

- Uncontrollable Load: in questa tipologia di utilizzo vi è necessità di caricare spesso ed avere sempre il veicolo pienamente disponibile;

- Partially Controllable Load: è una tipologia di utilizzo il cui pattern di ricarica ed uso del veicolo è parzialmente noto, ma non controllabile;
- Controllable Load: questo utilizzo conduce ad abitudini di ricarica ed uso note, permettendo di modulare la ricarica in base allo stato della rete;
- Controllable Resource: è analogo al caso precedente, ma permette anche l'immissione in rete di energia prelevata dalla batteria.

Nel complesso pertanto si possono identificare una serie di combinazioni tra strategia da attuare e potenzialità di attuazione sul sistema di accumulo, che permettono di individuare tre livelli di interazione tra veicolo e rete:

- Nel livello 0 il V2H non è implementabile dato che vi è troppa imprevedibilità sui tempi di interfacciamento che possono anche essere troppo brevi per fornire servizi alla rete.
- Nel livello 1 il V2H è parzialmente implementabile ed il veicolo può fornire alla rete servizi in downward, ovvero permettendo di staccare o modulare la ricarica in base allo stato della rete.
- Nel livello 2 il V2H è pienamente implementabile ed il parco macchine può realmente contribuire ai servizi di rete, basando i cicli di scarica e carica per assorbire picchi di produzione o contribuire ai picchi di domanda.

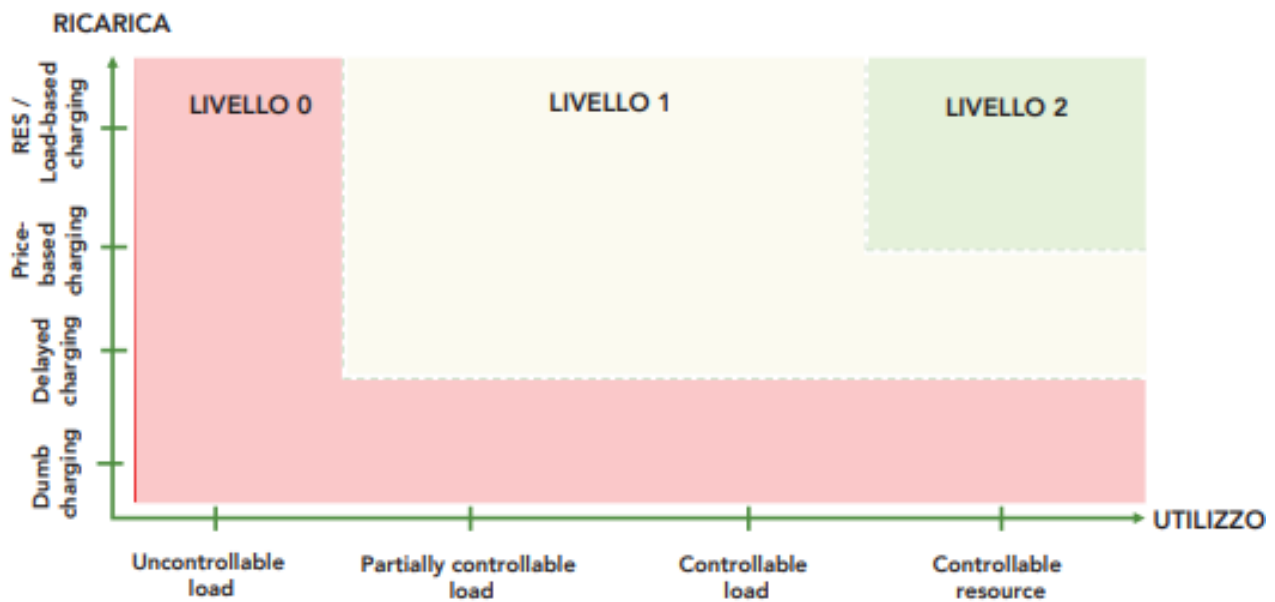


Figure 33. Algoritmi e tipologie di utilizzo<sup>30</sup>

<sup>30</sup> E-Mobility Report 2018, [www.energystrategy.it](http://www.energystrategy.it)

## Conclusioni

La disponibilità di sistemi di accumulo elettrico, anche se su base mobile, come quelli a bordo dei veicoli, offrirà in futuro ampie opportunità di una ottimizzazione dei flussi di energia elettrica di cessione e/o prelievo alla/dalla rete, permettendo, ad esempio, di aumentare l'efficienza nell'utilizzo dell'energia da fonti rinnovabili non programmabili e diminuire il costo complessivo delle forniture. A tal fine, però, le capacità di bi-direzionalità della rete sia in termini fisici che di gestione, contabilizzazione e fatturazione e billing devono ancora essere fortemente incrementate, nel cosiddetto paradigma smart-grid.

In attesa della implementazione di più ampie e pervasive azioni di connessione dei veicoli con la rete (dialogo "vehicle-to-grid": sistemi V2G), è già oggi possibile pensare ad applicazioni su scala più ristretta (ad esempio singole abitazioni o piccoli condomini) ed installare e valutare l'efficacia di tali sistemi (basati sul dialogo "vehicle-to-home": sistemi V2H). Queste applicazioni però, seppur certamente più semplici in termini realizzativi ed installabili senza particolarità necessità di opere infrastrutturali a livello urbano, hanno margini di efficacia ed applicabilità più ristretti, sia in termini energetici, sia in termini economici. Ciò è dovuto alla tendenziale coincidenza della connessione del veicolo alla stazione di ricarica con periodi di ridotto consumo, scarsa producibilità da fonte rinnovabile e scarsa valorizzazione economica della energia elettrica messa a disposizione dai sistemi di accumulo veicolari.

Diviene cruciale pertanto la realizzazione di sistemi di ottimizzazione della gestione dei sistemi V2H che prevedano anche il potenziale coinvolgimento attivo degli utenti e la modifica almeno parziale delle proprie abitudini di consumo e di connessione dei veicoli alla rete di ricarica.

Tutto ciò premesso, in questa prima linea di attività si è realizzata una analisi dello stato dell'arte sia dei sistemi V2H già disponibili sul mercato e delle relative strategie di gestione energetica da essi implementate. Si è analizzata anche la bibliografia presente in materia di gestione ottima di sistemi V2H: si tenga anche presente che la gestione di tali sistemi è inevitabilmente fortemente dipendente dal sito di applicazione non solo per la diversità delle abitudini tipiche dei consumatori in zone differenti (rurali, grandi o piccoli centri urbani, ...) ma anche per le differenti opzioni di fatturazione locale dell'energia elettrica ed i differenti meccanismi di incentivazione alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili ed al suo autoconsumo locale.

Tutti questi aspetti sono stati oggetto della presente relazione di attività.

## Appendice: CV del resp.le scientifico per l'Università dell'Aquila - CITraMS

*Carlo Villante è Professore Associato di "Sistemi per l'Energia e l'Ambiente" all'Università degli Studi dell'Aquila. E' Ingegnere Meccanico e Dottore di ricerca (dal 2001) in Energetica: Impianti motori termici, con un focus principale sui Motori a Combustione Interna (MCI) alimentati a GPL.*

*E' Vice-Direttore del CITraMS: Centro Interdipartimentale di ricerca per i Trasporti e la Mobilità Sostenibile dell'Università degli studi dell'Aquila.*

*In precedenza, è stato Prof. Associato all'Università del Sannio, con sede a Benevento e Ricercatore ENEA (Ente pubblico di ricerca) nel Laboratorio Veicoli a Basso impatto ambientale. Precedentemente Ricercatore e Professore a contratto (Impianti a Fonte Rinnovabile; Macchine a Fluido; Gestione dei Sistemi Energetici; Mobilità Sostenibile; Sicurezza degli Impanti industriali) presso l'Università degli studi dell'Aquila.*

*I suoi principali interessi scientifici sono:*

- *La mobilità sostenibile, con particolare riferimento al miglioramento delle performance, del consumo e delle emissioni: in questo ambito la sua ricerca verte sulla modellistica real-time dei MCI, sulla simulazione non stazionaria di flussi di aspirazione e scarico, sulla sovralimentazione, sulla definizione ed implementazione di strategie di controllo di veicoli a basso impatto;*
- *L'impatto ambientale di sistemi energetici, con particolare riferimento agli aspetti legati alla riduzione del consumo energetico di fonti primarie e delle emissioni inquinanti: in questo ambito è coinvolto nell'applicazione di sistemi ad alta efficienza (cogenerativi e trigenerativi), fonti rinnovabili, analisi energetico-economica delle performance di sistemi energetici, energy audit.*

*Nei suddetti ambiti, il Prof. Villante è autore di più di 50 pubblicazioni edite sulle principali riviste di settore e/o presentate nei principali consessi internazionali.*