



Ricerca di Sistema elettrico

Possibili contesti applicativi di tecnologie V2H e
valutazione dei relativi benefici attesi in termini
energetici ed economici

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



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DELL'AQUILA

POSSIBILI CONTESTI APPLICATIVI DI TECNOLOGIE V2H E VALUTAZIONE DEI RELATIVI BENEFICI ATTESI IN TERMINI ENERGETICI ED ECONOMICI.

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

Dicembre 2020

Report Ricerca di Sistema Elettrico

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 TECNOLOGIE V2X, STRATEGIE DI RICARICA E COSTI DELL'ENERGIA	6
1.1 TECNOLOGIE V2X	6
1.2 TECNOLOGIE V2H E V2B.....	8
1.3 TECNOLOGIE V2G, G2V E V2V E SMART GRID.....	11
1.4 STRATEGIE DI CONTROLLO	12
1.5 GESTIONE DEI SISTEMI DI ACCUMULO: BMS, TIPOLOGIE E SPECIFICHE PER LA RICARICA	14
1.6 PRINCIPALI CRITICITÀ.....	20
1.7 COSTI DELL'ENERGIA ELETTRICA E PREZZO UNICO NAZIONALE (PUN)	20
2 VALUTAZIONE COMPARATIVA DI CONTESTI APPLICATIVI DI TECNOLOGIE V2H E DEI RELATIVI BENEFICI ATTESI IN TERMINI ENERGETICI ED ECONOMICI.....	24
2.1 PREMESSE ED IPOTESI	24
2.2 TIPI DI RETE DOMESTICA	25
2.3 TIPI DI VEICOLO.....	28
2.4 PROFILI DI UTENZA.....	30
2.5 INVESTIMENTO INIZIALE	36
2.6 IMPIANTO FOTOVOLTAICO.....	38
3 RISULTATI	41
3.1 LEAF (BEV).....	41
3.2 VEICOLO ELETTRICO PUG-IN (PHEV).....	46
3.3 EMISSIONI	52
CONCLUSIONI	55
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	56
APPENDICE A - CODICE MATLAB PER L'ANALISI COMPARATIVA DEGLI SCENARI	58
APPENDICE B - CURRICULUM VITAE DEL RESPONSABILE SCIENTIFICO PER L'UNIVERSITÀ DELL'AQUILA - CITRAMS.....	66

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 una 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.

La seconda linea di attività, oggetto di questo report, è invece mirata all'individuazione di possibili contesti applicativi di tecnologie v2h e valutazione e dei relativi benefici attesi in termini energetici ed economici.

L'impostazione ed i dettagli di questa seconda linea di attività sono oggetto della presente relazione.

Introduzione

L'attuale sistema di mobilità e trasporti basato principalmente sui motori termici e sulle fonti fossili non è sostenibile a lungo termine, sia a causa dell'esauribilità delle fonti fossili, sia a causa dei danni all'ecosistema causati dal loro sfruttamento, nonostante un indubbio progresso tecnologico riguardo le emissioni, i consumi e l'inquinamento. Il miglioramento delle tecnologie in tal senso porta solamente ad un allontanamento sull'orizzonte temporale del punto di non ritorno da un punto di vista ambientale e si rende quindi necessario lo sviluppo di un nuovo sistema di mobilità, completamente sostenibile, che riesca a venire incontro alle esigenze dell'utenza.

L'alternativa principale che si sta affermando negli ultimi anni è la mobilità elettrica, che sfrutta l'energia elettrica in luogo delle fonti fossili per abbattere l'inquinamento prodotto dai trasporti. Unitamente allo sviluppo ed affermazione in parallelo della produzione energetica da fonti rinnovabili, fondamentali per garantire il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità, una mobilità basata esclusivamente sull'energia elettrica garantirebbe un netto miglioramento da un punto di vista ambientale e annullerebbe i problemi derivanti dall'utilizzo massivo delle fonti fossili, che sarebbero comunque utilizzate in minima parte per le esigenze che l'elettrico non può soddisfare, ma ad un ritmo inferiore a quello di rigenerazione naturale del pianeta.

Il passaggio alla nuova mobilità presenta ovviamente criticità e problematiche inedite da affrontare e perché essa risulti efficace ed abbia credito presso l'utenza necessita anche di accorgimenti che massimizzino la convenienza del prodotto per il cliente.

Tra le nuove tecnologie in studio, i sistemi di collegamento V2X (Vehicle to Everything), ed in particolare il V2H (Vehicle to Home) oggetto di questa linea di attività, rappresentano un primo passo verso l'affermazione delle Smart Grid, reti di scambio energetico interconnesse e formate da diversi nodi, rappresentanti le abitazioni dotate di sistemi di produzione elettrica basati su fonti rinnovabili, come il fotovoltaico. La connessione e comunicazione tra i vari nodi e le varie reti, permetteranno lo scambio in tempo reale dell'energia elettrica dai nodi con surplus ai nodi a maggior domanda, aumentando l'efficienza generale del sistema e riducendo al contempo perdite e costi sia per l'utenza che per il gestore della rete stesso.

La tecnologia V2H prevede l'utilizzo del veicolo elettrico come temporaneo sistema di accumulato, in grado di stoccare l'energia prodotta localmente in eccesso oppure di metterla a disposizione per il soddisfacimento di una domanda domestica in caso di non prevedibilità di un rapido utilizzo del veicolo, adottando accorgimenti per evitare mancanze sia per l'abitazione, sia per necessità imprevedibili di utilizzo del veicolo.

Tramite una corretta gestione e pianificazione, nonché l'implementazione futura di algoritmi e sistemi intelligenti, si può incrementare ulteriormente il vantaggio economico utilizzando l'energia del veicolo per alimentare l'abitazione, anziché usufruire della rete quando la domanda e il prezzo per l'elettricità crescono, per poi ricaricarla dalla rete nei momenti a prezzo inferiore.

La connessione dei nodi V2H, anche assieme alle altre tecnologie V2B (Vehicle to Building) e V2G (Vehicle to Grid), andrebbero poi a formare ad implementare ulteriori funzionalità "della Smart Grid".

In questa relazione vengono rapidamente introdotte le tecnologie V2X (già oggetto di una più dettagliata relazione sullo stato dell'arte in una precedente attività di questo stesso progetto di circa) per individuarne le peculiarità principali e permettere il successivo confronto tra diversi possibili utilizzi e contesti applicativi per tecnologie V2H, differenziando il tipo di veicoli connessi alla rete (BEV o PHEV), la tipologia di tariffazione elettrica, le abitudini lavorative degli utenti, la configurazione domestica e la percorrenza tipica dei veicoli disponibili, analizzando i diversi valori di fabbisogno energetico per stabilire l'efficacia della condivisione tra veicolo ed abitazione, quantificando il vantaggio economico ed energetico dell'applicazione della tecnologia e la sua fattibilità alla luce dei costi d'investimento.

1 Tecnologie V2X, strategie di ricarica e costi dell'energia

1.1 Tecnologie V2X

L'aumento del numero totale di veicoli ibridi ed elettrici, unito alle crescenti prestazioni e durata dei sistemi di accumulo, rendono sempre più appetibile conveniente lo sviluppo in parallelo di tecnologie di ottimizzazione e gestione dell'energia. Aumentando repentinamente la percentuale di veicoli elettrici di un valore significativo, senza modificare la rete energetica attuale, il fabbisogno energetico nazionale non potrebbe essere soddisfatto dagli attuali impianti di produzione. Un elevato numero di veicoli collegati unidirezionalmente alla rete nello stesso momento, inoltre, causerebbe grandi stress periodici, che ne ridurrebbero l'efficienza complessiva (Datta, Shi, & Kalam, *The Strategies of EV Charge/Discharge Management in Smart Grid Vehicle-to-Everything (V2X) Communication Networks*, 2019; ENSTO, 2016). Secondo uno studio del Vermont Energy Investment Corporation (Vermont Energy Investment Corporation and the National Association of State Energy Officials, 2013), se ogni veicolo negli Stati Uniti fosse un veicolo elettrico, la richiesta di energia crescerebbe istantaneamente del 25% ed è facile supporre una situazione simile anche per tutti gli altri paesi.

Per ridurre l'impatto della flotta di veicoli elettrici sulla rete nascono le tecnologie V2X (Vehicle to Everything): tramite una connessione che metta in comunicazione bidirezionale uno o più veicoli elettrici con la rete, è possibile infatti pensare di utilizzare i sistemi di accumulo dei veicoli e la loro energia come riserva energetica di backup, garantendo il servizio anche in casi di blackout, nonché come fornitori di servizi per la rete. Un utilizzo massivo di questo sistema aiuterebbe a ridurre i picchi di domanda già accennati senza il bisogno di creare nuovi impianti per soddisfarne l'aumento.

La riduzione di picchi e valli di fabbisogno è definita "peak shaving" e consiste nell'appiattire la curva della richiesta energetica il più possibile, per mantenere la produzione elettrica costante e a maggior efficienza possibile (Vadi, Bayindir, Colak, & Hossain, 2019; Regione Veneto, 2018; ENSTO, 2016).

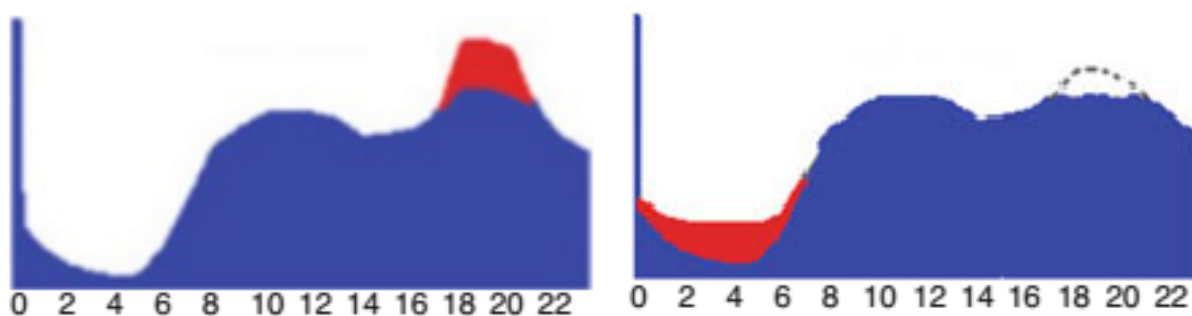


Figura 1: Esempio di applicazione del peak shaving

(Jahangir, Golkar, Ahmadian, & Elkamel, *Why Electric Vehicles?*, 2020)

La tecnologia avrebbe certamente risvolti economici positivi, ma richiede un notevole sviluppo tecnologico in termini di totale bi-direzionalità locale della rete di distribuzione e trasmissione (c.d. "smart-grid"). Le economie generabili però possono essere commercialmente ripartite tra l'utente e la rete solo in presenza di sistemi di misura ed opzioni di fatturazione sufficientemente intelligenti (c.d. "smart-metering" e "smart-billing").

Il prelievo di energia dai veicoli elettrici sarebbe più economico per il fornitore durante i momenti di alta domanda energetica perché permetterebbe di ridurre, se non eliminare, tutte le fonti energetiche di

produzione di riserva che lavorano solo a tempo determinato per coprire i picchi di domanda, costose ed inquinanti. D'altro canto, l'utente potrebbe cedere l'energia alla rete durante i momenti di massimo fabbisogno e riacquistarla durante i momenti a minor richiesta, ad un prezzo minore (Vadi, Bayindir, Colak, & Hossain, 2019). Il funzionamento dei sistemi di collegamento V2X, però, (Shariff, Alam, Iqbal, & Ahmad, 2019) rende anche necessaria la soluzione di altre problematiche, come l'ottimizzazione rispetto al fabbisogno di mobilità dell'utente e l'analisi della fattibilità economica sugli investimenti iniziali, nonché di legislazione e infrastrutture specifiche.



Figura 2: Riassunto delle tecnologie V2X esistenti (Vadi, Bayindir, Colak, & Hossain, 2019)

Sebbene siano pensati inizialmente per l'applicazione assieme a sistemi energetici rinnovabili domestici, principalmente fotovoltaico, i sistemi V2X possono portare un beneficio rispetto alle emissioni CO₂ anche grazie all'ottimizzazione delle risorse fossili e delle loro tecnologie di sfruttamento (Shaafati, Asghar, & Alam, 2017). Essendo in grado di gestire la domanda di energia in maniera più efficiente, si può ridurre la produzione di energia utilizzando quella già prodotta quando aumenta la domanda, evitando perciò la produzione di inquinanti causata dalle fluttuazioni di fabbisogno, aumentando la produzione quando la domanda è bassa. L'effetto ottenibile è quello di riduzione dei massimi e minimi di produzione, rendendo la capacità produttiva attuale sufficiente e magari anche facilitando chiusure e riconversioni degli impianti a fonti fossili esistenti. L'utilizzo delle fonti energetiche di riserva però non potrà essere azzerato del tutto nemmeno tramite l'impiego delle fonti rinnovabili, in quanto, data la scarsa prevedibilità delle fonti pulite, possono essere necessarie per soddisfare il fabbisogno nei momenti in cui i modelli predittivi non forniranno risultati aderenti alla realtà.

Oltre al beneficio del peak shaving già descritto, i servizi di regolazione da esso forniti (Vadi, Bayindir, Colak, & Hossain, 2019) includono:

- **Regolazione di frequenza:** la frequenza del sistema va garantita costante a 50 Hz, secondo la normativa italiana, per garantire la massima efficienza del sistema stesso e delle utenze ad esso collegate. Quando la frequenza tende ad alzarsi, significa che non ci sono abbastanza utenze collegate per assorbire la quantità di energia prodotta; viceversa, quando la frequenza si abbassa, la

potenza prodotta non è sufficiente. In entrambi i casi, una flotta di veicoli elettrici collegata alla rete può ovviare al problema, assorbendo o fornendo all'occorrenza l'energia necessaria al mantenimento della frequenza (Regione Veneto, 2018);

- *Compensazione di potenza reattiva*: aiuta la regolazione di tensione della rete migliorando il fattore di potenza, fondamentale per il corretto funzionamento della stessa (Shariff, Alam, Iqbal, & Ahmad, 2019);
- *Accumulo e backup di fonti rinnovabili*: fonti rinnovabili come il fotovoltaico e l'eolico non sono totalmente futuribili e stoccabili, rendendo necessario lo sviluppo di modelli predittivi e di pianificazione delle risorse (ENSTO, 2016). Il fotovoltaico in particolare avrà dei picchi elevati di produzione durante le ore centrali del giorno e produzione nulla nelle ore notturne, anche nelle applicazioni domestiche. Un sistema di accumulo che permetta di immagazzinare l'energia dei momenti ad alta produzione per essere utilizzata anche in altri momenti aiuterebbe a sfruttare al meglio l'energia prodotta. Un veicolo elettrico può essere utilizzato come sistema di accumulo, potendo accumulare l'energia in surplus dei momenti di alta produzione e cederla indietro quando la produzione si ferma, comportandosi a tutti gli effetti come una fonte energetica di backup alternativa e meno costosa della rete. L'utilizzo dell'auto riduce le inevitabili perdite di un accumulatore fisso, in quanto l'energia del veicolo sarebbe scaricata e ricaricata più frequentemente, oltre a permettere di evitare l'acquisto del sistema di accumulo, riducendo il numero totale di batterie prodotte e il costo per l'utente.
- *Riduzione delle perdite di rete*: il peak shaving effettuato su larga scala e i servizi ausiliari contribuiscono anche a ridurre le perdite di rete, addebitate solitamente nella bolletta dell'utente, riducendo ulteriormente costi e sprechi per produttori e utilizzatori dell'energia.

Esistono diversi studi riguardo le modalità e i tempi ideali per la ricarica di un veicolo elettrico, tutti volti alla riduzione dei picchi di domanda e di tutti i problemi di rete che una grande mole di veicoli collegati potrebbe provocare ai sistemi di distribuzione elettrica. Modelli predittivi tramite analisi stocastica possono essere affiancati alle rilevazioni per creare strategie di controllo e algoritmi personalizzati di ricarica ed in tal senso si parla molto anche dell'utilizzo di intelligenze artificiali adatte allo scopo (Jahangir, Golkar, Ahmadian, & Elkamel, Artificial Intelligence-based Approach For Electric Vehicle Travel Behavior Modeling, 2020).

Le tecnologie V2X hanno denominazioni diverse, in base al diverso tipo di applicazione, che saranno descritte più nel dettaglio nei seguenti paragrafi.

1.2 Tecnologie V2H e V2B

La tecnologia di collegamento V2H (Vehicle to Home) è sicuramente la più semplice tra le tecnologie V2X da implementare (Shariff, Alam, Iqbal, & Ahmad, 2019) e l'apripista alla creazione di una Smart Grid a livello cittadino.

Rispetto agli altri sistemi di collegamento, i costi d'installazione sono minori e un utilizzo in singoli nuclei abitativi presenta meno ostacoli sociali rispetto ad un'applicazione per tutta la comunità, che necessiterebbe anche dell'adeguamento dell'intera rete (Datta, Shi, & Kalam, Electric Vehicle (EV) in Home Energy Management to Reduce Daily Electricity Costs of Residential Customer, 2018).

I sistemi V2H necessitano della presenza di almeno un veicolo elettrico plug-in e di una piccola infrastruttura domestica di collegamento con un caricatore bidirezionale.

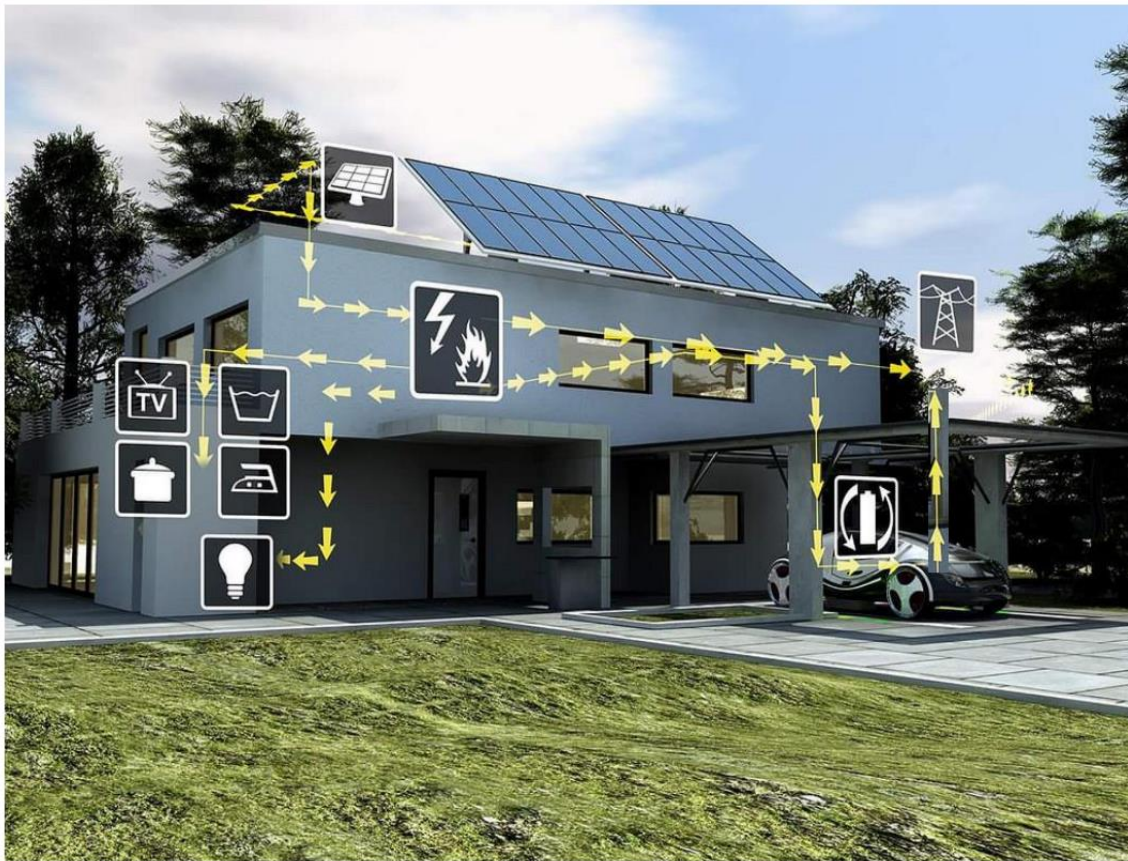


Figura 3: Flussi energetici di una rete domestica che utilizza il V2H (Regione Veneto, 2018)

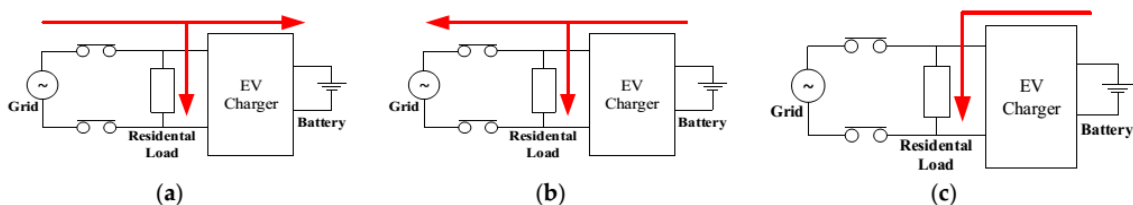


Figura 4: Flussi energetici nella rete domestica in caso di prelievo dalla rete e ricarica auto (a), uso del V2H con assorbimento della rete (b), uso del V2H (c) (Vadi, Bayindir, Colak, & Hossain, 2019)

La tecnologia V2H permette di effettuare il peak shaving riguardo la domanda energetica domestica, specialmente se accoppiata all'utilizzo di un impianto fotovoltaico. Ipotizzando una mobilità ripetibile dell'utente, ad esempio la tratta casa-luogo di lavoro, è possibile stimare la quantità di energia disponibile dal veicolo durante i periodi in casa a veicolo collegato alla rete domestica. Un impianto fotovoltaico produce energia durante le ore centrali del giorno, contribuendo ad abbassare la domanda domestica, e il veicolo può subentrare come fonte energetica alla sera, quando la produzione fotovoltaica è nulla ma la domanda nazionale è ancora alta, garantendo risparmio all'utente. Infine, durante la fascia oraria notturna quando prezzo e domanda dell'energia sono ai minimi, è possibile ricaricare completamente il veicolo in maniera lenta e più efficiente e ripetere il processo giornalmente. Ottimizzando al meglio i cicli di carica/scarica del veicolo, anche grazie ai comportamenti dell'utilizzatore, è possibile avere grandi vantaggi economici tenendo

sempre garantita una quantità prestabilita di carica SoC_{min} nel veicolo, sufficiente per ogni viaggio non previsto o d'emergenza, compensando durante le ricariche notturne.

La tecnologia V2H può essere abbinata, tramite accordo col fornitore, alla tecnologia V2G (Vehicle to Grid) e può permettere la vendita alla rete di energia nei periodi a prezzo più alto. In questo modo inoltre si può evitare di mantenere l'energia nei sistemi di accumulo della casa, soggetti ad inevitabili perdite ed evitare al fornitore la produzione di nuova energia. Il più semplice collegamento domestico rende poi più semplice burocraticamente la rivendita alla rete dell'energia prodotta in surplus dal collegamento domestico, rispetto alla rivendita tramite postazione pubblica.

In alcuni casi, la compagnia da cui si acquista l'automobile fornisce anche la possibilità di acquistare delle "wallbox" da installare in casa, che fungono da colonnina di ricarica domestica e al 2020 sono in corso sperimentazioni da parte delle stesse compagnie per colonnine domestiche bidirezionali adibite allo scambio V2H; è il caso ad esempio della Nissan e della Toyota (Everoze, EVConsult commissionato da UK Power Networks, 2018), i cui veicoli sono stati presi qui in esame. Impianti domestici adibiti al V2H sul mercato al 2020 hanno costi ancora proibitivi per l'utenza, con il costo per sistemi domestici bidirezionale sul mercato al 2020 che si aggira sui 4.000 \$. Il settore, tuttavia, è in rapida evoluzione e si prevede che il prezzo degli impianti per il V2H scenderà fino ad essere competitivo con i normali impianti odierni non bidirezionali entro il 2030, probabilmente forniti dalle stesse case automobilistiche. In particolare, (Kobashi & Yarime, 2019; Kataoka, Shichi, Yamada, Iwafune, & Ogimoto, 2019) affermano come l'acquisto di un caricatore bidirezionale da abbinare all'impianto fotovoltaico diventerà più conveniente dell'acquisto di un sistema di accumulo domestico quando il suo prezzo scenderà almeno ad un terzo del prezzo odierno; l'obiettivo di questa analisi è quello di quantificare tale convenienza sull'investimento, nella forma di riduzione dei costi.

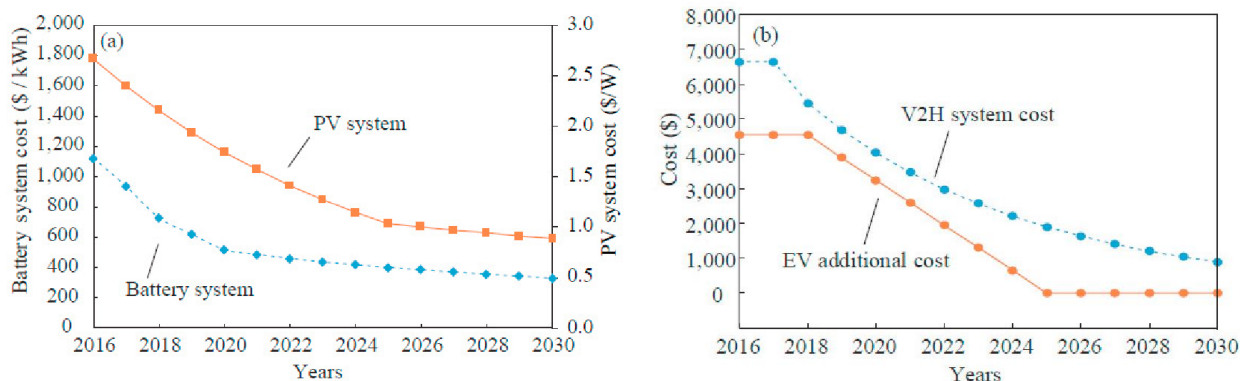


Figura 5: previsione dell'andamento dei prezzi di impianti fotovoltaici e batterie (a), caricatori bidirezionali e futura riduzione costi veicoli elettrici (b) (Kobashi & Yarime, 2019)

La tecnologia V2B (Vehicle to Building), evoluzione della V2H, riguarda l'applicazione dei collegamenti bidirezionali per palazzi, impianti, centri commerciali e luoghi di lavoro o ritrovo, ovvero luoghi che interagiscono continuamente con una flotta più numerosa di veicoli elettrici. Tramite l'installazione di colonnine di ricarica nei parcheggi, è possibile il collegamento simultaneo di veicoli elettrici con i loro sistemi di accumulo. L'utente, in accordo col gestore del parcheggio o impianto, mette a disposizione una parte dell'energia, cosicché la rete, sia locale del gestore che nazionale se abbinata al V2G, può avere accesso a tale energia. La rete, in cambio, garantisce all'utente il livello di carica della batteria richiesto alla fine del tempo di permanenza dell'auto nel parcheggio, valore concordato in precedenza all'inizio del collegamento. L'utente avrebbe anche la possibilità di ottenere più energia delle condizioni di partenza e ad un prezzo conveniente da poter utilizzare successivamente in casa tramite una rete V2H.

Con il V2B è possibile recuperare quantità di energia rilevanti ad un prezzo minore, se la flotta di veicoli è adeguata, e potrebbe essere una tecnologia molto conveniente per una azienda con un'elevata domanda energetica durante l'orario lavorativo, quando il prezzo dell'energia è più elevato. Inoltre, utilizzare l'energia da una fonte più vicina riduce le perdite dovute allo stoccaggio e distribuzione della stessa da parte del fornitore di rete. In generale, l'utilizzo dei sistemi di collegamento V2X aiuta a ridurre le distanze tra produttori e clienti, semplificando significativamente il sistema di distribuzione.

1.3 Tecnologie V2G, G2V e V2V e Smart Grid

Un'ulteriore evoluzione della tecnologia V2B è rappresentata dalle tecnologie V2G, G2V e V2V.

La tecnologia V2G (Vehicle to Grid) e la sua controparte G2V (Grid to Vehicle) si integrano in un sistema intelligente di gestione della rete elettrica pienamente bi-direzionale ("Smart Grid"), in cui ogni postazione di ricarica, sia privata che pubblica, rappresenta un nodo di comunicazione, interconnessione e scambio di energia elettrica a livello locale, urbano o nazionale. In una Smart Grid, l'utente non è più solo un passivo consumatore di energia elettrica, bensì, tramite contratti col fornitore, un piccolo produttore che mette la propria energia in eccesso a disposizione nella rete e ne riceve in caso di bisogno, in un'ottica di gestione intelligente dell'energia che riduca gli sprechi e le perdite, tramite un continuo flusso di energia da e per l'intera rete.

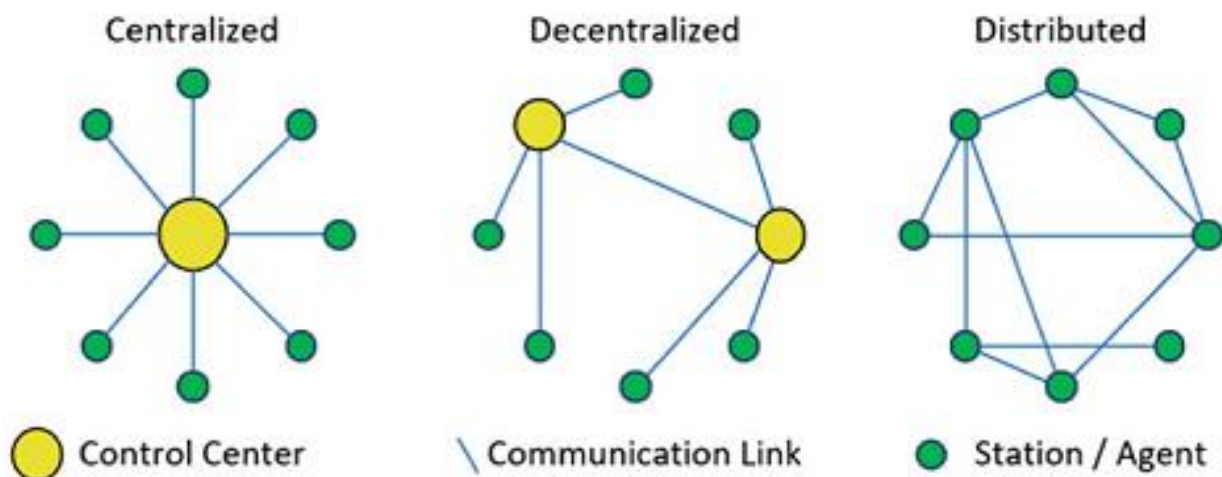


Figura 6: Esempi di reti di distribuzione energetica con strutture centralizzata, decentralizzata e distribuita

(Hamidi, 2020)

L'obiettivo prevede una decentralizzazione anche della produzione di energia da pochi grandi centri a tanti piccoli produttori, grazie ad impianti da fonte rinnovabile domestici, con conseguente semplificazione della grande rete di distribuzione e riduzione dell'impatto negativo di possibili guasti e blackout e maggiore sicurezza. Ovviamente sarà altresì necessaria la creazione di nuove tariffe e contrattistiche adatte a tale tipo di rete di distribuzione interconnessa da parte degli enti produttori e gestori della rete nazionale, che permettano, magari in tempo reale, la vendita e l'acquisto istantanei dell'energia tra i vari nodi della Smart Grid.

Nel contesto di una Smart Grid, il veicolo elettrico e la sua batteria fungerebbero da sistema stazionario provvisorio (con connessione di accumulo, in grado di ricevere (V2G) e cedere (G2V) energia elettrica in tempo reale dalla rete. In questo contesto si rende cruciale una comunicazione immediata tra tutte le

infrastrutture facenti parte della Smart Grid e in grado di fornire all'utente la soluzione di gestione più adeguata alle sue esigenze. Infine, l'ulteriore step evolutivo della tecnologia V2V (Vehicle to Vehicle) rende le auto elettriche esse stesse dei nodi della rete (Datta, Shi, & Kalam, The Strategies of EV Charge/Discharge Management in Smart Grid Vehicle-to-Everything (V2X) Communication Networks, 2019), rendendo possibile il trasferimento di energia anche da un'auto all'altra, con conseguente risparmio e guadagno per i proprietari delle auto coinvolte, che potrebbero effettuare scambi di energia tramite la rete di collegamento per sopperire a fabbisogni e guadagnare dai surplus.

1.4 Strategie di controllo

Pianificazione e controllo dei flussi di energia a seconda dell'ora del giorno e del luogo sono l'aspetto cruciale affinché le tecnologie V2X diano i migliori risultati, considerando anche lo stato di carica (SOC) della batteria di un veicolo nonché il tipo di ricarica. Fondamentale per l'applicazione di tecnologie V2X è l'affermarsi di strutture e dispositivi che permettano un power flow dell'energia di tipo bidirezionale, invece del più economico sistema unidirezionale, in modo tale che la rete, sia essa domestica o nazionale, sia in comunicazione con la flotta di veicoli, sebbene infrastrutture unidirezionali possano comunque essere interessanti come soluzione economica per le colonnine pubbliche.

La connessione bidirezionale necessita di convertitori di potenza e di controllo, per poter adeguare l'energia prelevata o immessa alle necessità dell'utilizzatore. A titolo di esempio, per collegare una batteria che sfrutta corrente continua alla rete, in corrente alternata, è necessario che il sistema di collegamento sia formato da un chopper per l'adeguamento della tensione e di un convertitore DC/AC per adeguare i flussi di energia alla tensione e frequenza richiesti da entrambe le parti collegate.

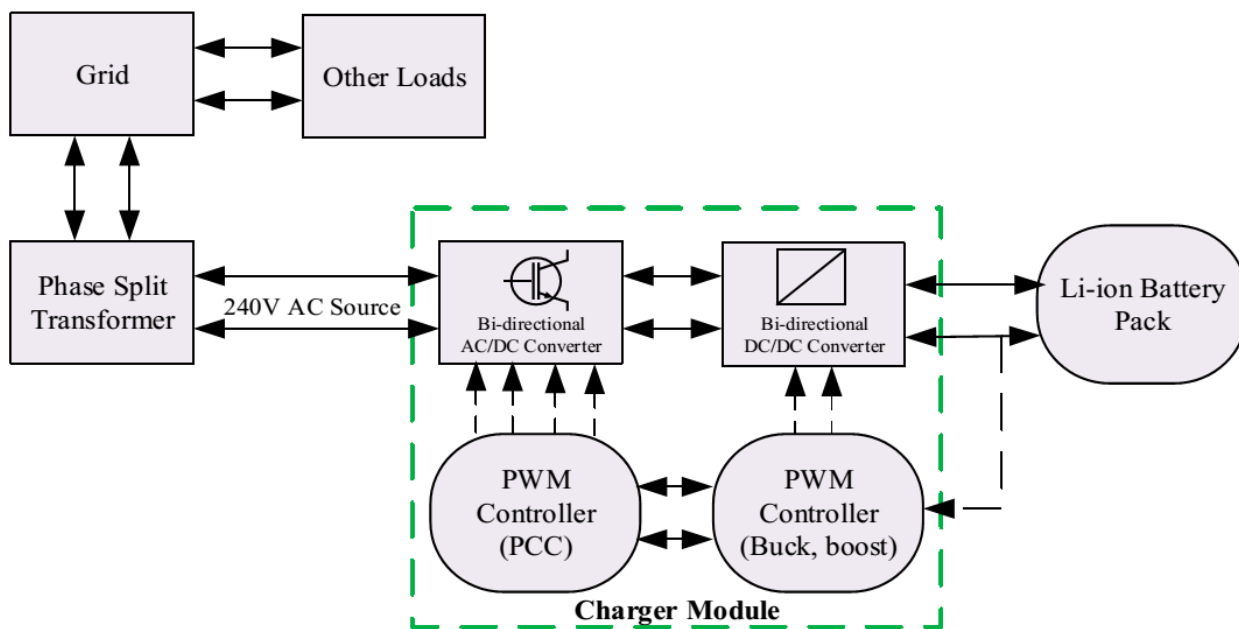


Figura 7: Focus sulla struttura e la modulazione di un caricatore. Convertitori differenti e modulazioni diverse possono modificare l'efficienza (Vadi, Bayindir, Colak, & Hossain, 2019)

Una rete di collegamento bidirezionale necessita inoltre di una comunicazione efficace in tempo tra tutti gli elementi collegati alla rete, tramite connessione dei vari sistemi integrati di controllo, rendendo necessario uno standard di comunicazione universale per massimizzare l'efficienza di questi sistemi, come potrebbe

essere una comunicazione via internet (Datta, Shi, & Kalam, The Strategies of EV Charge/Discharge Management in Smart Grid Vehicle-to-Everything (V2X) Communication Networks, 2019).

Per gestire la comunicazione e un corretto funzionamento dei cicli di carica e scarica è necessario che la struttura di ricarica si interfacci con il controllore di bordo asservito ai sistemi di accumulo chiamato BMS (Battery Management System), che garantisce inoltre la massimizzazione della vita utile della batteria, causata da sovraccarichi o errori, e che agevola la sicurezza delle operazioni, ad esempio limitando la corrente, strettamente collegata alla temperatura della batteria.

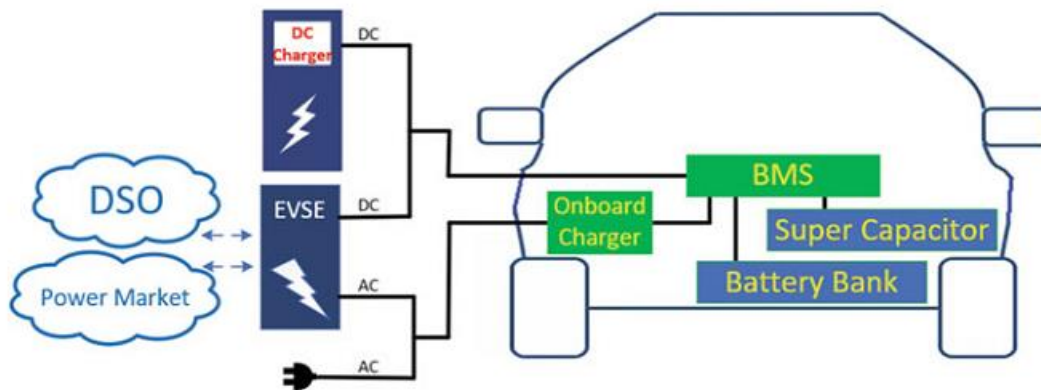


Figura 8: Focus sul funzionamento del BMS. i super capacitori servono ad assorbire le grosse correnti e a regolarle per ricaricare ogni cella secondo bisogno (Hamidi, 2020)

Il BMS ha anche il compito di uniformare la carica tra le varie celle del sistema di accumulo, evitando disomogeneità di carica, trasferendo energia tra le celle. La diminuzione della capacità data dall'utilizzo disomogeneo oltre una determinata soglia di alcune celle rispetto ad altre, comporta un sovraccarico delle restanti che accelera il processo di invecchiamento dell'intera batteria. Solitamente, infatti, quando una o più celle scendono sotto un determinato livello di capacità massima, l'intera batteria è considerata a fine vita, anche se le restanti sono ancora in buone condizioni. In un battery pack è inevitabile la disuniformità, ad esempio tra celle all'esterno e all'interno dello stesso, il che rende il lavoro di bilanciamento costante del BMS molto importante per massimizzarne la vita.

Il BMS stima costantemente il SOC il più accuratamente possibile, per il funzionamento ottimale del sistema, in modo da poter sfruttare l'algoritmo di ricarica più adatto per l'utente e per la rete. Calcoli errati o imprecisi possono portare a cicli di carica non necessari, che invecchierebbero precocemente il sistema di accumulo, o a cicli di scarica che il sistema non può reggere a lungo, lasciando la domanda di energia non soddisfatta. Una misurazione non precisa durante le fasi di carica e scarica può inoltre portare il SoC sotto o sopra i limiti e provocare sovraccarichi o portare la batteria sotto il limite minimo imposto, se non anche a zero, il che potrebbe ridurre drasticamente la vita utile o rendere l'auto inutilizzabile nel momento del bisogno.

Diverse ricerche sul V2G propongono schemi e algoritmi di gestione come strategia di controllo dei vari flussi di energia ed in particolare in (Shariff, Alam, Iqbal, & Ahmad, 2019) si suddividono i vari tipi di controllo in 3 categorie:

- **Controllo V2G centralizzato:** le stazioni di ricarica seguono un programma centralizzato di carica/scarica basato sugli orari tipici di carico massimo in determinate zone. Il coordinamento centralizzato tra i sistemi di collegamento e i dispositivi collegati i fabbisogni da soddisfare e i flussi di energia, sulla base del proprio algoritmo;

- *Controllo V2G indipendente*: con l'aumento di diffusione delle auto elettriche diventa molto difficile centralizzare efficacemente il sistema di controllo, così si decentralizza tramite l'utilizzo di caricatori intelligenti in grado di comunicare in tempo reale come nodi di un'unica rete, per adeguare e programmare la carica e scarica del veicolo in base alle esigenze di rete, regolando anche la tensione secondo necessità. Questa strategia di controllo è molto adatta per applicazioni domestiche, sebbene più costosa;
- *Controllo V2G sul ricambio del battery pack*: è il caso del BSS (Battery Storage System per il servizio di rete) già descritto in precedenza, un sistema stazionario che prevede la presenza di stazioni di controllo centralizzato che ha a disposizione un grande parco batterie da ricaricare e sostituire, perciò in grado anche di sopperire a fabbisogni e accumulare surplus senza l'ausilio di veicoli collegati.

Per quanto riguarda invece le specifiche prestazionali che l'utente può da arte sua richiedere alla struttura di ricarica, è necessario poter individuare almeno 4 diversi tipi di algoritmo di regolazione dei cicli di carica/scarica opzionabili:

- *Dumb Charging*: nessuna modulazione della ricarica;
- *Delayed Charging*: possibilità di programmare la ricarica per effettuarla in momenti della giornata più vantaggiosi;
- *Price-Based Charging*: algoritmi di modulazione della ricarica, tramite comunicazione tra rete e BMS, finalizzati al completamento dei cicli per ottenere il maggior risparmio economico possibile;
- *RES/Load-Based Charging*: modulazione finalizzata a massimizzare lo sfruttamento delle fonti rinnovabili nelle ore di maggior produzione, la più adatta nel caso di applicazioni con V2H in combinazione con impianti fotovoltaici domestici.

Alle strategie di gestione dei cicli di carica e scarica, possono essere affiancati servizi di miglioramento delle prestazioni dei cicli, come ad esempio un servizio metereologico (Tuttle, Baldick, Fares, & Webber, 2013) che stimi le quantità di energia producibile e adegui di conseguenza i flussi di potenza in maniera autonoma, secondo il criterio di regolazione scelto.

1.5 Gestione dei Sistemi di accumulo: BMS, Tipologie e Specifiche per la ricarica

La semplice ricarica domestica di un veicolo elettrico può causare grossi sovraccarichi e fluttuazioni sulla rete domestica, specialmente se a livello locale (condominio/quartiere) esistono numerosi veicoli elettrici che possano essere tutti connessi occasionalmente alla rete. L'ottimizzazione e la scelta di sistemi e tipologie di ricarica adeguati sono pertanto necessari per non gravare troppo sulla rete. E' quindi obbligatorio pensare di poter modulare la ricarica, commutando tra diverse strategie, non solo tenendo in conto di quanto richiesto dall'utente e del SOC attuale del sistema di bordo, ma anche delle condizioni della rete istante per istante.

Un sistema interconnesso come una Smart Grid necessita inoltre di un protocollo standard per la ricarica e di infrastrutture adatte. E' fondamentale, infatti, che si creino infrastrutture connettabili e intercambiabili tra loro, anche quando appartengono a diversi fornitori, e interfacciate con i fornitori e gli utenti in maniera appropriata, per garantire massima flessibilità nella ricarica del veicolo, in particolare per strutture di ricarica rapida non domestiche e sparse sul territorio. L'utente potrebbe aver bisogno di ricaricare il veicolo in ogni

momento, per questo, oltre alle infrastrutture dedicate localizzate, bisogna trovare un unico protocollo standard di comunicazione per ognuna di esse, anche per facilitare la creazione stessa dell'infrastruttura.

Ad oggi, purtroppo, non c'è ancora uno standard unico ed universale di ricarica di veicoli elettrici prevalente e c'è ancora una forte differenziazione per continenti e paesi (Shariff, Alam, Iqbal, & Ahmad, 2019; Vadi, Bayindir, Colak, & Hossain, 2019). L'utilizzo di uno standard mondiale comune garantirebbe costi minori di ricarica e installazione delle infrastrutture per ogni paese ma c'è competizione tra le varie entità coinvolte perché venga approvato il proprio standard piuttosto che un altro, probabilmente a causa del contemporaneo impegno mondiale nella ricerca tecnologica sull'argomento, in cui ognuno spera di ottenere il maggior profitto dalle proprie scoperte.

A seconda delle esigenze di mobilità dell'utente, è possibile scegliere tra varie tipologie e modalità di ricarica. Esistono 3 tipi di ricarica di una batteria con differenti velocità di completamento della carica dipendenti da tre modalità di ricarica: a corrente costante, a tensione costante e una combinazione di entrambe.

Nella ricarica a corrente costante è possibile scegliere il valore della corrente durante la ricarica (Vadi, Bayindir, Colak, & Hossain, 2019; Regione Veneto, 2018). Il valore della corrente di ricarica è molto importante perché una corrente alta ricarica più velocemente ma sovraccarica e scalda la batteria, danneggiandola. Durante la ricarica, all'aumentare dello SoC, la resistenza interna della batteria aumenta ed è importante tenere la corrente costante aumentando la tensione di conseguenza; in particolare, a inizio ricarica, la resistenza è molto bassa e va evitata la scarica elevata di corrente iniziale, limitandola prima che raggiunga il valore desiderato.

La carica a corrente costante ha efficienza elevata ad alte correnti ma la corrente non può essere mantenuta quando la carica è quasi completa o si provocherebbe la formazione di gas e problemi di sicurezza per la vita della cella e per le vicinanze della batteria in ricarica. Utilizzare una corrente più piccola, al contrario, avrebbe tempi di ricarica maggiori ma anche un miglior bilanciamento di carica tra le celle.

Nella ricarica a tensione costante, la ricarica inizia con una corrente piena che garantisca la tensione prevista, il quale non deve ovviamente essere abbastanza elevata da danneggiare la batteria. La corrente viene poi ridotta gradualmente in modo da tenere la tensione costante durante la ricarica visto l'aumento di resistenza interna. Ricaricando in questo modo, con la corrente che va riducendosi mentre la ricarica si completa, si riduce il rischio di sovraccarico della batteria, preferendo dunque una ricarica più sicura con valori inferiori di corrente al costo di un tempo maggiore per la ricarica.

Le due modalità di ricarica sopra descritte vengono spesso utilizzate in parallelo nella terza modalità, in modo da avere i benefici di entrambe minimizzando gli effetti negativi (MicroST). La strategia utilizzata è quella di avere tensione in aumento e corrente alta costante all'inizio della carica, fino al raggiungimento della tensione massima a circa metà operazione, per poi traslare a tensione costante con corrente in diminuzione avvicinandosi al completamento della carica.

Una fase a corrente bassa costante durante le ultime fasi del ciclo di ricarica aiuta il BMS ad equalizzare il livello di carica delle celle e la colonnina deve provvedere a scegliere in automatico la modalità più utile in base ai parametri della batteria comunicati in tempo reale dal BMS e all'esigenza di velocità nella ricarica dell'utente.

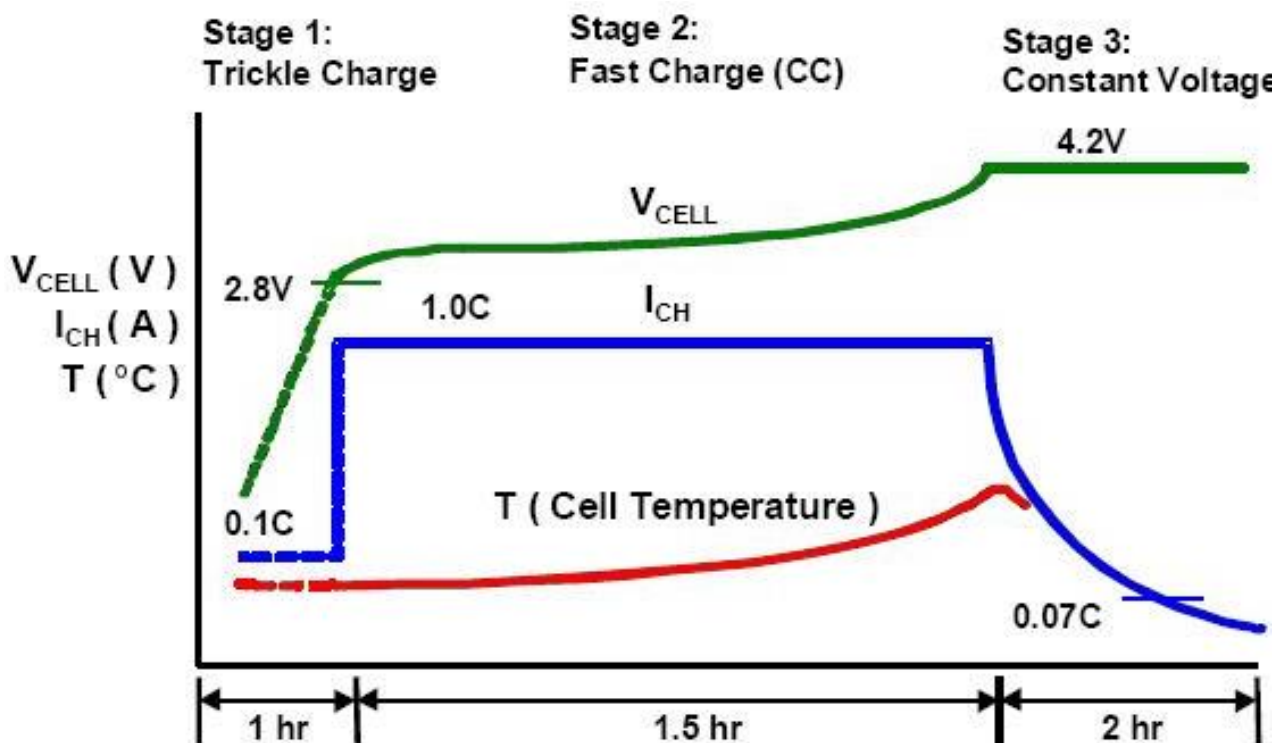


Figura 9: Tipico andamento di una ricarica. La Trickle Charge è la fase di ricarica di batterie molto scariche, utilizzata per innalzare la tensione

In aggiunta ai tipi di ricarica elencati, l'alimentazione di corrente dalla colonnina di ricarica all'auto può avvenire in due modi distinti:

- Per via "conduttiva", in pratica una presa di corrente tradizionale, che attraverso un trasformatore e un raddrizzatore fornisce alla batteria l'energia necessaria alla ricarica.
- Per via "induttiva", in cui un avvolgimento primario, adeguatamente protetto, viene alloggiato sul veicolo ed opportunamente schermato lato utenza. Esso si accoppia con un avvolgimento secondario di terra con il quale scambia energia per accoppiamento induttivo. La qualità della ricarica dipende molto dal livello di potenza (e quindi dalla ripidità della ricarica stessa) e dall'idoneità dell'accoppiamento funzionale tra gli avvolgimenti.



Figura 10: Colonnina di ricarica pubblica di tipo conduttivo

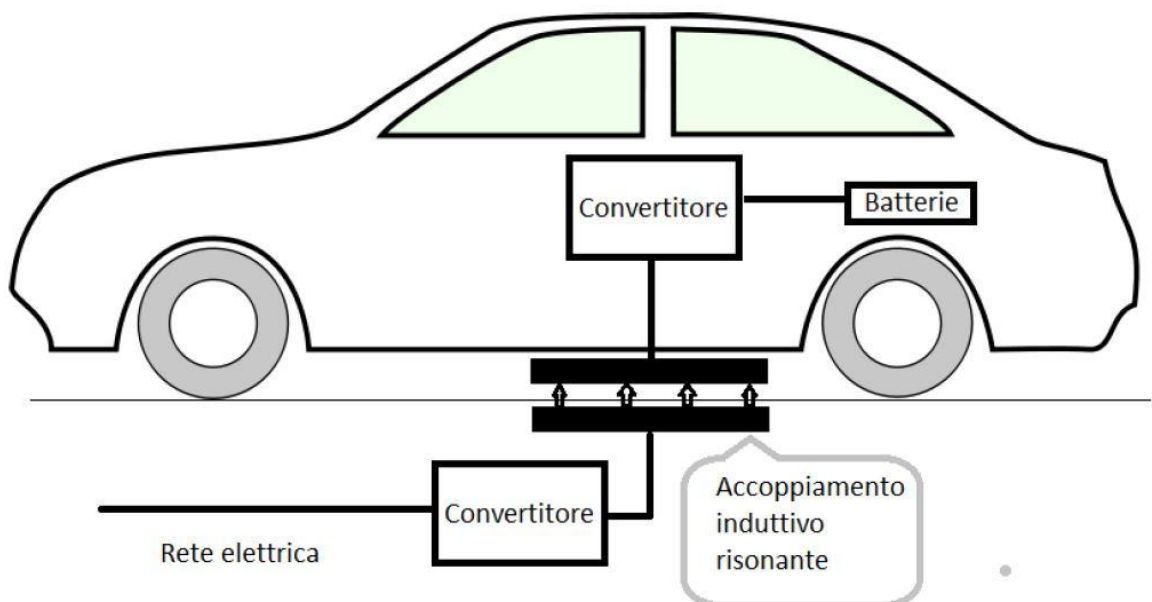


Figura 11: Schema di funzionamento ricarica di tipo induttivo (INRIM)

La normativa IEC¹ 61581-1 riguardo le colonnine di ricarica, definisce 4 principali modi di ricarica, differenziati per velocità di ricarica e quindi per le potenze in gioco. Differenti modi di ricarica si applicano tramite diversi tipi di connettori e sono diffusi in diverse parti del mondo (Villante; IEC, 2017).

- *Modo 1*: ricarica lenta utilizzata in ambito domestico. Può richiedere dalle 6 alle 8 ore per una ricarica completa in corrente alternata monofase solitamente a 16A e 23V ed è possibile anche utilizzare una presa domestica o una presa industriale.
- *Modo 2*: ricarica lenta in ambito sia domestico che pubblico. Analoga al modo 1, questa modalità si differenzia per l'inserimento tra veicolo e colonnina di un sistema di protezione che garantisce la sicurezza dell'operazione di ricarica, consistente in un circuito PWM.
- *Modo 3*: ricarica in ambiente sia pubblico che domestico che può essere sia lenta a 16A e 230V o mediamente rapida, tra i 30 minuti e l'ora, a 63A e 400V. Sempre in corrente alternata, necessita di un particolare tipo di connettore e presenta un sistema di controllo analogamente al modo 2.
- *Modo 4*: ricarica molto veloce, tra i 10 e i 20 minuti, in ambiente pubblico in corrente diretta a 125A e 500V. Si differenzia inoltre per avere il caricabatterie e l'inverter esternamente al veicolo, garantendo quindi l'immissione di energia direttamente alla batteria e riducendo il peso a bordo. Questa modalità è stata sviluppata in Giappone da costruttori automobilistici ed è denominata protocollo CHAdeMO.

La scelta della velocità di ricarica dipende dall'utente e dall'utilizzo che deve fare per il veicolo. Ricordando che una ricarica lenta è sempre preferibile per preservare la vita della batteria il più a lungo possibile (Shariff, Alam, Iqbal, & Ahmad, 2019), può presentarsi la necessità di tragitti imprevisti che necessitano di ricariche straordinarie più rapide. In un contesto di applicazione V2H è preferibile l'utilizzo di una ricarica lenta notturna, per massimizzarne i vantaggi diurni.

La normativa IEC 62196 prevede invece diversi tipi di connettore, ognuno riferito ad uno dei 4 modi di ricarica (IEC, 2014):

In Europa il connettore scelto dall'ACEA come standard unico a partire dal 2017 è il connettore di tipo 2 Mennekes, per il modo 3 di ricarica. Fino al 2017 era diffuso anche il tipo 3 Scame, prima che il tipo 2 fosse scelto come standard unico europeo, ed è dunque ancora possibile trovare colonnine e veicoli che utilizzano tale dispositivo, specialmente in Francia dove il tipo 3 è stato ideato e sviluppato, prima che anche la produzione francese virasse verso lo standard deciso dall'Unione Europea.

Il connettore Mennekes è attualmente più costoso ma anche più sicuro per le infiltrazioni e il contatto umano, nonché in caso di malfunzionamenti, rispetto al connettore Scame.

¹ International Electrotechnical Commission


	N. America	Japan	EU and the rest of markets	China	All Markets except EU
AC	 J1772 (Type 1)	 J1772 (Type 1)	 Mennekes (Type 2)	 GB/T	 Tesla
DC	 CCS1	 CHAdEMO	 CCS2	 GB/T	

Figura 12: Tipi di presa dei caricatori più diffusi nel mondo per ricariche AC e DC (Enel X)

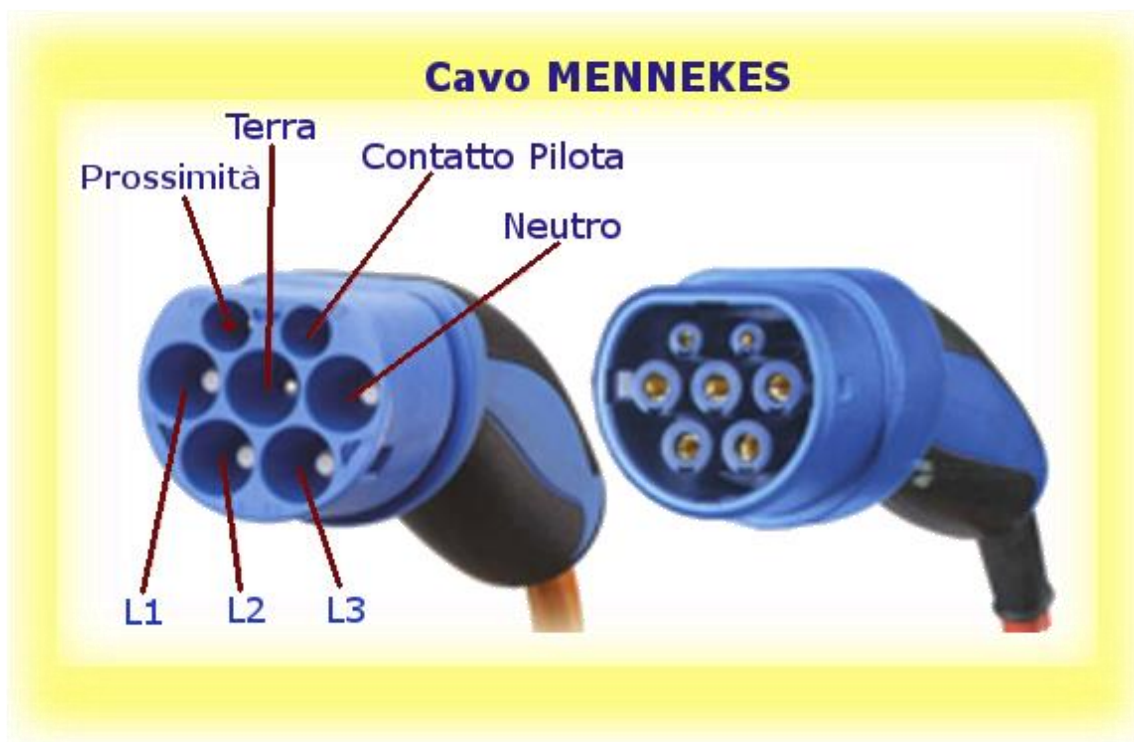


Figura 13: Focus sul connettore Mennekes (Tipo 2) ([htt1](#))

Il connettore di tipo 1 Yazaki è invece diffuso in Nord America mentre in Giappone, come accennato, è diffuso il connettore di tipo 4 CHAdEMO, presente anche in Europa. Per applicare le tecnologie V2X risulta fondamentale la bidirezionalità del collegamento tra l'auto e la colonnina, in modo da garantire il flusso bidirezionale di energia elettrica all'occorrenza e il connettore CHAdEMO è avvantaggiato da questo punto di vista in quanto, non prevedendo ulteriori dispositivi a bordo del veicolo, ricarica la batteria direttamente in DC spostando l'onere della bidirezionalità direttamente sulla colonnina da installare (Tuttle, Baldick, Fares, & Webber, 2013). Un proprietario di veicolo che utilizza un altro tipo di caricatore dovrà perciò provvedere all'acquisto del caricatore bidirezionale, qualora volesse installare un sistema V2H in casa.

Le automobili delle principali case automobilistiche, come ad esempio la Nissan Leaf, presentano spesso una doppia porta di ricarica, per potersi adattare agli standard dei diversi paesi, in attesa di uno standard unico internazionale.

1.6 Principali criticità

Le principali criticità da risolvere e migliorare riguardo la tecnologia V2H e le tecnologie V2X per aumentarne la competitività sul mercato includono:

- Possibile riduzione della vita delle batterie: l'aumento della frequenza dei cicli di carica/scarica delle batterie provoca una riduzione della vita utile teorica delle stesse (Vadi, Bayindir, Colak, & Hossain, 2019). Esistono tuttavia studi riguardo l'aumento della vita di una batteria usata per il V2H tramite algoritmi e il completamento più efficace delle varie fasi di carica e scarica, oltre al fatto che il progresso tecnologico continuo sta drasticamente allungandone la vita (Kobashi & Yarime, 2019);
- Possibile riduzione della capacità delle batterie: Come conseguenza del punto precedente, l'uso della ricarica veloce ridurrebbe drammaticamente la capacità delle batterie, rendendo essenziali programmazione e sensibilizzazione dell'utenza all'utilizzo migliore della nuova tecnologia, sfruttando al massimo le ricariche lente (Everoze, EVConsult commissionato da UK Power Networks, 2018);
- Possibile incremento di prezzo all'acquisto di veicoli elettrici: la necessità di compatibilità con le nuove tecnologie potrebbero incrementare il livello tecnologico dei veicoli ed il loro prezzo all'acquisto e rallentare il passaggio alla mobilità elettrica. I costi d'investimento iniziali per l'acquisto o conversione dell'auto e dell'attrezzatura necessaria ad una postazione domestica di ricarica sono ancora proibitivi per gran parte dell'utenza, soprattutto in assenza di incentivi statali o locali, e il costo di start-up per una configurazione domestica adatta diventerà conveniente solamente nei prossimi anni (Kobashi & Yarime, 2019);

Sono inoltre da considerare alcune ulteriori accorgimenti da adottare a favore della sicurezza generale e della sostenibilità a lungo termine del sistema:

- Urge protezione e sicurezza contro l'eventualità di cyber attacchi contro i sistemi di controllo e management dei flussi di energia elettrica, tramite un sistema di comunicazione efficace tra i vari nodi della rete.
- I cavi e i collegamenti cablati soprattutto pubblici hanno bisogno di protezione e isolamento aggiuntive, per evitare attacchi e conseguentemente problemi all'intera rete e all'utilizzatore.

1.7 Costi dell'energia elettrica e Prezzo Unico Nazionale (PUN)

Una variabile che senz'altro ha una elevata influenza nella valutazione della opportunità di introduzione di sistemi V2h è senz'altro il prezzo dell'energia, con le sue variazioni di elevata ampiezza sia a livello stagionale, che giornalieri ed orario. Il prezzo dell'energia elettrica viene costantemente aggiornato e monitorato su base oraria. In Italia il prezzo rilevato sulla borsa elettrica italiana è unico lato acquisto sul territorio Italiano e viene definito Prezzo Unico Nazionale (PUN). Il PUN è espresso di norma in €/MWh, ed è calcolato definito dal GME come la media, ponderata sulle quantità scambiate, dei Prezzi Zonali di intersezione tra domanda ed offerta di energia definiti ora per ora quotidianamente nel c.d. Mercato del Giorno Prima (MGP). Tale valore viene

corretto per tenere conto dei necessari servizi di aggiustamento del Piano di dispacciamento giornaliero, nonché del costo dell'energia acquistata dall'estero.

Dal punto di vista dell'utente domestico finale, il PUN fornisce un riferimento ma non è "visibile" in maniera diretta in quanto il cliente si interfaccia con uno o più Distributore locali, sul mercato libero o vincolato, che propongono tariffazioni fisse secondo varie fasce orarie dipendenti dal consumo giornaliero, secondo le indicazioni dell'AEEG (Autorità per l'Energia Elettrica ed il GAS), ma è possibile utilizzare il PUN per calcolare il margine di guadagno dei fornitori per ogni offerta realizzata al cliente.

Con i contratti attuali, infatti, il margine di redditività di sistemi V2H per i clienti finali potrebbe essere fortemente sottostimato a causa di contratti di utenza non sufficientemente flessibili per trarne benefici concreti. La valutazione dei benefici attesi in termini economici anche per il fornitori permette di ipotizzare la futura realizzazione (con il conforto dell'AEEG) di forme di contratto più flessibili che permettano di ripartire i benefici tra cliente ed utente finale, anche e soprattutto in modo da incentivare modalità d'uso dei sistemi di accumulo veicolari, da parte dei proprietari dei veicoli stessi, che massimizzino l'interesse individuale, ma anche quello della collettività.

In futuro, inoltre, con l'affermarsi di impianti di produzione domestica e sistemi di collegamento bidirezionali, è pertanto lecito ipotizzare la nascita di contratti di fatturazione e scambio energetico in tempo reale a controvalori variabili su base oraria (seppur con andamenti noti, predefiniti per lunghi intervalli di tempo, come avviene nei normali contratti di utenza privata) grazie ad un'efficace comunicazione tra i nodi della rete.

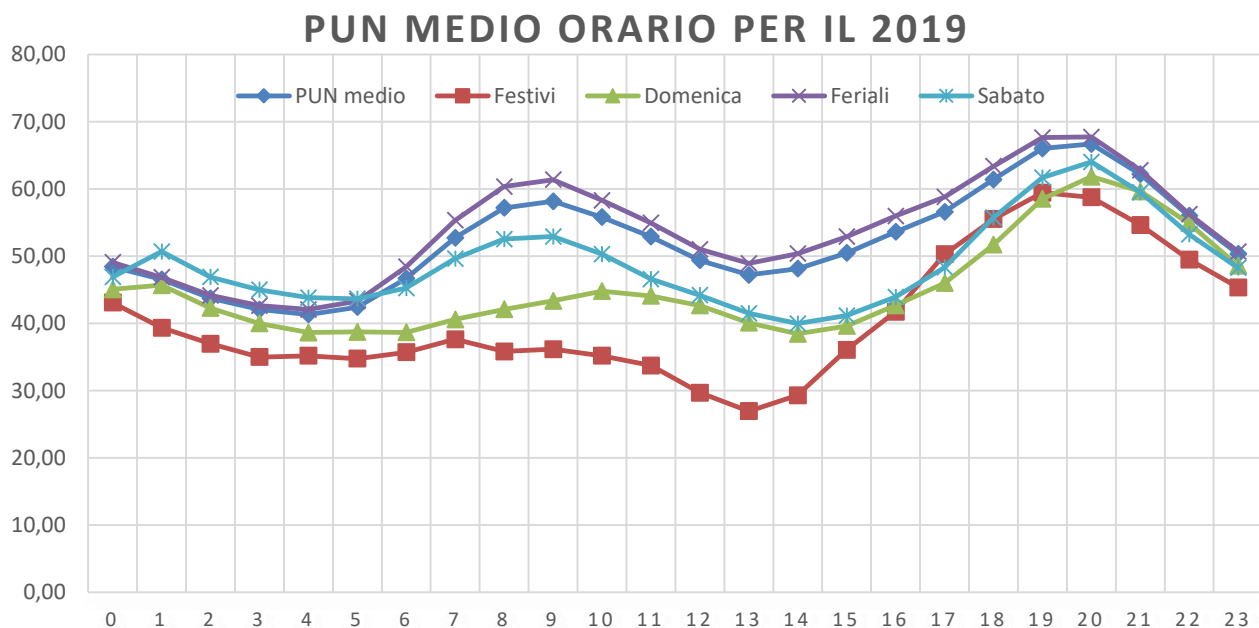


Figura 14: Andamento orario del PUN medio per diversi tipi di giornata (elaborazione dati di (GME, 2019))

Il costo futuro dell'energia risulta molto difficile da prevedere, dipendendo dalla variazione dei costi delle fonti energetiche e da un eventuale miglioramento tecnologico. Ciò rende ancora non quantificabile con precisione il vantaggio economico per l'utente e per la rete di un sistema di scambio dei flussi energetici. Tuttavia, è possibile ottenere un andamento tendenziale del PUN tramite i dati degli anni passati, che vengono pubblicati dallo stesso GME, ed è possibile utilizzare i loro dati per calcolare un PUN indicativo del

prezzo medio dell'energia per ogni ora degli anni precedenti, utilizzando tali proiezioni per fare delle stime di massima.

L'analisi qui effettuata, in particolare, prende in esame i dati forniti dal GME (GME, 2019) riguardo il PUN orario dell'anno 2019 (più stabili e significativi di quelli del 2020, a causa della pandemia in atto). Dai dati forniti, è stata estratta la media del PUN per ogni ora di ogni giorno dell'anno, differenziando inoltre per giorni feriali, domeniche e festivi.

Nel grafico sopra riportato relativamente ai prezzi orari dell'energia elettrica per il 2019 sono riportate cinque curve ottenute elaborando i dati del GME che descrivono l'andamento medio orario del PUN, in €/MWh e identificando gli andamenti medi per cinque diverse tipologie di giornata:

- In blu il valore del PUN medio per ora per ogni giorno dell'anno;
- In giallo il valore medio per ogni giorno feriale dell'anno;
- In grigio il valore medio per ogni domenica dell'anno;
- In azzurro il valore medio per ogni sabato dell'anno;
- In arancione il valore medio per ogni giorno festivo dell'anno.

Come si può notare, l'andamento del prezzo medio dell'energia è decisamente superiore durante i giorni feriali, subendo una decrescita e un parziale appiattimento durante i sabati e ancora maggiore durante domeniche e festivi. Durante il giorno feriale medio, il prezzo dell'energia ha tendenzialmente due picchi: il primo picco mattutino riguarda l'apertura di buona parte delle attività produttive, il secondo la loro chiusura unita all'aumento del consumo domestico, come si deduce anche dal riavvicinamento con le curve di domenica e festivi, giorni in cui tendenzialmente è più probabile avere utenti in casa, specialmente la sera.

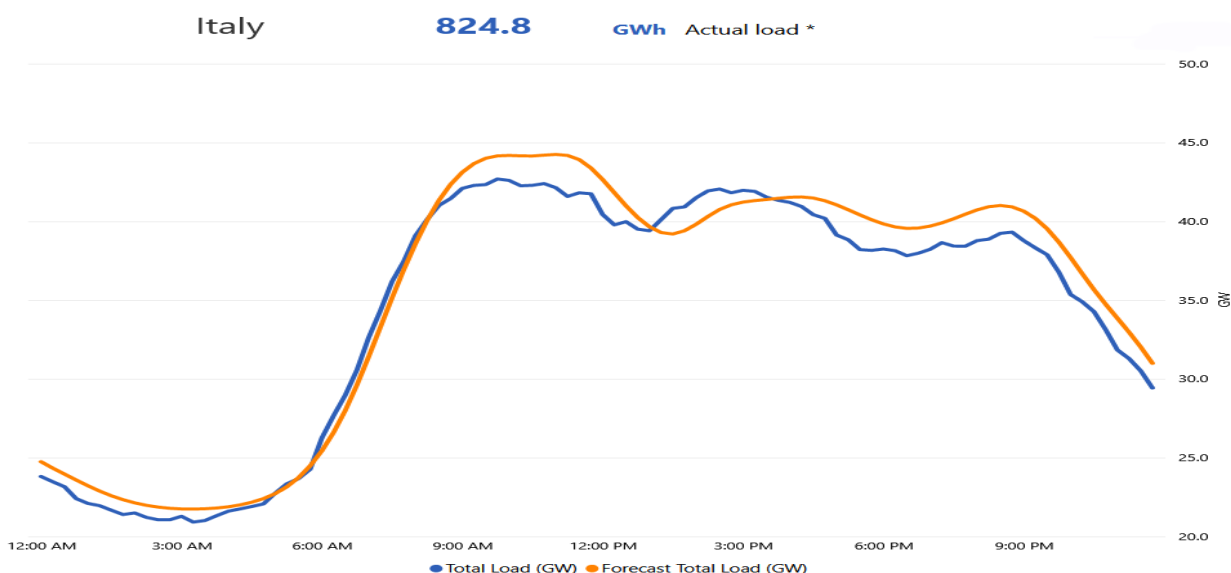


Figura 15: Carico reale e previsto del fabbisogno energetico italiano in una giornata feriale² (TERNA, 2019)

² Il carico è rilevato al 13/05/2019

Bisogna inoltre sottolineare come nel PUN siano compresi anche i certificati verdi per le energie rinnovabili e il suo andamento dipenda anche dal loro apporto. A dimostrazione di ciò possiamo notare la valle sul grafico tra le 10 e le 18 che separa i due picchi, conseguenza del contributo energetico da fonti solari, molto significativo durante le ore centrali della giornata. Tale valle è confermata paragonando l'andamento dei grafici del PUN con quello del grafico della domanda energetica totale giornaliera nazionale forniti da TERNA e riportato poco sopra. Si noti come la domanda corrispondente alla fascia 10-18 non diminuisce allo stesso modo del PUN per le stesse ore.

Le tecnologie V2H potrebbero contribuire in maniera rilevante ad appiattire la curva principalmente durante il picco serale, riducendo i costi tramite lo sfruttamento dell'energia del veicolo per il fabbisogno domestico. Le tecnologie V2B punterebbero invece soprattutto ad appiattire il primo picco per le attività lavorative, sfruttando anche il contributo del fotovoltaico per le ore centrali della giornata.

Utilizzando dati così elaborati è possibile valutare i possibili vantaggi specifici di sistemi V2H anche durante i giorni festivi e le domeniche, quando il prezzo è inferiore e l'utente tendenzialmente resta più in casa, il vantaggio dell'utilizzo del V2H per alimentare le utenze domestiche risulta minore, nonostante una più probabile maggiore disponibilità dello stesso veicolo collegato alla rete, e l'autoconsumo dell'energia solare è la soluzione più vantaggiosa in queste giornate. Di contro, però i vantaggi sarebbero comunque rilevanti nelle ore serali e, tramite adeguata pianificazione delle ricariche e grazie alla disponibilità costante del veicolo, sarebbe possibile ricaricare l'auto in qualunque momento di basso prezzo, monitorando in tempo reale il prezzo dell'energia, per sfruttarlo sulla rete domestica nelle ore serali.

Tramite il ridimensionamento del sistema di distribuzione e delle perdite di rete, anche il Servizi di rete potranno avere un dimensionamento meno ampio contribuendo al risparmio generale sul costo dell'energia. La riduzione generale dei costi di distribuzione dell'energia verrebbe poi riflessa sull'intera utenza nazionale, con un ulteriore risparmio evidente per tutti sulle voci della bolletta elettrica riferite ai costi per il trasporto; ovviamente, ipotizzando un futuro utilizzo massivo della tecnologia V2H, il risparmio esaminato con i dati sul PUN attuali è sottostimato poiché, dato l'abbassamento dei costi generali dell'energia, è lecito supporre un incremento del risparmio causato da suddetta riduzione.

Appiattire la curva del PUN, livellando di conseguenza i consumi di energia elettrica, aumenta inoltre il margine di guadagno per i produttori e fornitori di energia, che avranno tutto l'interesse a ridurre le proprie tariffe con l'utenza per restare competitivi sul mercato.

Tutto ciò premesso, nella parte seguente di questa relazione si è provveduto alla catalogazione dei possibili utenti di tecnologie V2H ed alla loro valutazione in termini energetico-economico-ambientali, per individuare le condizioni di massima appetibilità per tale tecnologie ed i margini attesi di redditività delle tecnologie stesse.

2 Valutazione comparativa di contesti applicativi di tecnologie v2h e dei relativi benefici attesi in termini energetici ed economici

2.1 Premesse ed Ipotesi

Una delle difficoltà dello studio che deve essere realizzato risiede nella estrema eterogeneità delle condizioni locali di potenziale applicazione di tecnologie V2h. L'approccio utilizzato nell'analisi è perciò stato il più possibile parametrico per permettere la sua applicazione a contesti diversificati, ma anche la sua ripetizione negli stessi contesti in un periodo futuro per la valutazione di trend temporali comparativi.

Luoghi geografici diversi, ad esempio, possono presentare diversi apporti energetici da fonti rinnovabili e possono presentare criticità uniche ed essere più o meno convenienti. Laddove ad esempio sia disponibile una minore insolazione media, si potrebbe effettuare peak-shaving in maniera molto più marcata, sostituendo l'apporto della batteria del veicolo elettrico all'acquisto da rete per soddisfare picchi di domanda ma si avrebbero minor energia disponibile per l'autoconsumo e per un'eventuale rivendita alla rete dell'energia in eccesso.

Viceversa, luoghi più adatti per la produzione fotovoltaica otterrebbero meno vantaggi economici dall'investimento nella sola tecnologia V2H perché avrebbero più ore del giorno coperte dal fotovoltaico, ma avrebbero decisamente maggiore energia in eccesso da rivendere alla rete.

In ogni caso, come premesso, per valutare i reali benefici attesi da tecnologie V2H è necessario poter ipotizzare, anche al di là di quanto non sia ad oggi consentito localmente dall'AAEG, una piena flessibilità nella tariffazione dell'energia per le diverse fasce orarie.

Per quanto riguarda le categorie di utenti analizzati, si è qui distinto tra cinque possibili tipologie utenti/lavoratori, differenziati per il tempo di permanenza dell'auto in connessione alla rete domestica (e quindi diversa programmazione delle fasi di carica e scarica), differenti tipologie di veicolo e diverse strutture della rete domestica, in modo che sia possibile fare il confronto con il prezzo dell'energia orario medio per diversi tipi di giornata ed utente presi in esame.

L'analisi è stata realizzata con riferimento all'insolazione media nella città dell'Aquila e ripetuta per due diverse taglie di impianto fotovoltaico eventualmente presenti a servizio dell'abitazione (2 e 5kW di picco).

Per quel che riguarda le modalità di fatturazione attualmente in essere con il fornitore di energia elettrica si sono utilizzate sia la Monoraria che la Bioraria.

Nel seguito, prima di vedere i principali risultati dell'analisi, si riportano i dettagli relativi agli scenari realizzati in termini di:

- tipologia di rete domestica presente
- tipologia di veicolo utilizzato e connesso alla rete
- tipologia di utente/lavoratore e caratteristiche dei consumi energetici attesi

2.2 Tipi di rete domestica

Diversi sono gli scenari che sono stati analizzati. Vediamoli nel dettaglio:

Scenario 1 - Rete domestica minimale

Il primo scenario preso in esame riguarda una semplice abitazione e un veicolo elettrico. La rete provvede sia al fabbisogno energetico domestico, sia alla ricarica giornaliera del veicolo e il costo dell'investimento iniziale per l'utente risulta perciò soltanto quello del veicolo.

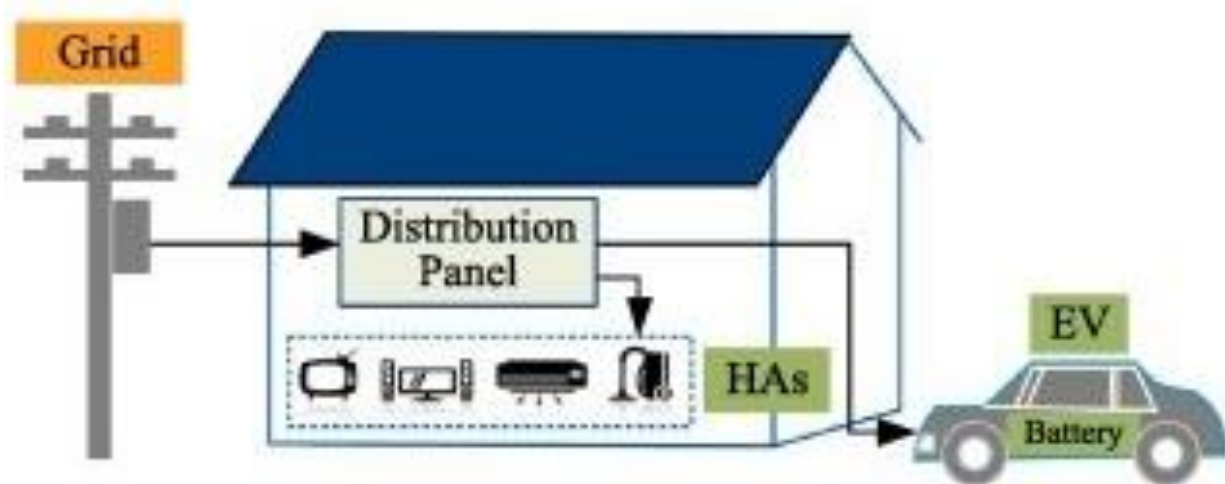


Figura .16: Configurazione domestica per il primo scenario (Chen, et al., 2020)

Scenario 2 - Rete domestica con impianto fotovoltaico

Il secondo scenario consiste in una evoluzione del primo scenario, con l'aggiunta di un impianto fotovoltaico domestico. Il costo dell'investimento iniziale ora è pari a quello del veicolo più il costo dell'impianto fotovoltaico.

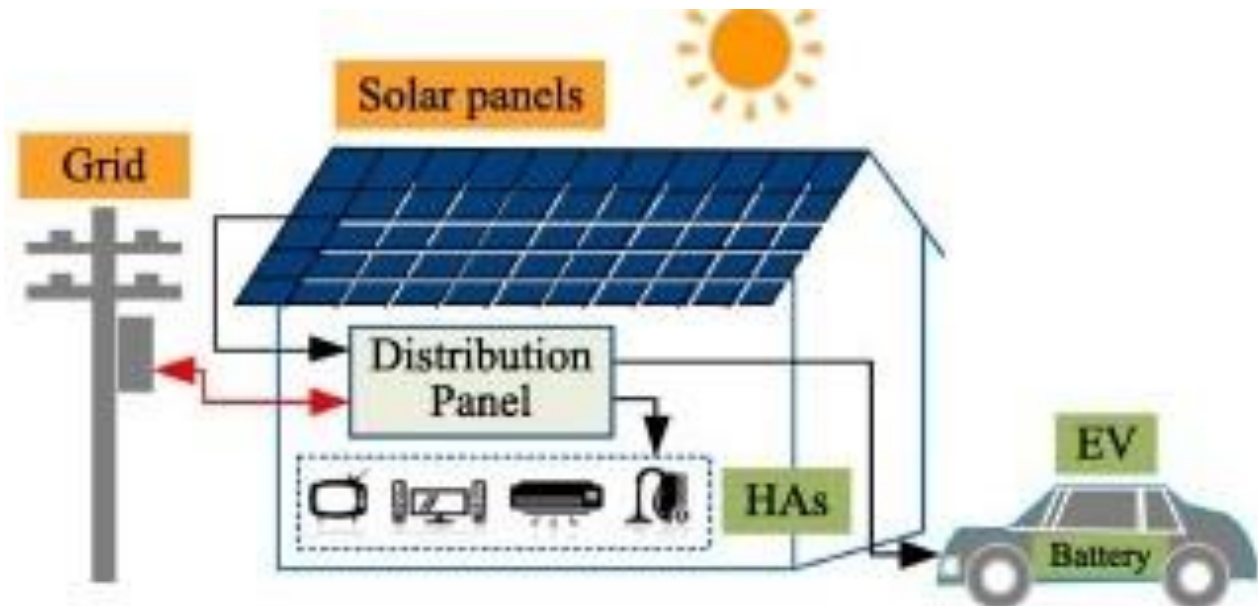


Figura 17: Configurazione domestica per il secondo scenario (Chen, et al., 2020)

Scenario 3 - Rete domestica minimale e Sistema V2H

Il terzo scenario è ancora un’evoluzione del primo, ma stavolta prevede l’utilizzo di sistemi di collegamento V2H tramite caricatore bidirezionale, senza la presenza dell’impianto fotovoltaico. In questo contesto, la ricarica del veicolo avviene tramite collegamento alla rete mentre con l’utilizzo del cavo bidirezionale è possibile bypassare la rete e fornire le utenze domestiche con la batteria dell’automobile. Bisogna tenere presente che la rete necessita di corrente alternata, di conseguenza, a seconda del tipo di connettore, potrebbe essere più costoso in quanto necessita di un inverter integrato, come nel caso di una porta di ricarica CHAdeMO; per l’analisi tuttavia è stato considerato solo l’acquisto del caricatore. Il costo di investimento comprende l’autovettura e il cavo bidirezionale di collegamento.

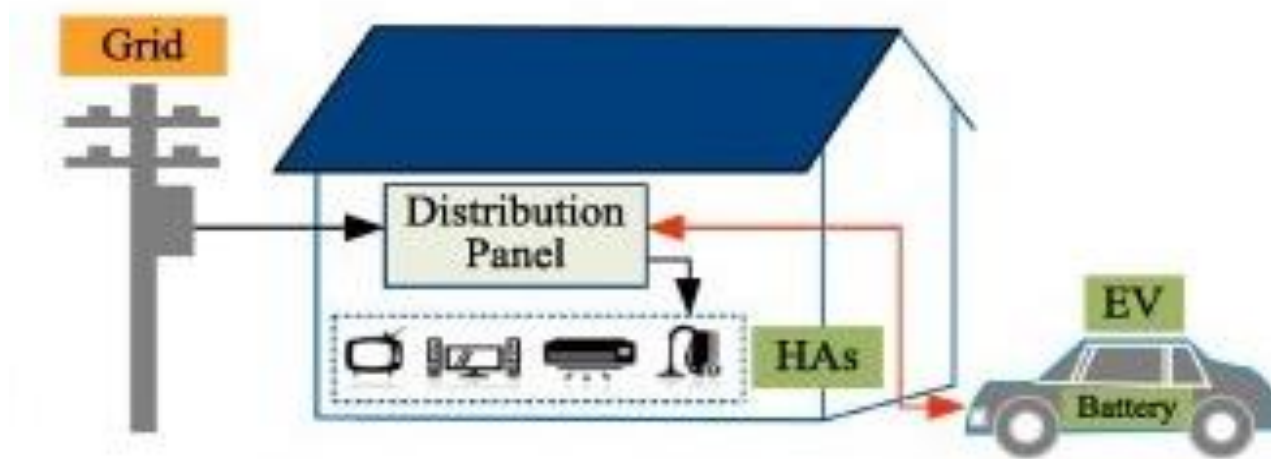


Figura 18: Configurazione domestica per il terzo scenario (Chen, et al., 2020)

Scenario 4 - Rete domestica con impianto fotovoltaico e Sistema V2H

Infine, il quarto scenario presenta entrambi gli elementi del secondo e del terzo, con un impianto fotovoltaico domestico affiancato dalla tecnologia V2H. Sia impianto fotovoltaico che connettore bidirezionale potrebbero presentare la necessità di un inverter, che aumenterebbe la complessità impiantistica e, dunque, i costi di investimento totali.

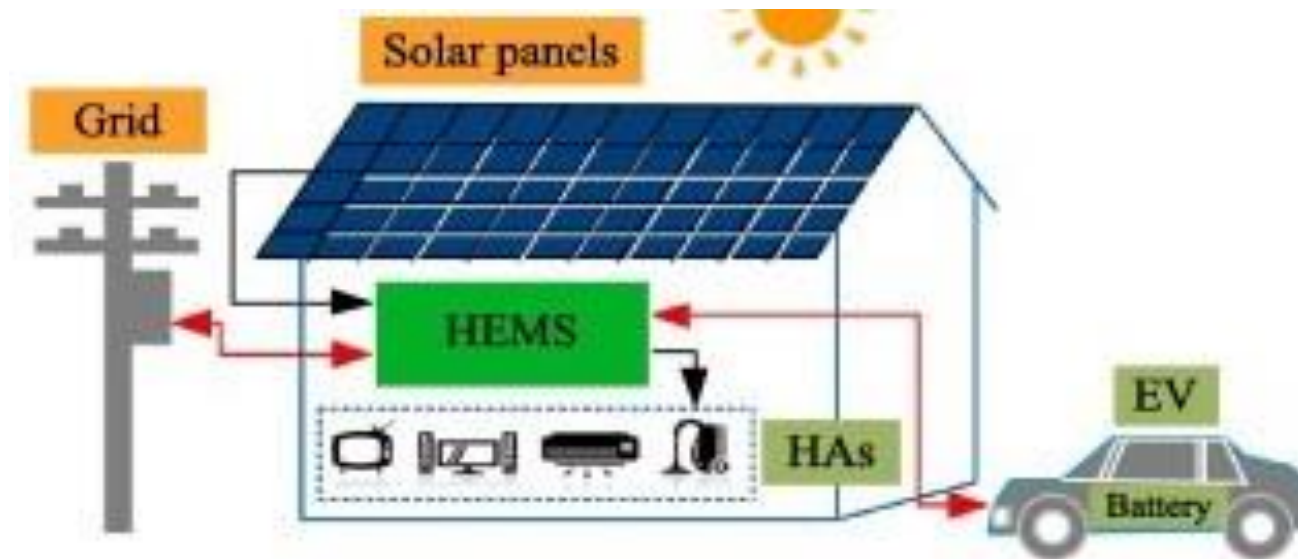


Figura 19: Configurazione domestica per il quarto scenario (Chen, et al., 2020)

L'impianto fotovoltaico agisce durante le ore centrali del giorno, quando anche il prezzo dell'energia è minore, quindi, a seconda del tipo di utente e del giorno preso in esame, è possibile utilizzare tale energia sia per alimentare l'abitazione sia per ricaricare il veicolo quando collegato, ed utilizzare l'energia accumulata per viaggi o per alimentare l'abitazione durante le ore serali, quando l'energia ha un prezzo maggiore. Il fabbisogno del quarto scenario è stato ipotizzato per dare la precedenza al consumo dell'energia prodotta fotovoltaico rispetto al V2H, perciò ogni utente non utilizza mai il V2H durante le ore centrali della giornata.

Per i 4 scenari presi in esame, l'analisi prevede due diversi tipi di contrattistica per stabilire i costi annuali in bolletta dell'energia elettrica. Tutti gli scenari sono stati ipotizzati avere un contratto con l'ENEL per l'energia elettrica, con potenza impegnata pari a 3 kW per l'energia elettrica ed il calcolo è stato effettuato per due tariffazioni³, monoraria e bioraria, che presentano rispettivamente un prezzo unico al kWh durante tutto il giorno e un prezzo differente per due fasce orarie della giornata, maggiore nella fascia oraria F1 (dal lunedì al venerdì dalle 8 alle 19) e minore nelle fasce orarie F2 e F3 (i festivi e tutti gli altri giorni dalle 19 alle 8).

Tipo di Tariffazione	Prezzo [€/kWh]
Monoraria (Senza Orari)	0,079
Bioraria (Notte e Festivi)	0,144 (dal lunedì al sabato, dalle 7 alle 23) 0 (domenica, festivi e tutti i giorni dalle 23 alle 7)

Tabella 1: Riassunto dei prezzi per le tariffazioni prese in esame

Ovviamente l'analisi dei vantaggi della tecnologia V2H tiene maggiormente in considerazione l'utente con tariffazione bioraria e ci aspettiamo banalmente un aumento dei costi della bolletta per l'utente che utilizza il V2H con tariffazione monoraria; questo perché l'applicazione del V2H utilizzando una tariffa con lo stesso prezzo per l'energia in tutte le fasce orarie non presenta alcun vantaggio economico per l'utente (sebbene comunque sarebbe positivo per il produttore, grazie ai vantaggi del peak shaving), sarebbe semplicemente uno spostamento dei consumi da un momento all'altro della giornata, addirittura incrementando i costi in bolletta a causa del rendimento non perfetto dei cicli di carica e scarica della batteria del veicolo.

Gli scenari 2 e 4, che presentano un impianto fotovoltaico, hanno attivato in aggiunta un contratto con il GSE come produttori di energia elettrica, che prevede un rimborso annuale della parte in conto energia della bolletta elettrica. Il valore di tale rimborso verrà analizzata più avanti.

La formula per il calcolo della bolletta elettrica⁴ è la seguente:

$$C_{bolletta}^{tot} = ((Cons + C_{energia}^{fisso} + C_{energia}^{var} + Q_{trasp}^{fisso} + Q_{trasp}^{pot} + Q_{trasp}^{var} + OnSis) * Acc) * IVA$$

In cui:

³ Le tariffazioni dell'ENEL si riferiscono ai prezzi del settembre 2020

⁴ La formula è stata estrapolata dal dettaglio delle voci di una bolletta ENEL

- *Cons* è la quota in conto energia dipendente dai consumi e il cui prezzo al kWh dipende dal gestore con cui si attiva la fornitura, inclusiva delle perdite di rete;
- *C_{energia}*, suddiviso in fisso e variabile, si compone di un prezzo fisso annuale dilazionato mensilmente dipendente dal fornitore di rete (che include la commercializzazione di vendita e la componente di dispacciamento) e di una quota variabile con i consumi includente anche il corrispettivo di sbilanciamento;
- *Q_{trasp}*⁵ rappresenta la quota per le spese di trasporto, suddivisa in parte fissa, variabile e dipendente dalla potenza installata per la fornitura (3 kW per gli utenti considerati in questa analisi);
- *OnSis*⁶ sono gli oneri di sistema, anch'essi proporzionali ai consumi domestici;
- *Acc* è la componente delle accise al kWh sull'energia elettrica, variabile in base ai consumi e alla potenza installata dalla fornitura. L'accisa inoltre prevede delle quote di consumo sotto il quale è prevista l'esenzione dal pagamento e nel caso in esame, l'esenzione è prevista per consumi mensili inferiori a 220 kWh. Per consumi superiori, l'accisa prevede il pagamento per la differenza tra il consumo e 220;
- *IVA* è l'imposta considerata sull'acquisto dell'energia, pari al 10% nel caso di fornitura domestica.

Dal costo annuale delle bollette è stata omessa la quota del canone televisivo, fisso per ogni nucleo domestico e non utile ai fini della comparazione.

2.3 Tipi di veicolo

Nell'ambito di questa analisi verranno presi in considerazione due tipi di veicolo diversi, per poter valutare quale delle due tipologie garantisce maggiori benefici nell'ambito del tempo di ritorno economico dell'investimento per la rete domestica.

Come veicolo elettrico verrà presa in considerazione una Nissan Leaf e+ Acenta, ultima versione della Nissan Leaf, automobile full electric (BEV) la cui batteria ha una capacità dichiarata di C=62 kWh e un'autonomia nel ciclo WLTP di 385km, entrambi dati molto maggiori rispetto alla precedente versione, nonostante un consumo incrementato leggermente a 0,185 kWh/km, al prezzo di listino di 41.000€⁷.



Figura 20: Nissan Leaf e+ Acenta

⁵ I valori sono stabiliti trimestralmente da ARERA e sono validi per tutti i fornitori del mercato libero

⁶ Idem nota precedente

⁷ Il prezzo di listino è al netto degli incentivi

L'automobile presenta una doppia porta di ricarica, una di tipo Mennekes e l'altra CHAdeMO. Si può utilizzare la prima per la ricarica lenta programmata tramite una wallbox installata in casa e la seconda per collegare l'auto alle utenze domestiche o per ricariche rapide in ambito pubblico. Il connettore CHAdeMO necessita di un inverter per essere collegato alla rete domestica.



Figura 21: Focus sulle prese di ricarica della Nissan Leaf, CHAdeMO a sinistra e Mennekes a destra

L'altra tipologia di veicolo presa in esame è una Toyota Prius versione Plug-in, un'automobile ibrida fornita di presa per la ricarica e dunque in grado di interfacciare il proprio sistema di accumulo alla rete (PHEV).



Figura 22: Toyota Prius versione Plug-in

Essendo un veicolo ibrido, la batteria avrà una capacità decisamente inferiore rispetto alla Leaf, attestandosi su $C=8,788$ kWh dichiarati, ed in grado di percorrere circa 50 km soltanto in configurazione elettrica per un

costo di 42.000€⁸, simile a quello della Leaf. La scarsa capacità della batteria è compensata dal più rapido ciclo di carica/scarica⁹ e dal ridotto consumo della stessa viaggiando in ibrido. Il motore termico ricarica l'auto durante il tragitto, garantendo 1,5km di autonomia in elettrico ogni km percorso con il termico, al costo però di maggiori emissioni e consumo di carburante. Il modello è inoltre dotato di un pannello solare posto in cima all'auto garantisce un'ulteriore ricarica della batteria se esposta al sole nelle ore più adatte, che permette di ricaricarla di circa 0,06 kWh ogni ora, che permette un'ulteriore piccolo incremento dell'autonomia.

Un veicolo ibrido è potenzialmente molto attraente per la tecnologia V2H (Tuttle, Baldick, Fares, & Webber, 2013) in quanto avere una piccola centrale di produzione elettrica aggiuntiva in casa, rappresentata dal motore termico, può rendere più efficace anche un'auto ibrida come sistema di accumulo mobile e può portare ad avere SoC_{min} minori senza creare problemi all'utente medio riguardo viaggi non previsti o d'emergenza, data la facile e veloce reperibilità di carburante e la capacità di viaggiare anche senza motore elettrico. Il rovescio della medaglia è che sarebbero meno marcate la riduzione di costi ed emissioni da bordo veicolo, oltre al fatto che le capacità inferiori della batteria di un veicolo ibrido plug-in ridurrebbero la finestra di utilizzo del V2H in caso di fabbisogno domestico particolarmente elevato.

Nell'analisi che seguirà verranno considerati per la Prius il tragitto casa-lavoro percorso sia in modalità ibrida classica, con il motore elettrico ad aiutare il motore termico mentre questi ricarica l'accumulatore durante la marcia, sia con utilizzo intelligente alternando le due modalità di marcia in elettrico e in ibrido. Il livello di carica della batteria viene di conseguenza considerato stazionario durante gli spostamenti in utilizzo ibrido e simile al caso della Leaf in utilizzo combinato. Quando il tratto di strada da percorrere è inferiore all'autonomia del veicolo in elettrico, la Prius può compiere tale tragitto esclusivamente in modalità elettrica e l'analisi si premurerà inoltre di valutare emissioni e costi tra le due modalità di utilizzo dell'automobile. La discriminante del tragitto casa-lavoro viene meno per la Prius utilizzata in modalità ibrida, rispetto al prezzo della bolletta elettrica, ma per il calcolo del costo annuale e del tempo di ritorno dell'investimento è stato considerato anche il prezzo della benzina, che differenzia i vari profili d'utente in base alla distanza.

La tecnologia V2H abbinata all'utilizzo come auto elettrica distanze maggiori dell'autonomia in elettrico prosciugherebbe la già piccola batteria e sarebbe controproducente per la maggior parte degli utenti ricaricarla al rientro in casa per usarla come sistema di accumulo, in quanto si andrebbe forzatamente a ricaricare durante le ore più costose del giorno per utilizzare l'energia nelle più economiche ore notturne. L'analisi inoltre si premurerà di trovare il valore di km percorribili dalla Prius in modalità solo elettrica che permetterà di mantenere una carica della batteria sufficiente all'applicazione efficace del V2H al rientro a casa e tenterà inoltre di valutare se sia conveniente conservarne una parte appositamente per tale scopo quando si dovranno percorrere distanze maggiori, aumentando la distanza percorsa usando il motore termico.

L'aspettativa è ovviamente che il profilo delle emissioni per l'ibrido sia maggiore comparato con l'elettrico, e si vuole verificare l'applicabilità e l'efficacia della tecnologia V2H simulando l'utilizzo di un veicolo ibrido nelle diverse condizioni.

2.4 Profili di utenza

I modelli di utenza presi in considerazione hanno tutti in comune il fatto di avere la disponibilità di una unica auto elettrica, che il caso che oggi appare certamente più probabile. Volendo ampliare i nuclei familiari, si avrebbe un incremento dei vantaggi grazie all'utilizzo di più automobili in grado di alimentare l'abitazione e il fabbisogno energetico domestico sarebbe coperto per una fetta ancora maggiore dai veicoli elettrici.

⁸ Idem nota precedente

⁹ Il ciclo di ricarica risulta più rapido ed efficiente utilizzando un caricatore proprietario fornito da Toyota

L'investimento incrementerebbe soltanto della quota delle automobili aggiuntive, rendendo divisibile per più persone l'investimento riguardo le infrastrutture e i connettori necessari all'abitazione.

Un nucleo familiare ingrandito però provocherebbe anche un aumento del fabbisogno giornaliero e l'utilizzo di un veicolo ibrido plug-in utilizzato prevalentemente in elettrico potrebbe non essere sufficiente per il V2H anche per distanze inferiori a quelle calcolate da questa analisi, nonostante potrebbe comunque ammortizzare i costi in bolletta.

Per ogni tipologia d'utente, come già accennato, il contratto con il fornitore dell'energia elettrica di questa analisi tiene conto dei due tipi più frequenti di tariffazione, monoraria e bioraria. Il contratto prevede inoltre il massimo di potenza impegnabile pari a 3kW, perciò i profili dei fabbisogni sono stati fatti tenendo conto di tale limite di energia sfruttabile, tenendo sotto tale soglia i consumi orari. Gli utenti presi in esame si differenziano per il tipo di turno lavorativo: turno mattutino (6:00 – 14:00), turno pomeridiano (14:00 – 22:00), turno notturno (22:00 – 6:00), turno in ufficio (8:00 – 17:00) e in smart working.

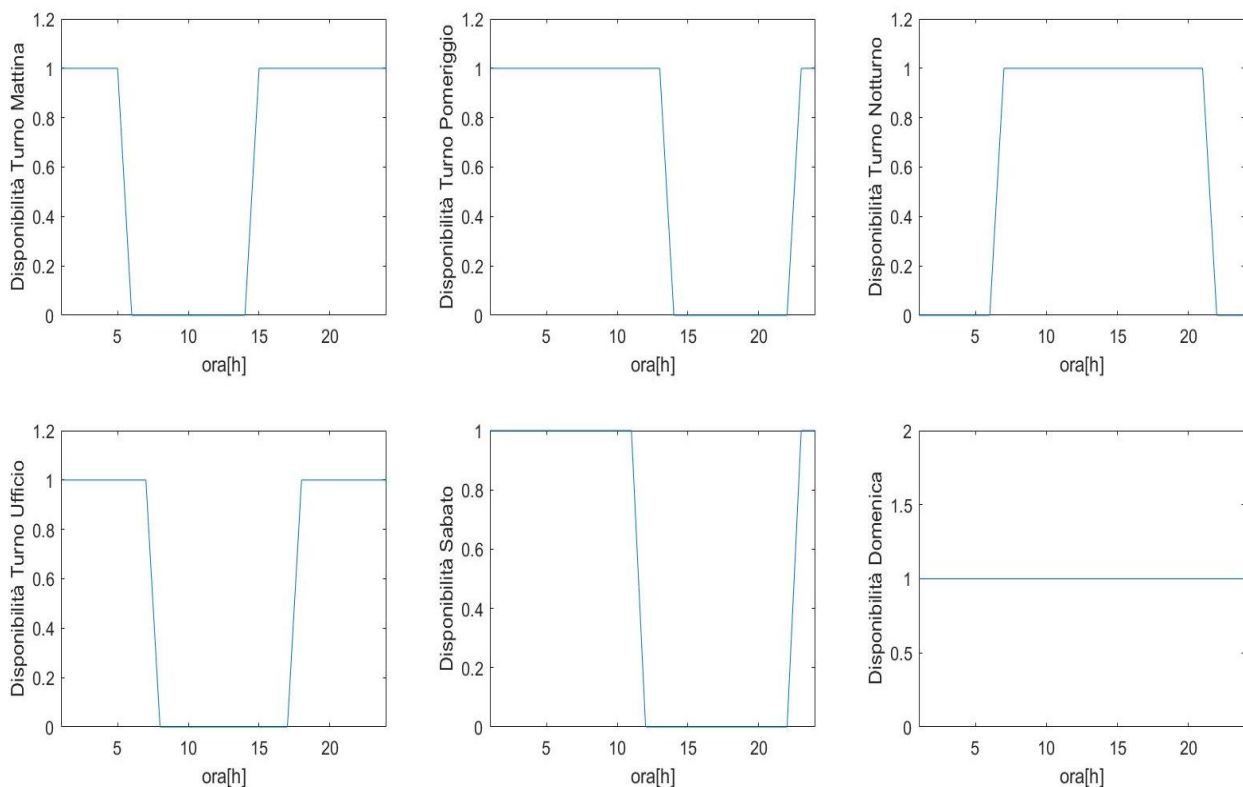


Figura 23: Permanenza in casa per i diversi tipi di turno lavorativo, per il sabato e per la domenica

Tale differenziazione permette di stabilire i tempi di disponibilità del collegamento al veicolo per supplire alla domanda energetica, in particolare il profilo dell'utente in smart working è un modello di utente che considera l'automobile collegata in casa durante tutto il giorno, in modo da stabilire il momento della giornata più conveniente per le uscite. Nel considerare il fabbisogno giornaliero per l'utente in smart working, il tragitto giornaliero compiuto è stato considerato spalmato durante la giornata, nella fascia oraria diurna F1, relegando la carica dell'automobile alle ore di fascia notturna, in modo da massimizzare i vantaggi. Di conseguenza le voci orarie sul fabbisogno si possono considerare intercambiabili e ai fini del calcolo sono state considerate come orari in cui l'utente esce di casa le due ore di fascia diurna F1 a minor contributo energetico da parte del fotovoltaico, ovvero le 8 e le 18.

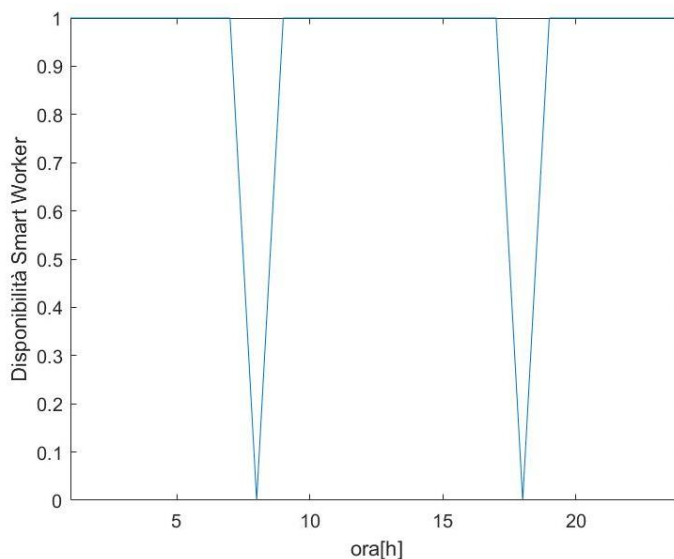


Figura 24: Permanenza in casa considerata per l'utente in Smart Working

I giorni festivi, i sabati e le domeniche, invece, saranno considerati uguali per tutte le categorie di lavoratore.

Il tempo di permanenza in casa dell'automobile è influenzato dal tragitto casa-lavoro, per cui sono stati considerati tragitti di 10km, 30km e 80km. Il lavoratore in smart working non ha ovviamente tragitti da compiere per raggiungere il posto di lavoro, ma è stato equiparato comunque agli altri profili assegnandogli le stesse tre distanze percorse giornalmente, in modo da stabilire anche nel suo caso quanto l'utilizzo dell'auto influisca sul risultato finale.

Nel considerare i tipi di utente, sono stati anche preparati dei profili di consumo giornaliero in base alla presenza dell'utente nell'abitazione. Per stabilire dunque il carico domestico, sono stati considerati i consumi tipo dei seguenti elettrodomestici per simulare l'entità del fabbisogno energetico domestico giornaliero per ogni tipologia di utente:

ELETTRODOMESTICO	CONSUMO
FRIGORIFERO CLASSE A+++ , 160 W	C=182 KWH/ANNO, OVVERO 0.021 KWH/H
LAVATRICE CLASSE A+++	C=1 KWH/LAVAGGIO
LAVASTOVIGLIE CLASSE A	C=1 KWH/CICLO
TELEVISORE CLASSE A+ LCD 55"	C=150 KWH/ANNO (ACCESO), OVVERO 0.017KWH/H + 0.003KWH/H (STANDBY)
COMPUTER FISSO, 200W	C=0.2 KWH/H
FORNO ELETTRICO CLASSE A	C=1 KWH/H
CARICABATTERIE CELLULARE	C=0.004 KWH/H
LAMPADINA 4W	C=0,004 KWH/H

Tabella 2: Elenco degli elettrodomestici considerati con i rispettivi consumi

Per quanto riguarda il frigorifero, l'elettrodomestico è considerato attivo costantemente durante tutto l'anno, senza però tenere conto delle variazioni stagionali di consumo.

Il consumo della lavatrice, della lavastoviglie e del forno è stato studiato nel caso di un utilizzo al giorno, in modo da considerare contemporaneamente il caso peggiore possibile di consumo annuale e il picco giornaliero di consumo dell'elettrodomestico. In una situazione più aderente alla tendenza media, tali elettrodomestici verrebbero utilizzati meno frequentemente, riducendo i consumi.

Il televisore ha un consumo costante di 0,003kWh/h durante tutto l'anno in standby, a cui va sommato il consumo per l'accensione, ipotizzata di circa 2 ore al giorno distribuite quando l'utente si trova in casa. Il consumo e l'utilizzo del computer sono considerati in maniera equivalente al televisore, tranne per l'utente in smart working, che lo utilizzerà in maniera maggiore durante la giornata, effettuando il proprio turno lavorativo in casa. Infine, sono state tenute in considerazione due lampadine durante le ore serali e il consumo di un caricabatterie per telefono cellulare in funzione durante la notte (o il giorno, nel caso del lavoratore nel turno notturno). Il fabbisogno domestico dei profili di utente dunque è il seguente:

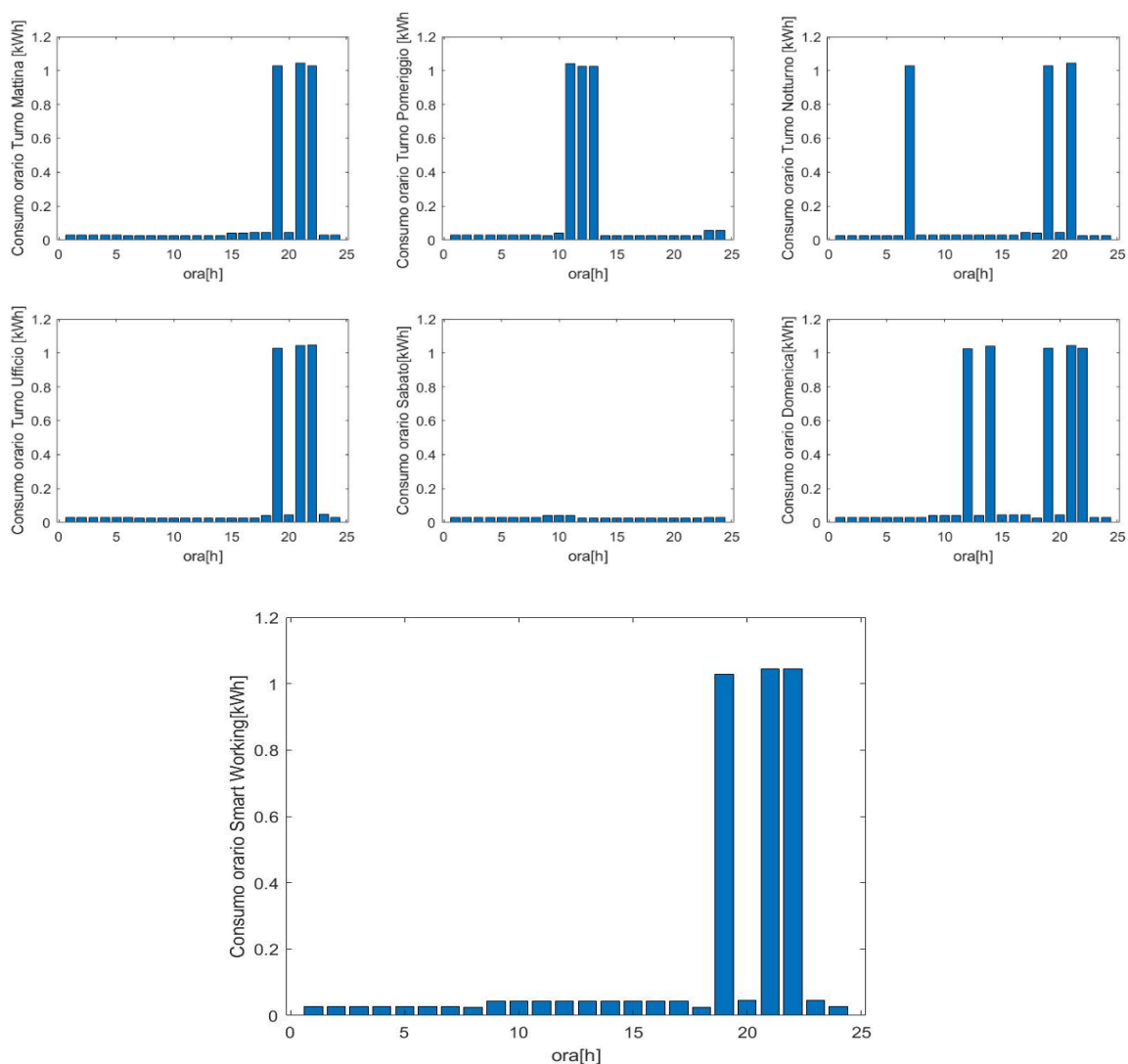


Figura 25: Fabbisogno domestico giornaliero per i diversi turni lavorativi, per il sabato e per la domenica, esclusa la ricarica dell'automobile

Per tutti gli utenti sono stati considerati gli stessi consumi dei giorni festivi, sabato e domenica, ipotizzando il sabato come giorno più dedicato all'uscita (quindi con minori consumi domestici) e la domenica come giorno in cui tutti i tipi di utente restano in casa (perciò con consumi maggiori). Date le premesse, dunque, il

tragitto compiuto il sabato è stato ipotizzato simile a quello casa-lavoro e praticamente nullo la domenica, cosa che influisce sulla quantità di energia da ricaricare nell'auto.

A questi consumi va aggiunto il consumo per la ricarica dell'auto, nel momento della giornata più consona a seconda del turno lavorativo dell'utente. Il tipo di ricarica domestica analizzato è la ricarica lenta da completare in circa 6-7 ore, aggiungendo perciò al computo orario del fabbisogno giornaliero una percentuale della capacità della batteria per ognuna delle ore di ricarica, meno la percentuale minima di SoC sotto il quale non bisogna scendere. Nel caso della Prius utilizzata in versione ibrida, il limite minimo della batteria è considerato semplicemente la carica quasi nulla, potendo il mezzo muoversi anche senza l'utilizzo della carica elettrica, ma senza raggiungere lo zero per non rovinare il sistema di accumulo. Il quantitativo di energia disponibile dalla Prius è $C_{disp}=8,5kWh$, per mantenere una certa quantità di carica residua ed evitare di danneggiare la batteria azzerandone del tutto la carica.

Per quanto riguarda la Leaf, invece, è necessario stabilire un limite minimo di carica sotto il quale non bisogna mai scendere. Tale limite è stato considerato pari a $C_{min}=10kWh$, una quantità di carica tale da garantire l'andata e il ritorno a casa entro un raggio superiore ai 20km (ovviamente questo limite è puramente soggettivo e variabile a seconda dell'utente singolo), rendendo dunque la carica disponibile pari a $C_{disp}=52kWh$.

Ove possibile è stata considerata più opportuna la ricarica nelle ore notturne, a causa del ridotto costo dell'energia elettrica durante tali orari. A causa del rendimento di ricarica, considerato pari al 97%, l'energia necessaria al completamento della carica è stata moltiplicata per 1,03. Sono di seguito riportati i profili di ricarica per l'auto elettrica, analoghi a quelli dell'auto ibrida che sfrutta la modalità elettrica:

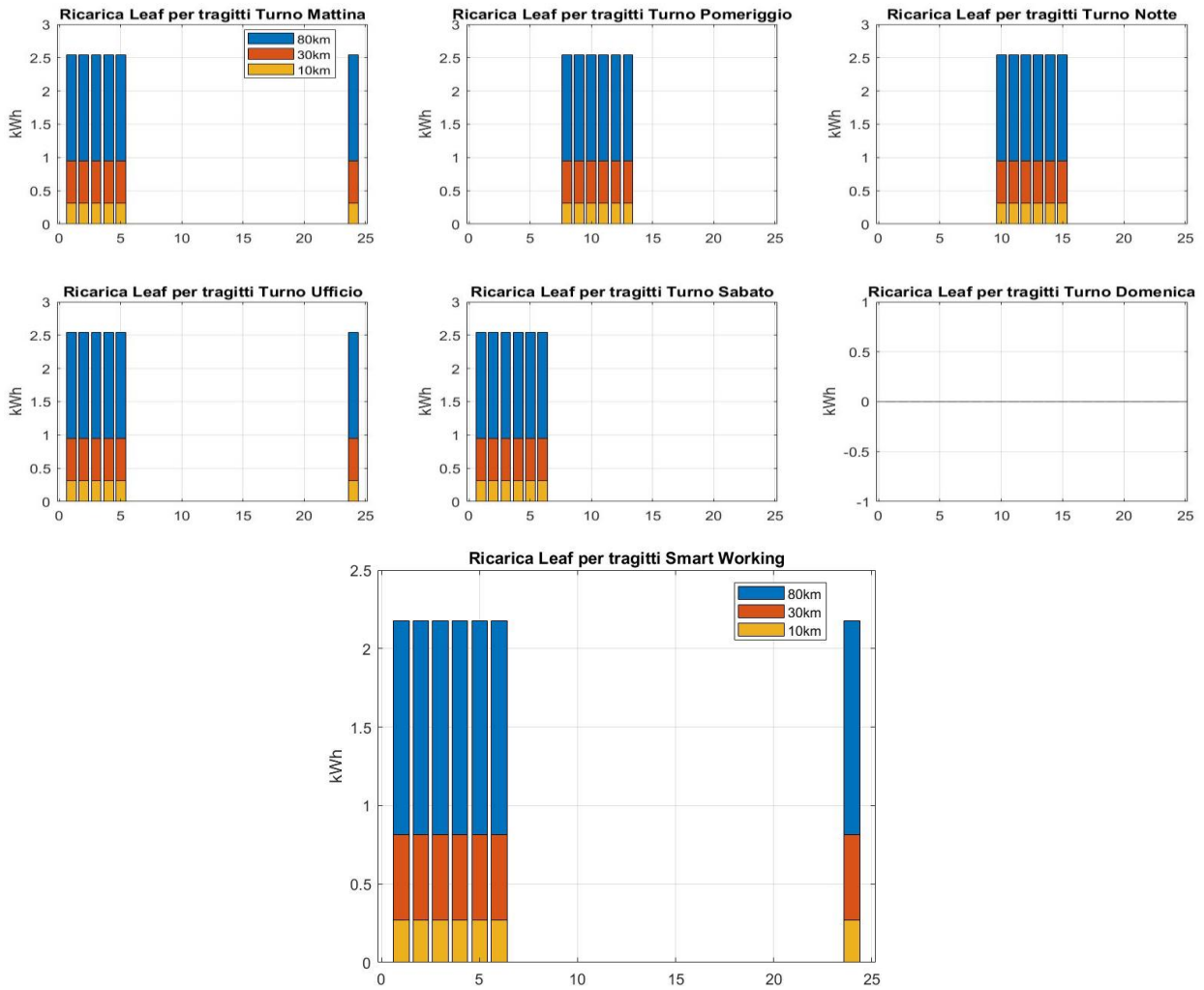


Figura 26: Distribuzione oraria della ricarica della Leaf per i soli tragitti compiuti

Non è stato tenuto conto, tuttavia, della riduzione di capacità della batteria causata dall'invecchiamento né del maggior consumo causato dalle variazioni di temperatura, nel confrontare gli investimenti, perché uguali per tutti e difficilmente prevedibili con precisione.

Infine, per gli utenti negli scenari 3 e 4, le fasce orarie di utilizzo del V2H sono le seguenti:

TURNO	SCENARIO 3	SCENARIO 4
MATTINA	DALLE 15 ALLE 22	DALLE 18 ALLE 22
POMERIGGIO	DALLE 24 ALLE 7	DALLE 24 ALLE 7
NOTTE	DALLE 16 ALLE 21	DALLE 18 ALLE 21
UFFICIO	DALLE 18 ALLE 23	DALLE 18 ALLE 23
SMART WORKING	DALLE 16 ALLE 23	DALLE 19 ALLE 23
SABATO	MAI	MAI
DOMENICA	DALLE 15 ALLE 23	DALLE 18 ALLE 23

Tabella 3: Finestre di utilizzo del V2H per tipologia di utente

Il criterio utilizzato prevede di non raggiungere mai orari oltre le 23, quando possibile, per utilizzare il V2H, in quanto si entra nella fascia oraria meno costosa. Inoltre, per lo scenario 4 si è cercato di utilizzarlo sempre dopo le 18, quando il contributo del fotovoltaico diventa trascurabile. Utilizzando questi criteri perciò, risulta difficile sfruttarlo al sabato, giornata dedicata maggiormente alle uscite.

2.5 Investimento iniziale

L'investimento iniziale per gli scenari studiati differisce a seconda del tipo di tecnologia utilizzata nell'abitazione. Dato che in tutti i casi considerati è presente l'acquisto di un veicolo elettrico, il costo d'investimento di quest'ultimo non è stato considerato per il calcolo dei tempi di ritorno, per rendere più evidenti le differenze in base al tipo di tecnologia scelta e di diverse abitudini dell'utente, quali turno lavorativo e distanza casa-lavoro.

Il primo scenario di rete domestica, che non presenta né l'impianto fotovoltaico né tecnologie di collegamento V2H, avrà banalmente un costo d'investimento nullo e ci aspettiamo che il costo dell'energia per il fabbisogno domestico e della ricarica dell'automobile sia il maggiore tra gli scenari considerati, non essendo mitigato dall'impianto fotovoltaico o dal V2H e provenendo completamente dalla rete.

Il secondo scenario prevede un impianto fotovoltaico domestico, così come il quarto, e per entrambi sono state prese in considerazione due diverse taglie di impianto per l'analisi, una da 2kWp e una da 5kWp. In entrambi i casi è prevista la reimmissione in rete del surplus di energia prodotta, garantendo all'utente il rimborso annuale da parte del GSE, nonché è stato tenuto conto della detrazione IRPEF del 50% sul costo iniziale dell'impianto da ripartire annualmente in 10 anni.

Il terzo e il quarto scenario prevedono il costo di acquisto di un caricatore bidirezionale specifico per il collegamento V2H, il cui prezzo è stato considerato ribassato secondo le previsioni future già accennate nei precedenti capitoli (Kobashi & Yarime, 2019); verrà fatta tuttavia anche una analisi utilizzando il prezzo elevato odierno.

Per il quarto scenario, che prevede contemporaneamente il V2H e l'impianto fotovoltaico, è stata data priorità all'autoconsumo dell'energia solare rispetto all'energia dell'automobile, nelle ore di disponibilità di entrambi, e l'utilizzo del V2H è stato pensato per soddisfare il fabbisogno domestico nelle ore di fascia F1 a prezzo maggiore in cui l'impianto fotovoltaico non produce, tendenzialmente dalle 18 alle 23 (orario in cui scatta la fascia oraria F2).

Di seguito, la tabella riassuntiva dei costi d'investimento per i quattro scenari presi in considerazione:

SCENARIO	COSTO D'INVESTIMENTO (2kWp/5kWp)
Primo scenario	$I_{tot}=0\text{€}$
Secondo scenario	$I_{pv}=3890/8800 \text{ €}$, pari a $1945/1720 \text{ €/kW}$, in rate mensili da $61.00/97.26 \text{ €}$
Terzo scenario	$I_{car}=909\text{€ (2030) / 3400€ (2020)}$
Quarto scenario	$I_{pv}=3890/8800 \text{ €}$, pari a $1945/1720 \text{ €/kW}$, in rate mensili da $61.00/97.26 \text{ €}$ $I_{car}=909\text{€ (2030) / 3400€ (2020)}$

Tabella 4: Elenco dei costi d'investimento per i quattro scenari

Per il calcolo dei tempi di ritorno dell'investimento, infine, va considerato anche il risparmio che il pieno dell'auto elettrica garantisce rispetto al pieno dell'auto a benzina, in modo da stabilire efficacemente il risparmio totale. L'utente possessore di Prius avrà banalmente costi minori in bolletta rispetto ai corrispettivi scenari di possessori di Leaf, proprio perché l'auto ibrida necessita solo di carburante classico, utilizzando il motore elettrico come ausiliario del motore termico. Per l'analisi della Prius è stato dunque aggiunto il costo della benzina necessaria ai vari tragitti casa-lavoro nel computo totale dell'investimento effettuato, calcolato utilizzando 310 come numero di giorni dell'anno con tragitti effettuati e il consumo di carburante per km dichiarato da Toyota. Lo scenario 1 per l'utilizzatore di Prius in modalità ibrida, in particolare, è stato preso come modello comparatore, in quanto non prevede nessun impianto domestico e nessuna ricarica dell'automobile e dunque il suo fabbisogno annuale è equivalente a quello di un utente non possessore di auto elettrica. La comparazione, dunque, permette di calcolare meglio i benefici economici annuali derivanti dai tipi di auto e tecnologie.

Il costo del carburante è stato considerato pari a $C_{benz}=1388,70 \text{ €/1000 l}$, prezzo medio nazionale rilevato settimanalmente dal Ministero dello Sviluppo Economico (Ministero dello Sviluppo Economico). Essendo un dato molto variabile e difficilmente prevedibile, i tempi di ritorno reali dell'investimento per il possessore di Prius potrebbero variare significativamente in base all'andamento di tale prezzo e i risultati qui presentati hanno pertanto un valore di stima nel contesto attuale, ma possono facilmente essere estesi ad altri contesti futuri grazie all'approccio parametrico utilizzato nell'analisi.

In aggiunta al risparmio economico, è stata fatta anche una stima dei kg di CO₂ risparmiati in base al tipo di auto, distanza percorsa e configurazione domestica. Le emissioni risparmiate sono dedotte utilizzando il CO₂ Emission Intensity fornito annualmente da EEA¹¹, ovvero il valore equivalente di grammi di CO₂ emessi nell'atmosfera per singolo kWh prodotto, pari a $256,2 \text{ gCO}_2/\text{kWh}$ per l'Italia nel 2016 (EEA), ultima rilevazione disponibile; ogni kWh risparmiato sul fabbisogno domestico, dunque, aiuterà a ridurre la quantità di CO₂ immessa in atmosfera. Per il possessore di Prius, inoltre, è stato considerato anche la quantità di CO₂ emessa in marcia, in base alle dichiarazioni del produttore ($75 \text{ gCO}_2/\text{km}$ per la Prius non plug-in e al netto del peso aggiuntivo della batteria della versione plug-in, $29 \text{ gCO}_2/\text{km}$ per la Prius plug-in che sfrutta al massimo l'autonomia in elettrico e la ricarica in marcia della batteria), tuttavia non sono state però prese in considerazione le altre specie di inquinanti prodotte dal motore termico del veicolo.

¹⁰ Il prezzo rilevato è riferito al 21/09/2020

¹¹ European Environment Agency

Entrambi i profili emissivi, considerati in tutti gli scenari ipotizzati, sono stati confrontati con le emissioni annuali di un'auto a motore termico convenzionale, in modo da stabilire l'impatto sul risparmio sull'inquinamento sia dei soli veicoli elettrici, sia dell'applicazione delle tecnologie. Per stabilire il livello di emissioni di un'auto a motore termico, è stata utilizzata la media di emissioni prodotte dai veicoli immatricolati in Italia nel 2015 fornita dal Ministero dello Sviluppo Economico, pari a 115,4 gCO₂/km (Ministero dello Sviluppo Economico, 2016).

2.6 Impianto fotovoltaico

Gli scenari 2 e 4 presi in esame presentano un impianto fotovoltaico domestico. Tale impianto produce energia elettrica durante le ore centrali del giorno ed è in grado durante tali orari, di provvedere al fabbisogno energetico domestico tramite l'autoconsumo dell'energia prodotta. A seconda della taglia dell'impianto, può essere prevista la presenza di sistemi di accumulo e la rivendita dell'energia in eccesso alla rete, previa la stipulazione di un accordo di rivendita con il GSE. Le taglie di impianto prese in considerazione sono 2kWp e 5kWp e non sono stati considerati eventuali sistemi di accumulo domestici.

Per calcolare il fabbisogno totale domestico, in presenza di impianto fotovoltaico, è stato utilizzato il seguente criterio:

$$F_{tot} = F_D - F_{PV}$$

Dove F_D è il fabbisogno domestico e F_{PV} è il contributo dell'impianto, che potrà essere positivo o negativo. Quando l'impianto è in produzione, il contributo netto di F_{PV} sarà positivo e ridurrà F_{tot} , mentre quando l'impianto non produce assorbirà comunque una minima parte di energia per restare attivo, rendendo F_{PV} negativo e aumentando di conseguenza F_{tot} .

È stato utilizzato il tool di simulazione del JRC¹² della Commissione Europea e il software System Advisor Model (SAM) del NREL¹³, per il calcolo dell'energia mensile prodotta da un impianto fotovoltaico installato a L'Aquila, città scelta per la simulazione, in base alla potenza di picco dell'impianto e utilizzando i dati meteorologici del 2019, considerando anche un angolo di orientamento ottimale dei pannelli in direzione Sud-Est, ad una angolazione di 165°. L'energia prodotta risulta ovviamente maggiore nei mesi estivi, con picco nel mese di luglio, e minima nei mesi di gennaio e dicembre. Gli andamenti calcolati per l'energia producibile mese per mese da impianti da 2 5 kW di picco rispettivamente è riportata come riferimento nella figura seguente, ma tramite il tool è possibile ottenere anche il dettaglio orario dell'energia producibile in una giornata media nei vari periodi dell'anno.

¹² Joint Research Center

¹³ National Renewable Energy Laboratory

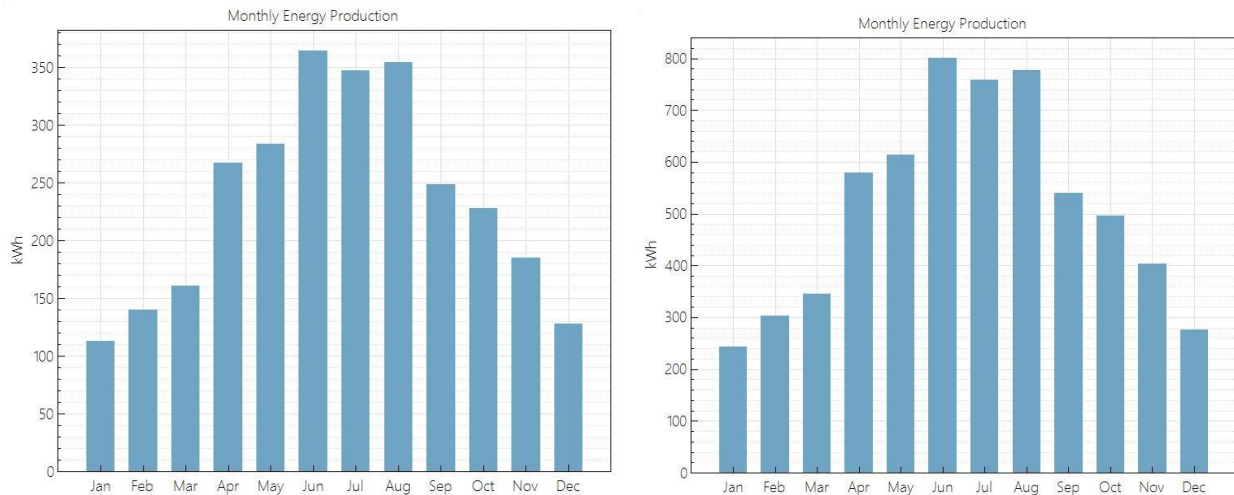


Figura 27: Potenza solare disponibile a L'Aquila con impianti da 2 kWp (sinistra) e 5 kWp (destra), sulla base dei dati meteorologici del 2019

Come già accennato, l'utente dotato di impianto fotovoltaico può stipulare un accordo di Scambio Sul Posto (SSP) con il GSE, per ottenere un rimborso della parte in conto energia della bolletta elettrica sull'energia prelevata dalla rete. L'energia prodotta in eccesso e non autoconsumata, viene reimessa nella rete e il GSE fornisce al titolare dell'impianto un Contributo in Conto Scambio (C_s) come rimborso per il Conto Energia delle bollette sull'elettricità pagate (ARERA), pari a:

$$C_s = \min[O_e; C_{ei}] + CU_{sf} * E_s$$

Dove:

- O_e [€] è l'Onere Energia, ovvero il prodotto tra l'energia in kWh prelevata e il PUN, $O_e = \text{PUN} * \text{kWh}$;
- C_{ei} [c€] è il Controvalore dell'Energia Immessa in rete, il prodotto tra i kWh prodotti e immessi in rete e il prezzo zonale dell'energia nel Mercato del Giorno Prima (MGP). In questo caso il prezzo è calcolato per la zona CSUD comprendente L'Aquila, $C_{ei} = P_{\text{MGP}}(\text{CSUD}) * \text{kWh}_p$;
- CU_{sf} [c€/kWh] è il Corrispettivo Unitario di Scambio Forfettario, un valore calcolato forfettariamente dal GSE ogni mese che tiene conto di vari parametri attivi nel mese corrente, quali distribuzione, trasmissione e dispacciamento, solitamente presenti in bolletta. Nell'analisi è stato utilizzato il valore annuale del 2019, fornito anch'esso dal GSE;
- E_s [kWh] è l'Energia Scambiata, ovvero la differenza tra l'energia immessa e prelevata dalla rete in totale durante l'anno.

Il rimborso del GSE è sempre inferiore alla bolletta elettrica dell'utente, in quanto rappresenta un rimborso della stessa, e non comprende il rimborso delle altre voci presenti, essendo calcolato sulla base delle sole spese in Conto Energia, escludendo gli oneri, le accise, l'IVA. Il canone televisivo non è stato considerato nel computo totale delle bollette in quanto uguale per tutti gli utenti e poco interessante per la comparazione e il calcolo dei tempi di ritorno. Per le analisi qui riportate è stato utilizzato un C_s annuale.

Al C_s va inoltre aggiunto il rimborso per le eccedenze, proporzionale alla differenza tra C_{ei} e O_e . Il contributo fa parte della voce "Altri redditi" dell'utente, di conseguenza, dato che ipotizziamo un utente senza partita IVA, sarà soggetto a tassazione IRPEF. Nella simulazione si è considerato un utente con reddito annuale inferiore ai 15.000 € e perciò sulle eccedenze viene applicata solamente l'aliquota pari al 23%.

3 Risultati

Una volta individuati i possibili scenari, è stato realizzato un software in MATLAB per la loro analisi comparativa. Il listato della parte principale del codice è riportato in appendice della presente relazione.

Il codice effettua il calcolo dei parametri necessari alla comparazione, quali i costi annuali in bolletta, il tempo di ritorno dell'investimento effettuato e la quantità di emissioni di CO₂ risparmiate rispetto all'utilizzo di un'auto a benzina per tutti i casi considerati e di seguito verranno riportati i risultati di tale analisi, individuando la sensibilità dei risultati rispetto ai principali parametri in gioco nella definizione degli scenari stessi, in modo che essi siano estendibili con più facilità anche a contesti attualmente non considerati.

3.1 Leaf (BEV)

Nella Figura seguente sono riportati i valori dei costi in bolletta totali annuali¹⁴ per l'utente proprietario di Nissan Leaf. La prima riga riguarda utenti che hanno tariffazione elettrica monoraria per l'impianto domestico e la seconda riga coloro con tariffazione bioraria, mentre sotto ogni grafico è riportato la categoria di utente e lo scenario di riferimento di ognuno. Tutte le analisi sono ripetute per diverse percorrenze giornaliere con l'auto elettrica (10, 30 e 80 km).

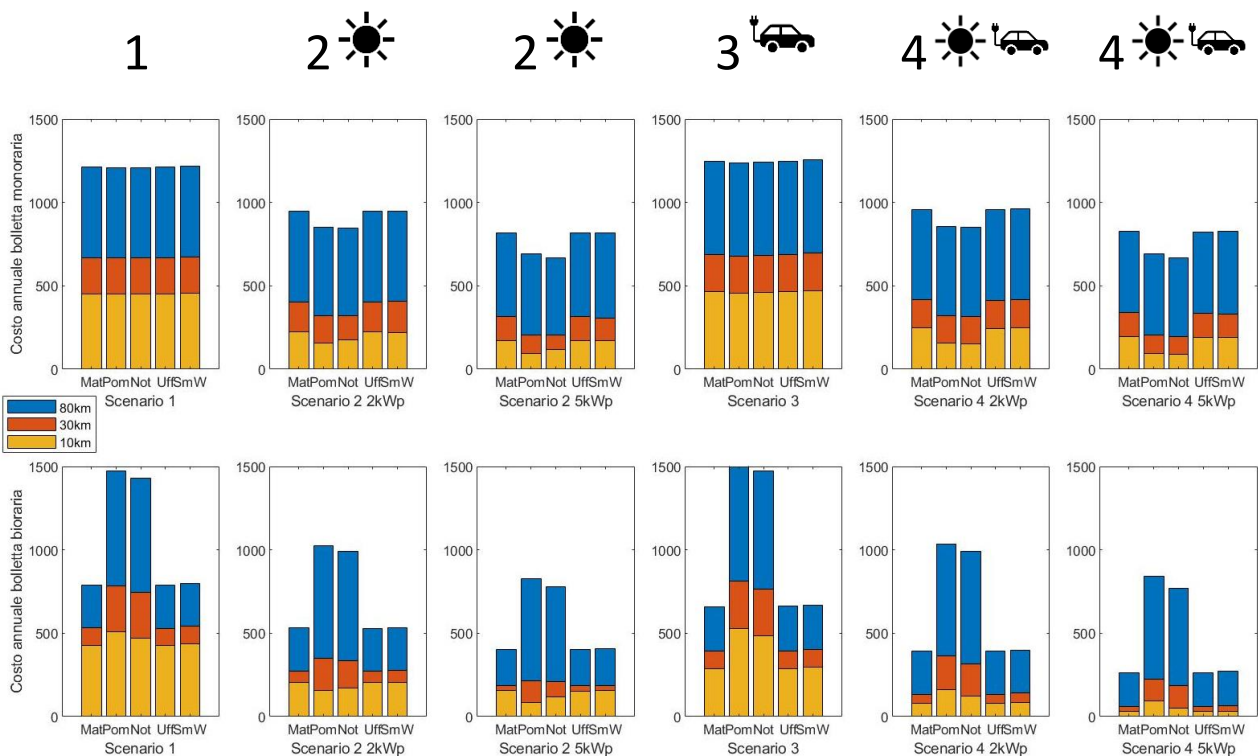


Figura 28: Costo annuale per proprietario di Nissan Leaf

Come ci si aspettava, lo scenario 3 con solo V2H e tariffazione monoraria porta ad un aumento del costo annuale per ogni utente a prescindere dalle abitudini lavorative, in quanto non ci sono vantaggi nel peak

¹⁴ Non comprendenti il canone televisivo

shaving quando il prezzo è costante durante le 24 ore e il rendimento di carica e scarica della batteria dell'automobile porta ad un aumento dei consumi totali. Viceversa, l'utilizzo del V2H con tariffazione bioraria causa una contrazione dei costi annuali, eccetto per i lavoratori pomeridiani e notturni per i quali il costo addirittura aumenta, a causa della carica della batteria durante il giorno nelle ore a tariffa maggiore, specialmente per più grandi distanze. Queste due categorie di lavoratore sono costrette a ricaricare l'auto fuori dalla fascia F1, il che non rende vantaggioso l'utilizzo del V2H ma rende più conveniente una tariffazione monoraria. Per questa ragione, i lavoratori notturni e pomeridiani beneficiano parecchio dell'autoconsumo dell'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico, sia in tariffa monoraria che bioraria, che permette ad entrambi di utilizzare l'energia autoprodotta per ricaricare l'automobile nelle ore giornaliere senza prelevare energia dalla rete. In ultimo, è bene sottolineare che queste due categorie sono gli utenti che hanno un rimborso minore per l'energia rivenduta in rete, avendo la fetta più grande di autoconsumo nelle ore di maggiore produzione solare, prova del fatto che l'uso più conveniente per un impianto fotovoltaico domestico è quello dell'autoconsumo piuttosto che della rivendita, per quanto possibile. Quest'ultimo dato si può notare dal più marcato calo dei costi annuali passando dallo scenario 1 allo scenario 2 e nel ridotto calo nel passare dallo scenario 2 al 4 per le tipologie di utente considerate.

Ogni altro utente in tariffazione bioraria, invece, vede una riduzione dei costi annuali per l'inserimento di impianti fotovoltaici di entrambe le taglie e V2H, sia assieme che singolarmente. In tariffazione monoraria la riduzione dei costi dovuta all'uso del V2H è inferiore rispetto alle stesse configurazioni con tariffa bioraria, con il V2H che si inserisce a sopperire al fabbisogno domestico nelle ore di fascia F1 in cui il fotovoltaico non produce: in questo modo i costi annuali si riducono in maniera proporzionale alla distanza percorsa giornalmente, con costi sempre inferiori ai 400€ annuali comprendendo anche la ricarica dell'automobile.

Un'ultima considerazione riguarda la taglia dell'impianto fotovoltaico: mentre gli utenti pomeridiani e notturni, più adatti all'autoconsumo, presentano un risparmio importante nel passare da 2kWp a 5kWp, la differenza per le altre tipologie d'utenza è meno marcata ma cresce al crescere della distanza percorsa, a dimostrazione che l'autoconsumo è la modalità più vantaggiosa di utilizzo dell'impianto fotovoltaico.

Il calcolo dei tempi di ritorno è stato effettuato rispetto ad un utente con lo stesso veicolo elettrico e con stessa tariffazione oraria. Tempi di ritorno troppo alti o infiniti, segno di un investimento svantaggioso, non sono stati riportati su grafico. I risultati sono i seguenti.

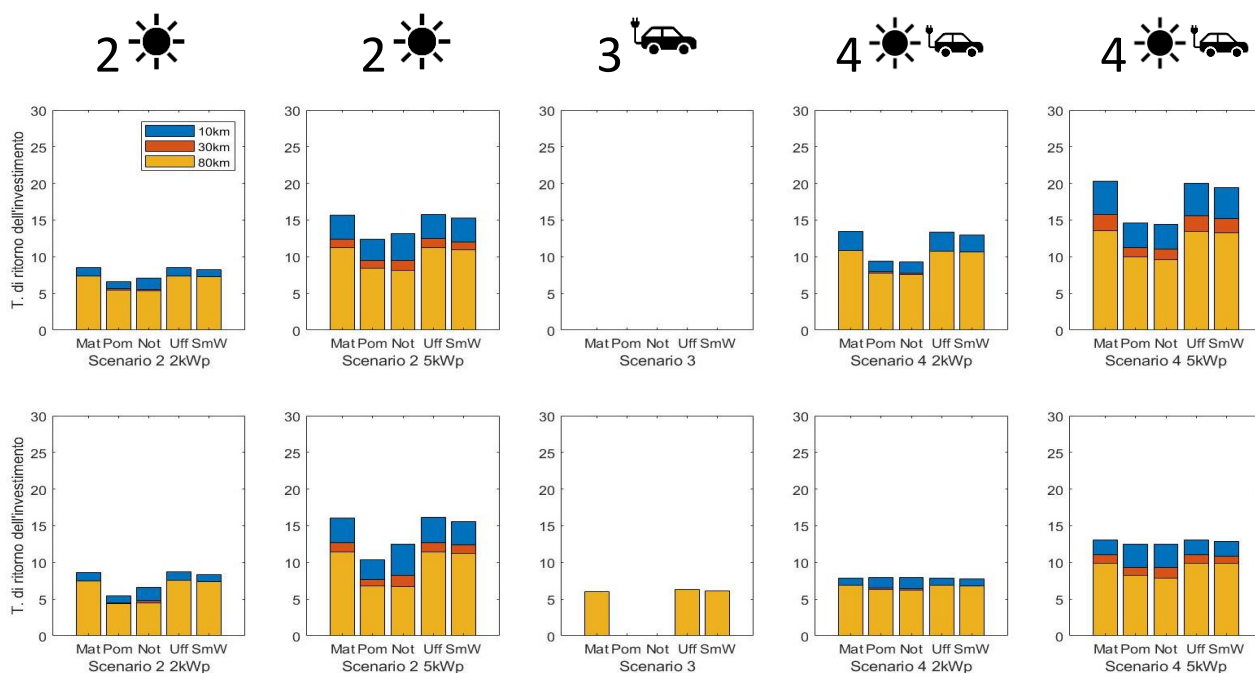


Figura 29 Tempi di ritorno dell'investimento per proprietario di Nissan Leaf

La vita utile di un impianto fotovoltaico può andare dai 20 ai 30 anni se tenuto in buone condizioni, con l'inverter dell'impianto che ha vita utile di 10, mentre un caricatore bidirezionale o un wallbox si aggirano sempre sui 10 anni. Tenendo ciò in considerazione, si nota innanzitutto come gli utenti che percorrono distanze maggiori hanno un ritorno più rapido dell'investimento iniziale con i tempi di ritorno e i costi sempre più livellati al diminuire della distanza percorsa. A conferma di quanto detto in precedenza, lo scenario 3 con solo V2H non conviene in nessun caso con tariffa monoraria e per lavoratori pomeridiani e notturni in bioraria, mentre risulta favorevole negli altri casi in bioraria, con tempi inferiori ai 10 anni, a prescindere dalle distanze percorse.

Gli scenari con impianti da 5 kWp presentano tempi di ritorno più elevati rispetto ad un impianto da 2 kWp, a prescindere dalla tariffazione, sebbene resti comunque un investimento conveniente per alcune categorie di utenti a causa dei costi annuali inferiori, principalmente coloro che viaggiano di più.

Quando viene aggiunto l'investimento del V2H allo scenario 2 e si passa allo scenario 4, i tempi di ritorno diminuiscono di circa 1 anno per ogni scenario in bioraria che può caricare l'auto di notte, rendendo più conveniente l'acquisto di impianto e caricatore bidirezionale assieme come investimento piuttosto che il singolo impianto. Con tempi di ritorno inferiori ai 10 anni nei casi peggiori e costi annuali inferiori, lo scenario 4 con impianto da 2kWp risulta l'investimento più vantaggioso durante la vita utile.

Utilizzando il prezzo per una wallbox bidirezionale attualmente in commercio, pari a 3400 €, però, i tempi di ritorno per gli scenari 3 e 4 aumentano drasticamente:

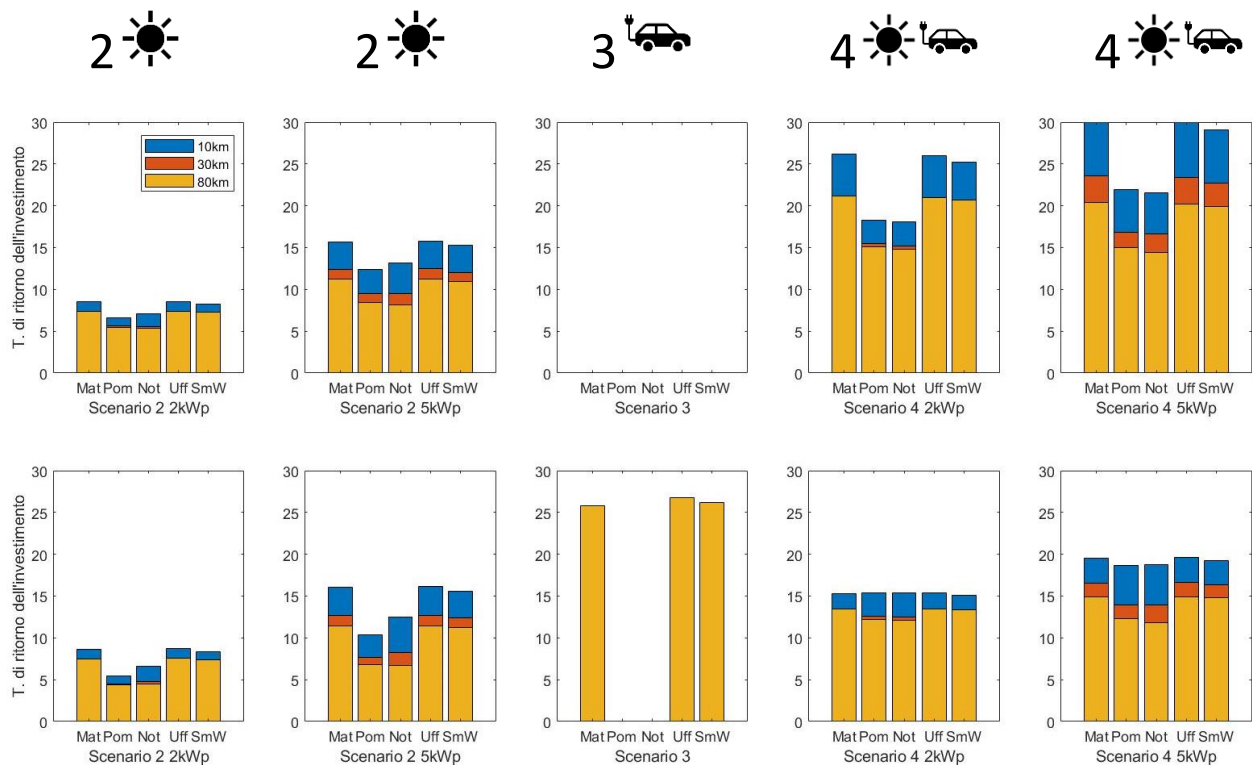


Figura.30: Tempi di ritorno dell'investimento per proprietario di Nissan Leaf calcolati con il prezzo odierno dei caricatori bidirezionali

Come si può notare confrontando Figura 4.3 con Figura 4.2, abbinare l'acquisto di un impianto fotovoltaico con la wallbox bidirezionale in questo caso non accorcia più i tempi di ritorno ma ne provoca un aumento, a

dimostrazione del fatto che il prezzo in diminuzione dei caricatori bidirezionali nei prossimi anni potrebbe essere la spinta decisiva alla diffusione delle tecnologie V2H.

In ultimo, è stato calcolato il tempo di ritorno dell'investimento per un utente già possessore di impianto fotovoltaico domestico che decide di acquistare un caricatore bidirezionale per iniziare ad usare il V2H:

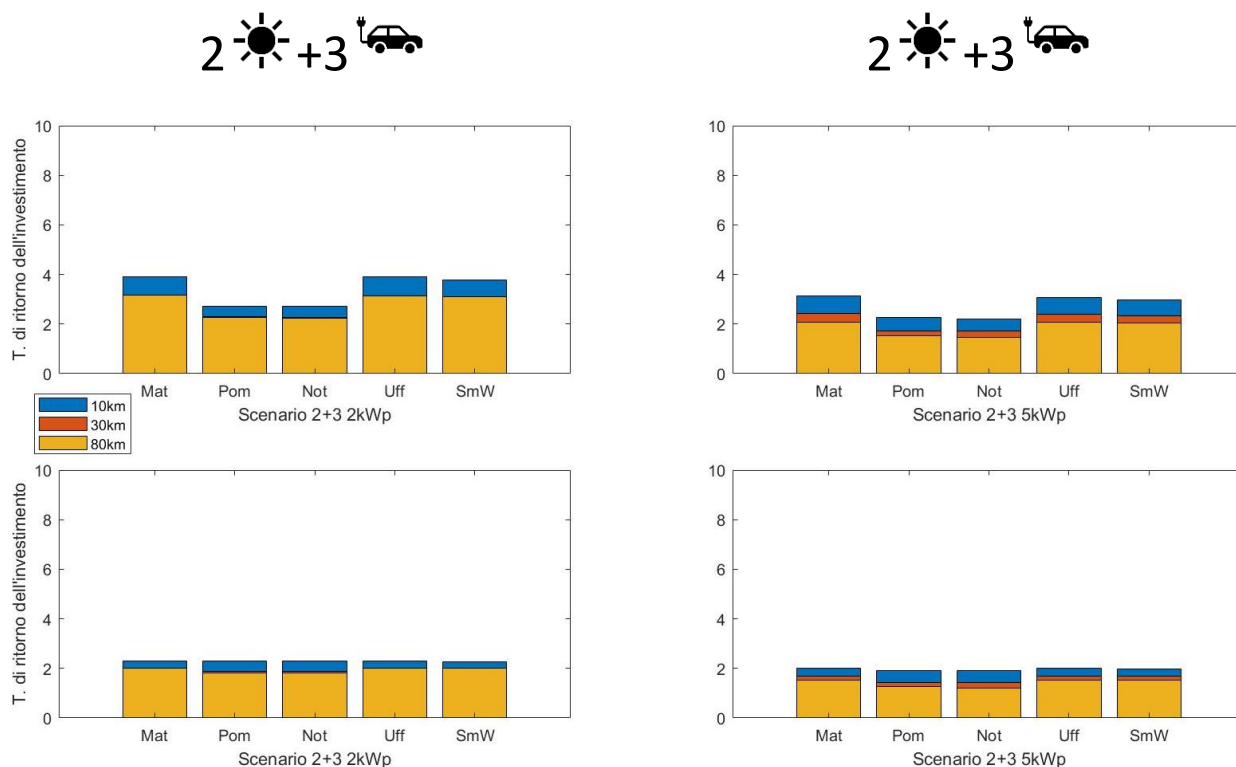


Figura 31: Tempo di ritorno per l'acquisto di un caricatore bidirezionale per utente già proprietario di Nissan Leaf e impianto fotovoltaico

Questo scenario illustra la situazione di molte persone che vivono in abitazioni di nuova generazione e classe energetica A, di cui molte già dotate di impianto fotovoltaico installato, per il quale l'utilizzo del V2H può portare ad un evidente risparmio già dopo pochi anni.

A conferma dei dati precedenti, lavoratore pomeridiano e notturno sono coloro che avrebbero i migliori risultati con una tariffa monoraria a causa dei costi annuali. La tariffazione bioraria permette di ridurre i tempi di ritorno per tutti gli utenti considerati, meno di 3 anni nei casi peggiori; inoltre è interessante notare come stavolta i tempi di ritorno siano leggermente inferiori nel caso di impianto da 5 kWp, in questa situazione in cui i costi d'investimento sono gli stessi, segno del fatto che tale impianto fa risparmiare più del 2 kWp ma non abbastanza da giustificarne l'investimento maggiore, rendendo poco conveniente una tale taglia localizzata a L'Aquila.

Vengono inoltre riportati di seguito i tempi di ritorno calcolati utilizzando il prezzo odierno per la wallbox bidirezionale:

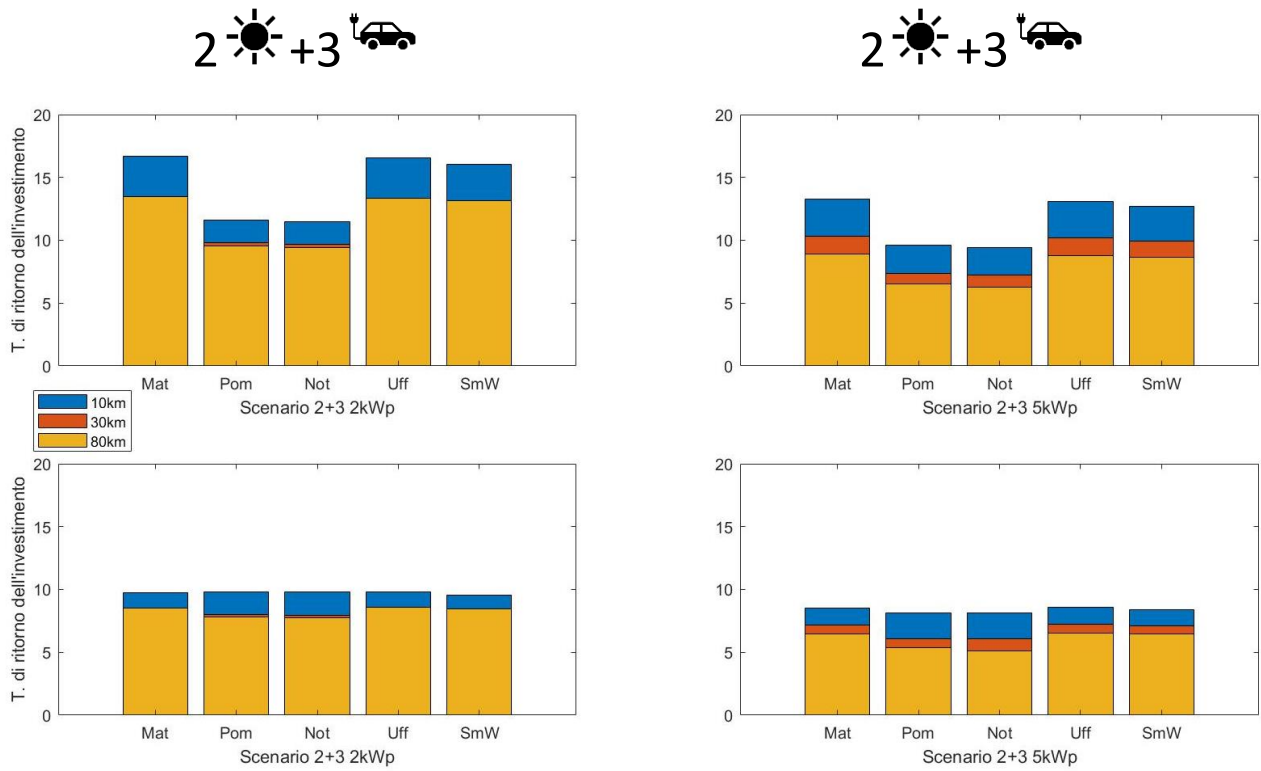


Figura 32: Tempo di ritorno per l'acquisto con prezzo odierno di un caricatore bidirezionale per utente già proprietario di Nissan Leaf e impianto fotovoltaico

Dai grafici si evince come l'investimento per utenti già possessori di impianto fotovoltaico, utilizzando la tariffazione bioraria, ha già buoni tempi di ritorno tenendo conto dell'elevato prezzo odierno, sotto i 10 anni.

3.2 Veicolo Elettrico Pug-In (PHEV)

Il caso di un utente possessore di un veicolo elettrico Plu-In si può suddividere in due sottoanalisi, corrispondenti a due diverse modalità di utilizzo del mezzo agli opposti estremi: in modalità full-ibrida (senza utilizzo delle funzionalità plug-in, ossia della possibilità di scaricare la batteria) o sfruttando al massimo l'autonomia elettrica.

Nel primo caso, i costi annuali del sistema sono i seguenti:

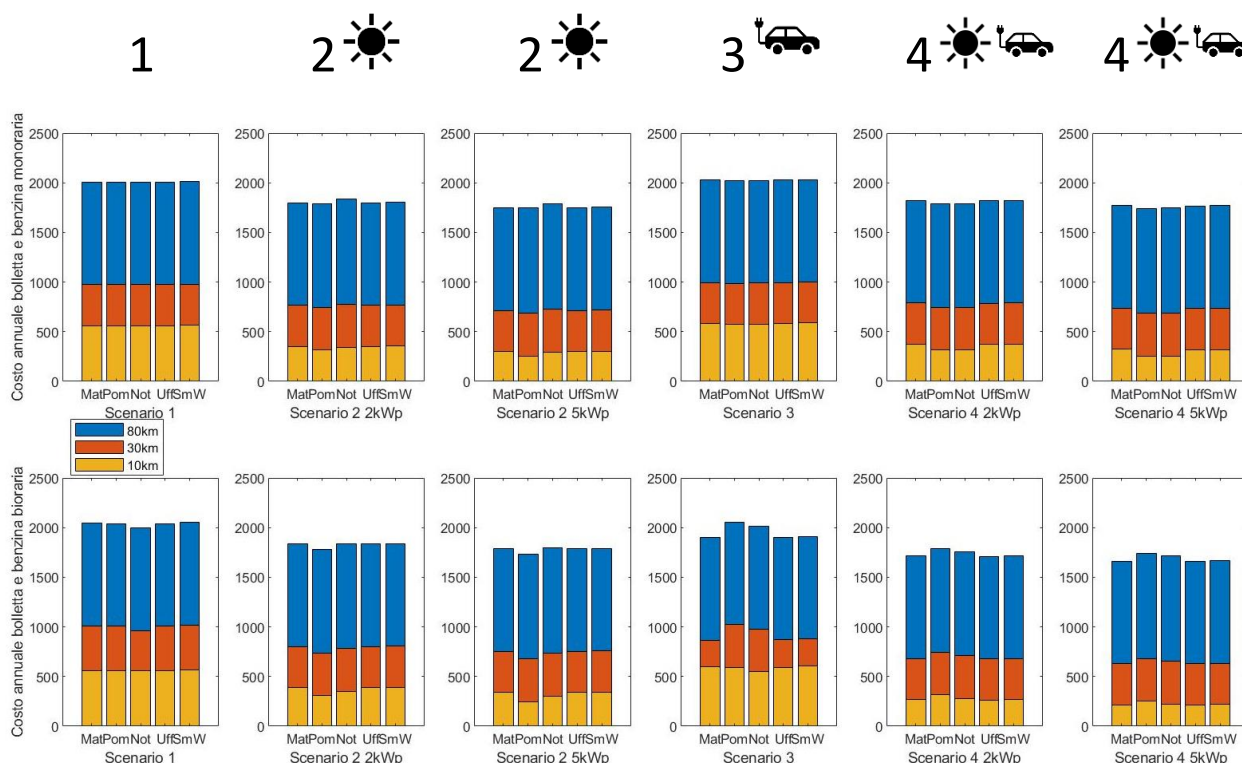


Figura 33: Costi annuali (energia e carburante) per utente proprietario di Toyota Prius utilizzata in modalità ibrida

I costi annuali per l'energia uniti al costo per il carburante sono maggiori di quelli del possessore di auto elettrica, con differenze crescenti proporzionalmente alla distanza percorsa. Le differenze reciproche tra gli scenari in Figura 4.6 non sono troppo marcate tra un tipo di lavoratore e l'altro, anche a causa del costo del carburante che, dipendendo solo dalla distanza percorsa, livella le differenze in maniera evidente; si può tuttavia notare come lo scenario migliore risulti essere nuovamente lo scenario 4, in monoraria per il notturno e il pomeridiano e in bioraria per gli altri, per cui ci aspettiamo tempi di ritorno maggiori per il 5 kWp.

I tempi di ritorno per i possessori di un veicolo PHEV usata in ibrido non variano in base alla distanza percorsa, in quanto diverse distanze non influiscono sul fabbisogno domestico perché non c'è nessuna ricarica. Ancora una volta, lo scenario più vantaggioso per i tempi di ritorno è il 4, in particolare con impianto di taglia 2 kWp. Rispetto al possessore di Auto Elettrica, comunque, i tempi di ritorno dell'investimento sono leggermente più alti complessivamente, sebbene ancora convenienti in alcuni casi come lo scenario 4 e lo scenario 3 in bioraria per gli utenti che possono ricaricare di notte.

Similmente al caso precedente di auto pura elettrica, è stato calcolato anche il tempo di ritorno dell'investimento per un utente già in possesso di un impianto fotovoltaico che decide di acquistare un caricatore bidirezionale per sfruttare il V2H.

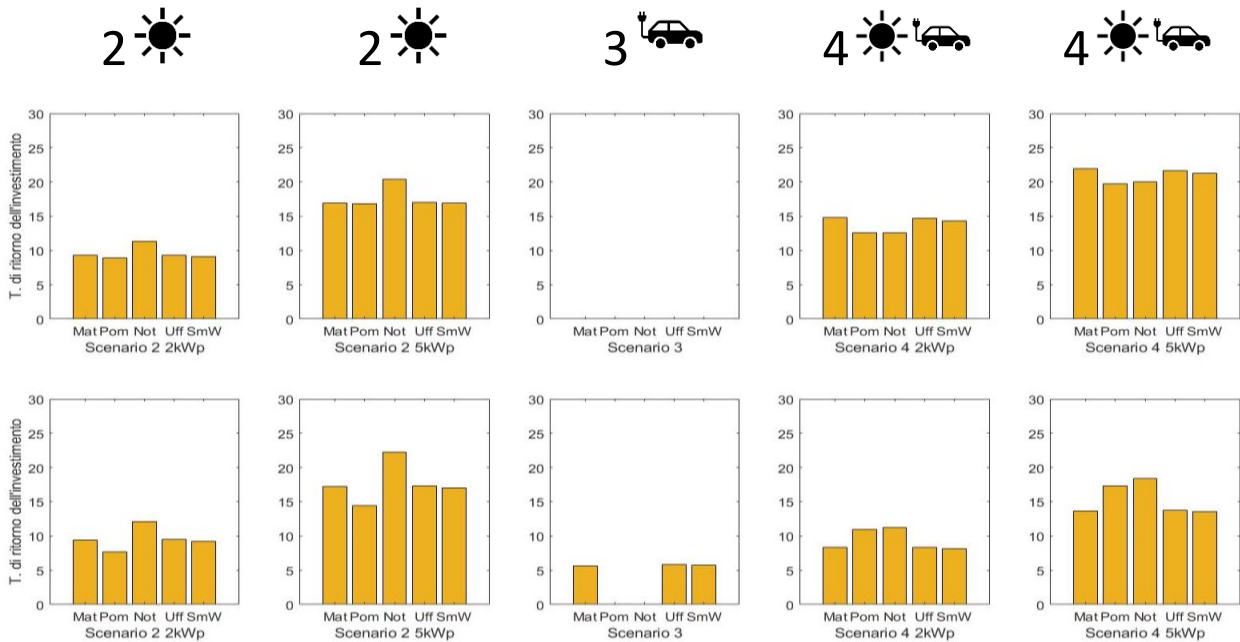


Figura 34: Tempi di ritorno dell'investimento per proprietario di Toyota Prius utilizzata in modalità ibrida

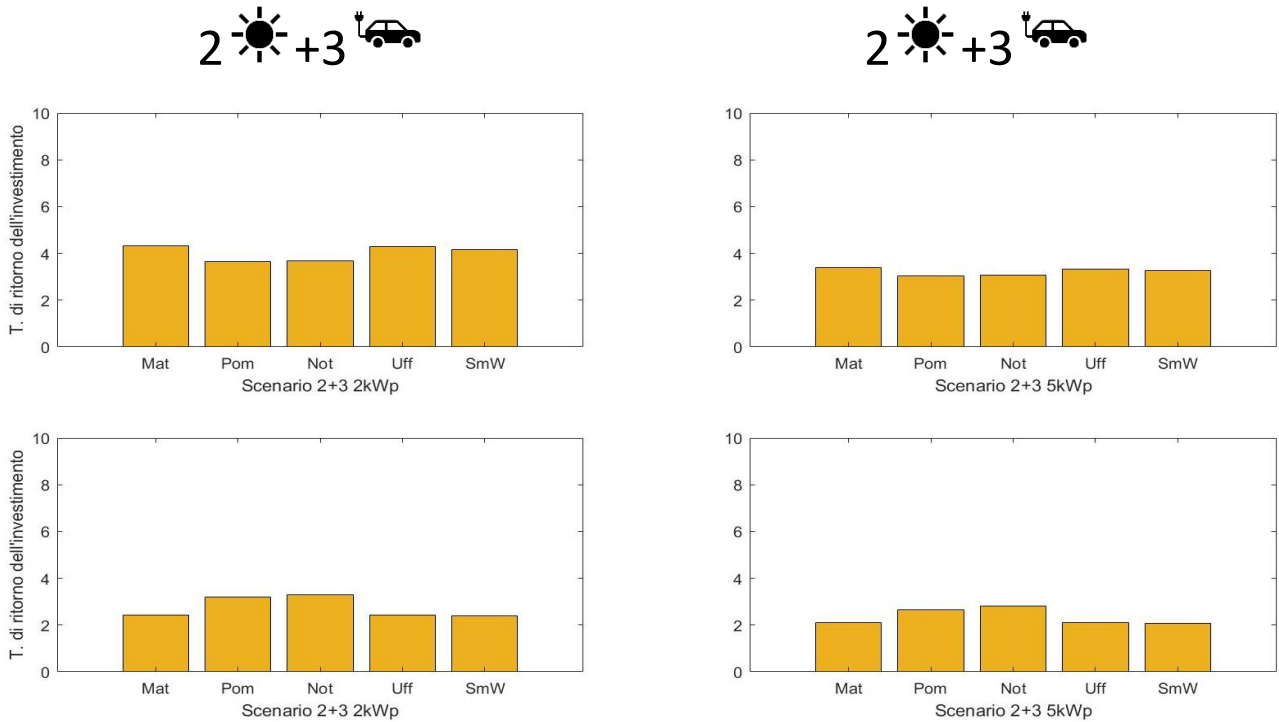


Figura 35: Tempo di ritorno per l'acquisto di un caricatore bidirezionale per utente già proprietario di Toyota Prius e impianto fotovoltaico

I tempi di ritorno risultano di nuovo leggermente più alti dei corrispettivi del proprietario di Leaf, ma comunque convenienti e sotto i 4 anni, specialmente in tariffazione bioraria, sempre senza differenze causate dalla diversa distanza affrontata.

Nel caso in cui il proprietario di auto PHEV ne sfrutti invece appieno l'autonomia in puro elettrico per le proprie missioni giornaliere, può contare, nel caso analizzato di Prius plug-in sui 49 km dichiarati di autonomia. Per gli scenari considerati, dunque, gli utenti che percorrono 10 e 30 km per andare al lavoro possono percorrere l'intera distanza in modalità elettrica senza mai utilizzare il motore termico. Resta perciò da valutare se c'è la possibilità di utilizzare il V2H, valutando il SoC rimanente della batteria al ritorno a casa, cosa impossibile per chi percorre 80 km giornalieri, che tornerebbe a casa con la batteria esaurita e sarebbe svantaggioso ricaricarla solo per utilizzare il V2H.

Per valutare se la quantità di carica al ritorno in casa è sufficiente ad effettuare il V2H, bisogna calcolare il fabbisogno elettrico domestico (molto simile a quello del possessore di Leaf per distanze pari a 10 e 30 km) per poi stabilire la distanza massima giornaliera percorribile in elettrico per poter utilizzare efficacemente il V2H, utilizzando il consumo giornaliero nei tragitti.

Il consumo in elettrico, espresso in kWh/km e calcolato grazie alla capacità della batteria della Prius e all'autonomia, è:

$$Cons_{el} = \frac{C_{Prius}}{Autonomia} = \frac{8,788}{49} = 0,1793 \text{ kWh/km}$$

Un valore inferiore ma molto vicino al consumo della Leaf.

Il contributo massimo giornaliero fornito dal V2H è pari a 3,3 kWh, perciò possiamo sottrarre tale valore alla carica massima e dividerlo per ottenere la massima distanza percorribile in elettrico per avere la possibilità di utilizzare il V2H in casa:

$$D_{max} = \frac{C_{Prius} - V2H_{max}}{Cons_{el}} = \frac{8,788 - 3,3}{0,1793} = 30,6 \text{ km}$$

Di conseguenza gli utenti che percorrono 10 e 30 km hanno la possibilità di utilizzare il V2H in ambiente domestico, utilizzando l'auto esclusivamente in modalità elettrica nel tragitto casa-lavoro. I costi annuali e i tempi di ritorno dell'investimento per ogni scenario ipotizzato sono perciò praticamente pari ai possessori di Leaf per le medesime distanze di Figure 4.1 e 4.2, con la differenza della maggiore libertà di movimento e facilità nel percorrere lunghi tragitti garantita dall'auto ibrida rispetto all'auto elettrica. Dal confronto dei grafici di Figure 4.1 e 4.6, si può perciò notare come l'utilizzo della Prius sfruttando per intero l'autonomia elettrica costa decisamente meno rispetto ad un utilizzo ibrido con percorrenze di 10 e 30 km, con ottimi tempi di ritorno per gli investimenti nell'impianto fotovoltaico e caricatore bidirezionale. Tuttavia, considerando fattori di riduzione della capacità della batteria quali invecchiamento e variazioni di temperatura, è possibile che l'autonomia della Prius si riduca significativamente nel tempo, fino a non essere più in grado di soddisfare anche le utenze domestiche, specialmente nel caso 30 km: il risultato sarebbero costi incrementati per l'impossibilità di applicare efficacemente il V2H e precauzioni e comportamento dell'utente diventano decisivi per garantire lo stesso vantaggio in maniera più duratura.

Nel caso di lavoratore che percorre 80 km giornalieri nel tragitto casa-lavoro, superiori all'autonomia elettrica della Prius, invece, si presenta una ulteriore scelta: utilizzare tutta la carica elettrica per percorrere 49 km su

80 in elettrico senza però avere carica sufficiente ad utilizzare il V2H al ritorno a casa o utilizzarla soltanto per 30 km ed utilizzare il V2H.

Il costo annuale per un utente che utilizza tutta la batteria per percorrere ogni giorno i 49 km su 80 in elettrico è il seguente:

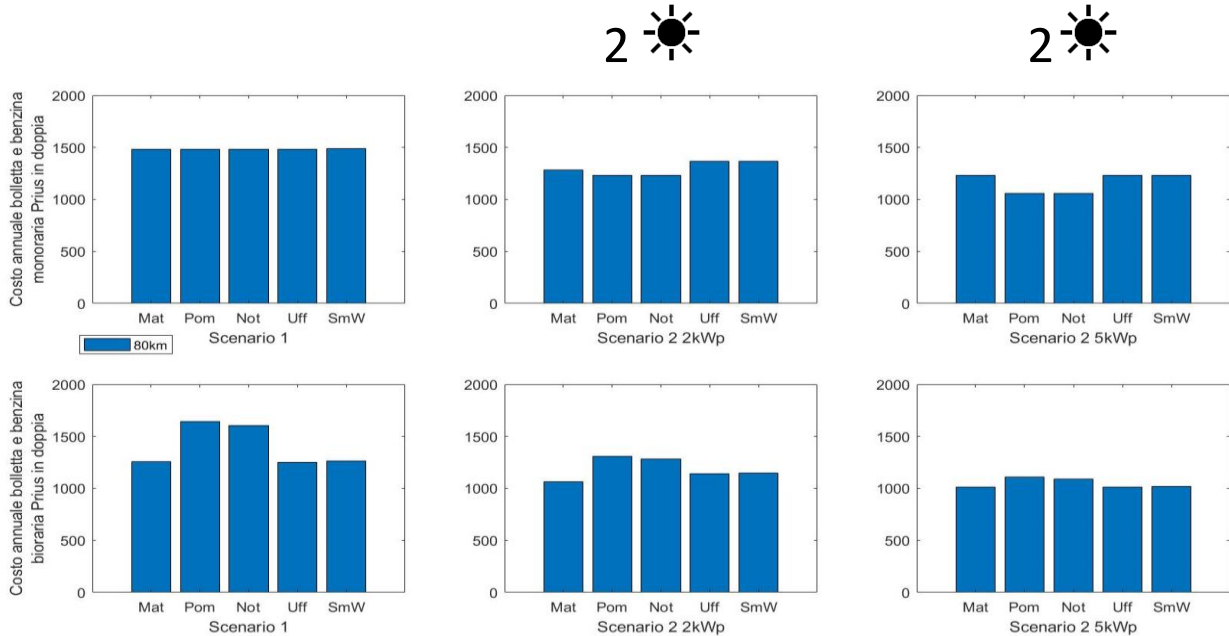


Figura36: Costi annuali (energia e carburante) per utente proprietario di Toyota Prius che sfrutta al massimo l'autonomia in elettrico sugli 80 km

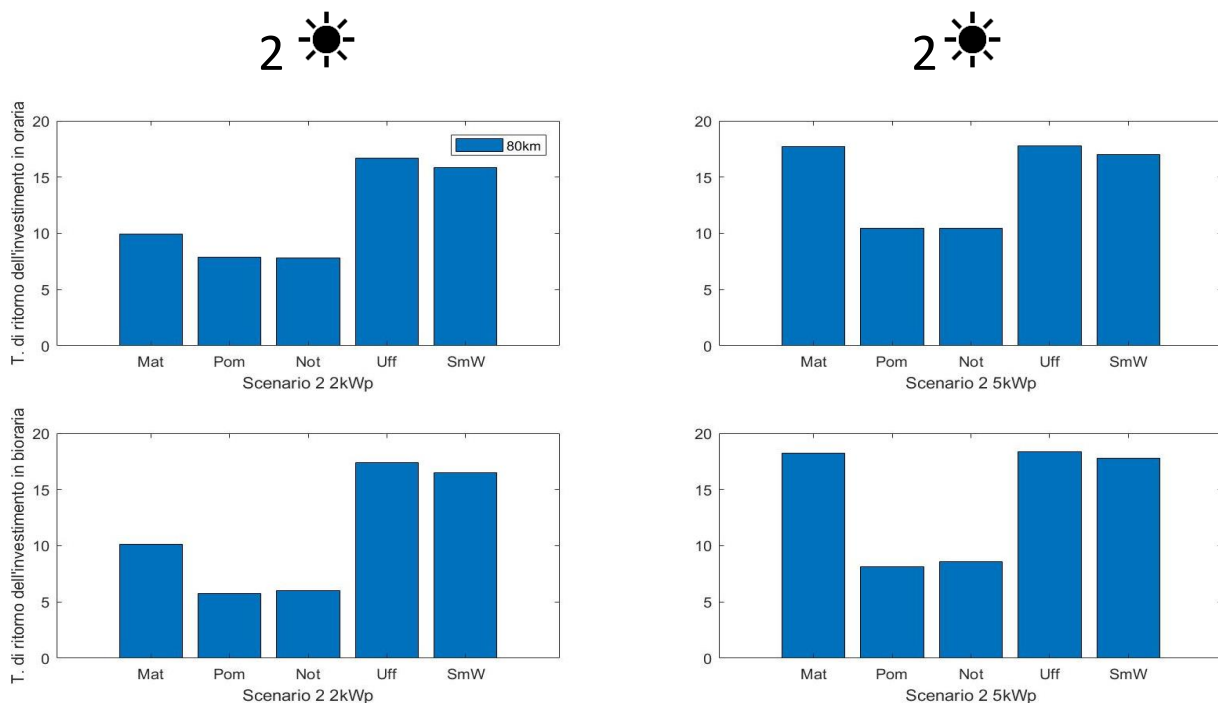


Figura 37: Tempi di ritorno dell'investimento per utente proprietario di Toyota Prius che sfrutta al massimo l'autonomia in elettrico sugli 80 km

Essendo tale configurazione svantaggiosa per il V2H, sono stati presi in considerazione solamente gli scenari 1 e 2. Il costo annuale con questo tipo di utilizzo si dimostra inferiore all'utilizzo dell'auto come ibrida visto precedentemente per la stessa distanza percorsa per ogni tipo di utente e scenario. Nell'analisi non è stata inoltre considerata la ricarica in marcia della batteria nel percorrere i restanti 31 km su 80, perciò l'autonomia massima potrebbe anche migliorare oltre i 49 km grazie allo stile di guida, potendo dunque abbassare ulteriormente questi costi. Si riporta inoltre il grafico con i tempi di ritorno per l'acquisto di un impianto fotovoltaico per quest'ultimo caso:

I tempi di ritorno non variano di molto nel considerare una tariffa monoraria o bioraria ma il costo annuale inferiore della seconda per lavoratore mattutino, in ufficio o in smart working, rendono la configurazione più conveniente; viceversa i lavoratori notturno e pomeridiano avranno costi inferiori in tariffa monoraria. I tempi di ritorno per gli investimenti, in questo caso, sono più alti e l'investimento nel fotovoltaico potrebbe non essere conveniente in alcuni scenari.

Ipotizzando invece l'utilizzo della carica elettrica soltanto per 30 sugli 80 km, in modo da poter utilizzare il V2H, i costi annuali risultano essere:

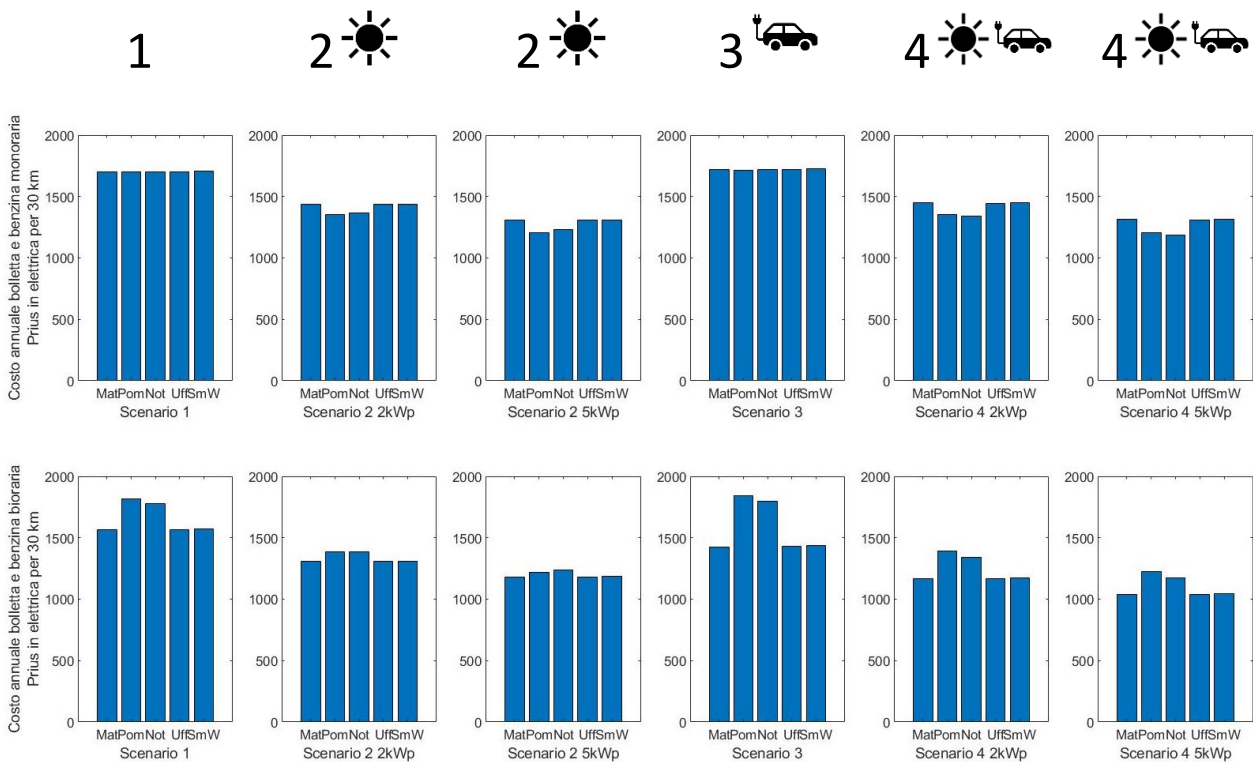


Figura 38: Costi annuali (energia e carburante) per utente proprietario di Toyota Prius che sfrutta l'autonomia in elettrico e utilizza il V2H sugli 80 km

Da Figura 4.11 si evince come i costi degli 2 e 4 siano inferiori allo scenario 1 di Figura 4.9 ma superiori rispetto allo scenario 2. Tramite l'analisi dei tempi di ritorno, calcolati rispetto allo scenario senza investimenti più economico (Scenario 1 di Figura 4.9), è possibile valutare se investire in impianto e V2H sia più conveniente del caso precedente:

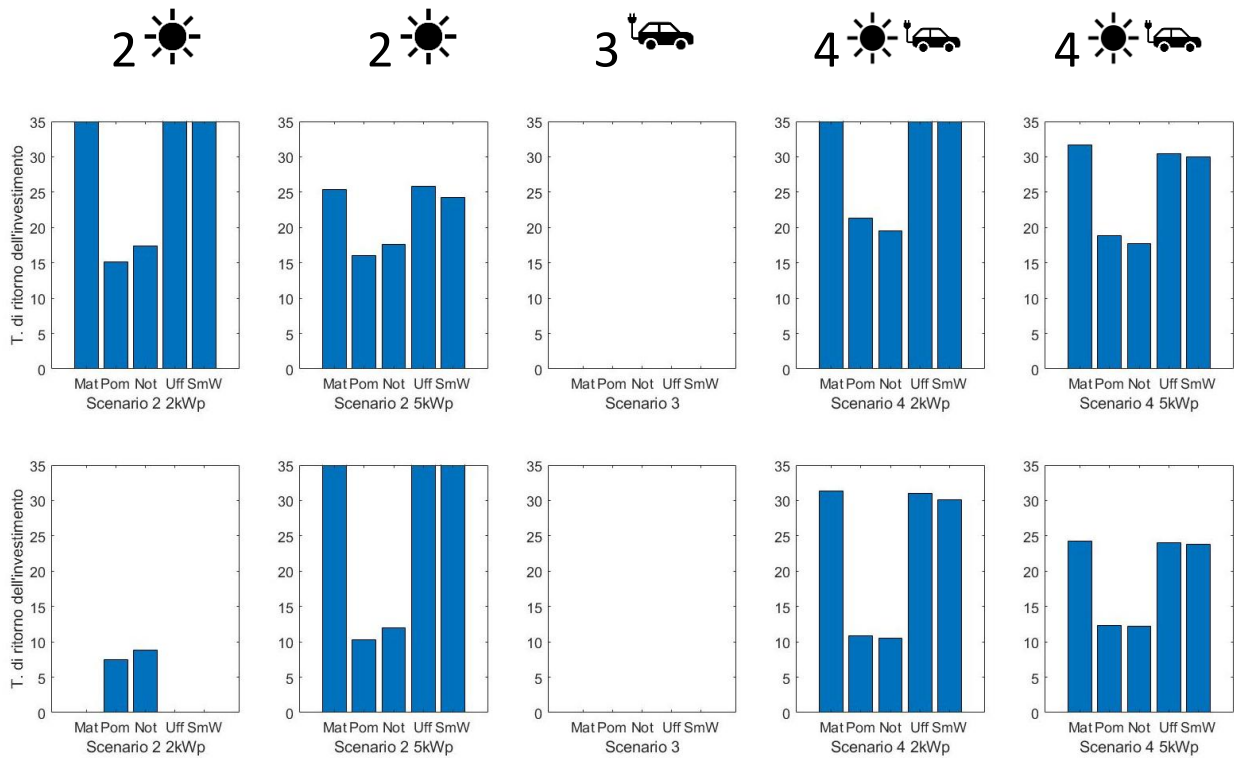


Figura 39: Tempi di ritorno dell'investimento per utente proprietario di Toyota Prius che sfrutta parzialmente l'autonomia in elettrico e utilizza il V2H sugli 80 km

Nonostante l'uso del V2H, diminuisca i costi annuali e aumenti la vantaggiosità degli investimenti passando dallo scenario 2 allo scenario 4 in bioraria, sempre escludendo gli utenti pomeridiano e notturno, l'effetto non è sufficiente e i tempi di ritorno risultano troppo alti, rendendo dunque svantaggioso mantenere parte della carica per le esigenze domestiche.

3.3 Emissioni

In ultimo, è riportata l'analisi del quantitativo di emissioni di CO₂ totali ridotte tramite l'utilizzo di veicoli elettrici, sia da soli (scenario 1) che in combinazione a fotovoltaico e V2H, utilizzando come fattori le emissioni per kWh prodotto e le emissioni dei veicoli in marcia. Ovviamente un veicolo elettrico aumenterà il fabbisogno elettrico domestico ma ridurrà a zero le emissioni lungo il tragitto. Nel calcolare le emissioni, infine, non c'è banalmente nessuna differenza tra tariffazione monoraria e bioraria.

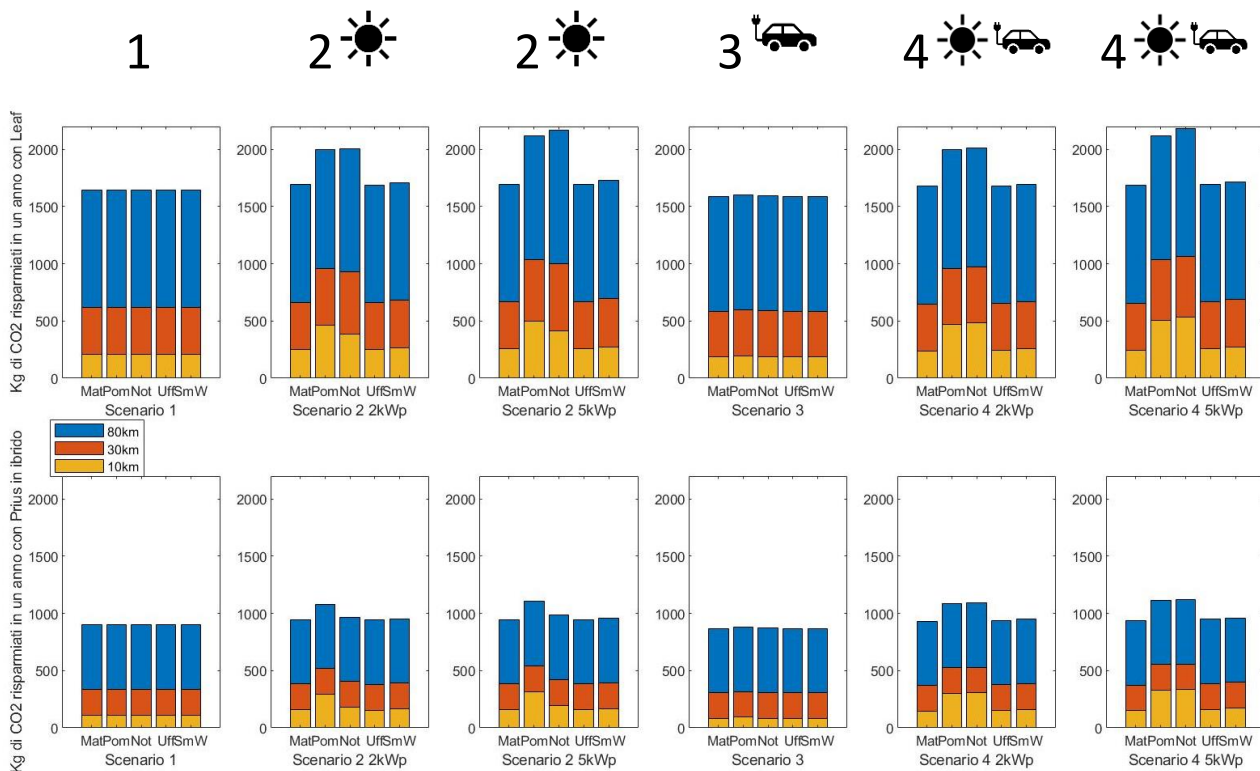


Figura 40: Kg di CO₂ non immessi in atmosfera per i vari scenari

Nella prima riga è riportato il quantitativo di emissioni risparmiato dall'utilizzo della Leaf nei vari scenari, nella seconda riga quello dell'utilizzo della Prius utilizzata in maniera ibrida. I dati sugli scenari del proprietario di Leaf riferiti a 10 km e 30 km possono essere considerati validi anche per il proprietario di Prius che utilizza l'auto nella sola modalità elettrica per il tragitto giornaliero.

Da Figura 4.13 risulta evidente come l'utilizzo di un'auto full electric sia molto più salutare per l'ambiente rispetto all'auto ibrida da un punto di vista emissivo, con quasi il doppio di kg di CO₂ risparmiati in alcuni casi. Il miglioramento maggiore dovuto all'utilizzo delle tecnologie in casa è dovuto agli impianti fotovoltaici ed in particolare è interessante notare come i lavoratori pomeridiano e notturno, ovvero le tipologie più adatte all'autoconsumo energetico, abbiano i risparmi più importanti in termini di emissioni, provato anche dall'ulteriore miglioramento del dato nel passaggio da un impianto da 2 kWp a un altro da 5 kWp.

Guardando i dati sugli scenari 3 e 4, si nota come le tecnologie V2H non forniscano miglioramenti diretti nelle emissioni, anzi un leggero peggioramento, a causa del rendimento non perfetto di carica e scarica, rendendo così lo scenario 2 il meno inquinante tra quelli considerati. Le tecnologie V2H possono tuttavia aiutare in maniera indiretta sotto questo aspetto in quanto la riduzione dei picchi di domanda e dell'utilizzo di fonti di

backup, oltre ai servizi ausiliari per la rete in un eventuale contesto di smart grid, aiutano a ridurre gli sprechi e i malfunzionamenti e, indirettamente, anche le emissioni generali.

Per stabilire infine il comportamento di guida migliore per il possessore di Prius plug-in, sono di seguito riportati anche i profili di emissione per un guidatore che percorre 80 km giornalieri e che sfrutta al massimo l'autonomia in elettrico o ne usa solo 30 km per poter utilizzare il V2H in casa:

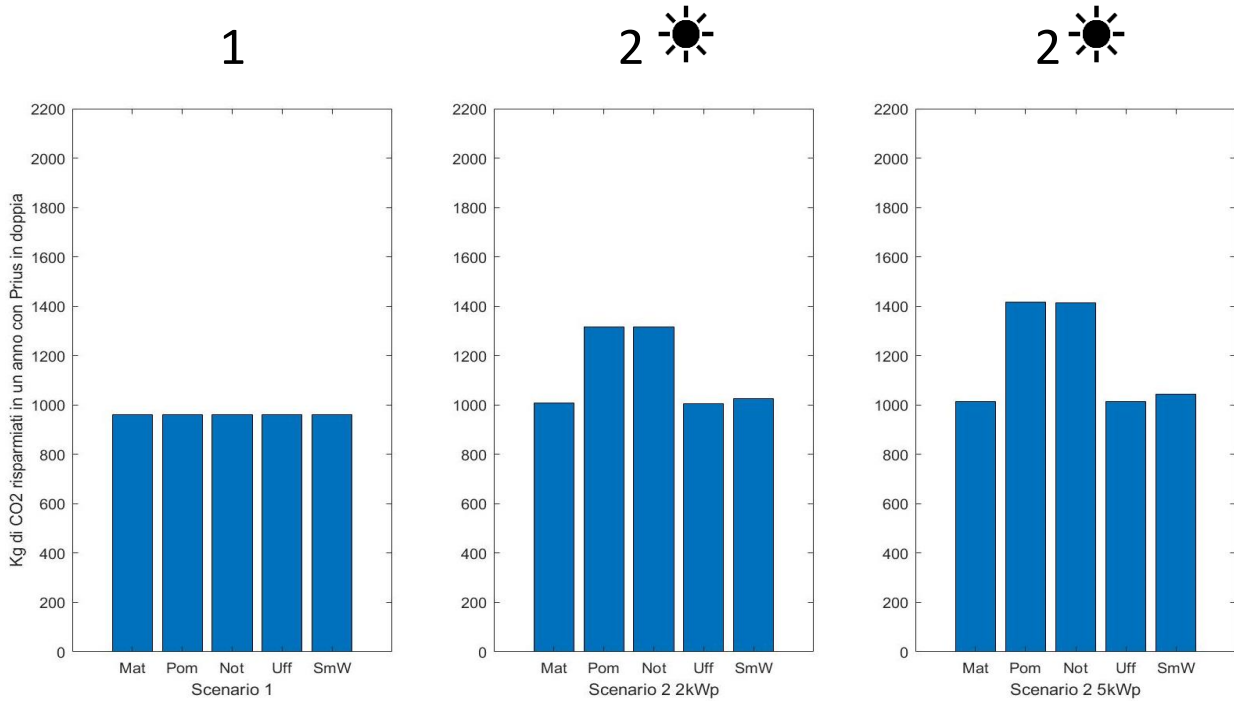


Figura 41: Kg di CO₂ risparmiati in un anno sfruttando l'autonomia in elettrico della Prius sugli 80 km

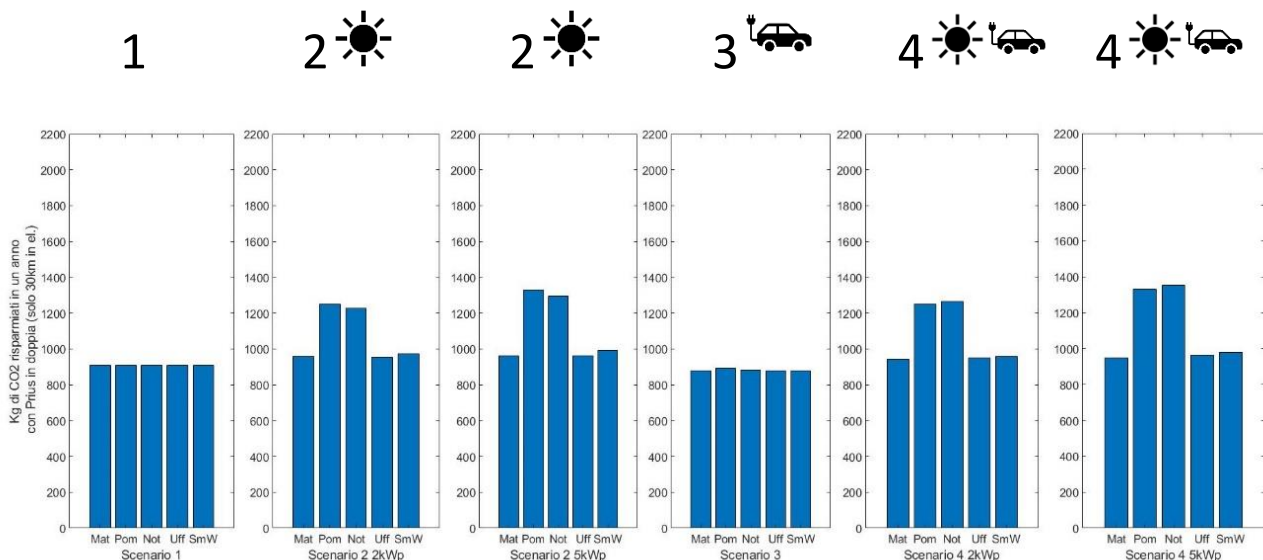


Figura 42: Kg di CO₂ risparmiati in un anno sfruttando parzialmente l'autonomia in elettrico della Prius sugli 80 km e il V2H

Il valore maggiore di emissioni risparmiate appartiene all'utente che sfrutta al massimo l'autonomia della batteria della Prius durante il tragitto, anche comparato con il grafico di Figura 4.13 dell'utente che guida in modalità ibrida per la medesima distanza, con nuovamente valori più promettenti per i lavoratori notturno e pomeridiano che sfruttano maggiormente l'autoconsumo. Tuttavia, non essendo possibile utilizzare il V2H nel caso di massimo utilizzo della batteria, lo scenario 4 dal grafico di Figura 4.15 potrebbe contribuire ad incrementare i vantaggi derivanti dall'applicazione massiva del V2H e portare ad un minor quantitativo totale di emissioni.

Conclusioni

Le abitudini dell'utente risultano fondamentali per stabilire la più vantaggiosa possibile delle configurazioni domestiche. Per quanto riguarda i possessori di auto elettrica, se consideriamo l'evoluzione futura del mercato, l'investimento per l'utilizzo del V2H in combinazione con un impianto fotovoltaico riuscirà ad abbassare i tempi di ritorno economico rispetto al solo acquisto dell'impianto per tutte le tipologie di utente e tariffazione, oltre ai difficilmente quantificabili benefici che una sua distribuzione massiva porterebbero alla rete nazionale. Tra le categorie considerate di utenti/lavoratori, quelli "mattutino", "in ufficio" e "in smart working" potranno ottenere un risparmio anche solo dall'abbinamento della tecnologia V2H alla tariffazione bioraria; in particolare risulta conveniente già allo stato attuale del mercato l'utilizzo del V2H per gli utenti già possessori di un impianto fotovoltaico installato in casa.

La disponibilità in casa nelle ore centrali del giorno dei lavoratori notturno e pomeridiano, invece, permette un maggiore autoconsumo nel caso di impianto fotovoltaico e riesce a rendere conveniente anche un sistema V2H che sarebbe svantaggioso se utilizzato singolarmente, qualunque sia la tariffazione utilizzata; la monoraria resta tuttavia la tariffazione più vantaggiosa per questi ultimi due tipi d'utenza.

Molto importanti, inoltre, sono il dimensionamento dell'impianto rispetto al luogo di installazione, per non avere costi d'investimento sproporzionati alla resa, e la distanza percorsa giornalmente, in quanto l'investimento ha un tempo di ritorno tanto minore, quanto maggiore è la distanza giornaliera percorsa. L'abbassamento previsto del prezzo per gli impianti fotovoltaici e per i sistemi di collegamento domestici renderà più accessibile un loro acquisto e un basso prezzo dei caricatori bidirezionali velocizzerà i tempi di ritorno di entrambi grazie anche ad una forte riduzione dei costi per l'energia.

Discorso analogo a quello fatto per i possessori di veicoli elettrici può essere fatto per i possessori di veicoli PHEV, riguardo alla convenienza dell'investimento nelle varie configurazioni domestiche, qualunque sia il tipo di utilizzo che ne viene fatto.

Per questa tipologia di utenti la distanza percorsa giornalmente diventa un discrimine fondamentale per stabilire lo scenario migliore: finché la distanza da percorrere resta inferiore alla soglia dei 30 km, valgono tutte le considerazioni affrontate per il proprietario di veicolo elettrico, in quanto è possibile utilizzare il proprio veicolo PHEV in modalità pura elettrica per le missioni giornaliere tipiche. Diversamente, per tragitti che superano l'autonomia in elettrico del veicolo ibrido, l'utilizzo più economico per l'utente è quello che ne sfrutta al massimo l'autonomia, anche rispetto ad un utente che mantiene una quantità di carica sufficiente da effettuare la condivisione V2H.

L'utilizzo della modalità di trazione elettrica, sia per veicoli full electric che PHEV, aiuta ad abbattere le emissioni di CO₂ in atmosfera, in particolare per la full electric, le quali possono essere ulteriormente ridotte con l'implementazione di un impianto di produzione energetica domestico. L'implementazione del V2H non è tuttavia favorevole sotto questo punto di vista in maniera diretta, ma una sua applicazione massiva abbinata ad un impianto fotovoltaico, specialmente nel contesto di una smart grid, può portare comunque all'abbassamento dell'energia totale prodotta sulla rete nazionale e dunque indirettamente delle emissioni, grazie alla riduzione degli sprechi energetici.

La creazione futura di incentivi, nuovi modelli di business e l'avanzamento tecnologico porteranno alla riduzione dei costi d'investimento per l'installazione delle configurazioni di impianto più congeniali in base alle esigenze di ognuno e renderanno più agevole all'utente il passaggio ad una nuova mobilità elettrica più sostenibile.

Riferimenti Bibliografici

AlixPartners. (2019). Global Automotive Outlook.

American Automobile Association, Inc. (2019). Electric Vehicle Range Testing.

ARERA. Corrispettivi Cusf 2019. <https://www.arera.it/allegati/comunicati/CorrispettiviCUSf2019.pdf>

Chen, J., Zan, Y., Li, X., Sun, B., Liao, Q., Tao, Y., & Wang, Z. (2020). Strategic integration of vehicle-to-home system with home distributed photovoltaic power generation in Shanghai. *Applied Energy*, 263.

Cobb, J. Top 10 Plug-in Vehicle Adopting Countries of 2016. <https://www.hybridcars.com/top-10-plug-in-vehicle-adopting-countries-of-2016/>

Datta, U., Shi, J., & Kalam, A. (2018). Electric Vehicle (EV) in Home Energy Management to Reduce Daily Electricity Costs of Residential Customer. Research Gate.

Datta, U., Shi, J., & Kalam, A. (2019). The Strategies of EV Charge/Discharge Management in Smart Grid Vehicle-to-Everything (V2X) Communication Networks. Research Gate.

EEA. CO2 Emission Intensity. Tratto da <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-5>

Enel X. EMW Plugs. https://evcharging.enelx.com/images/PR/Articles/blog/EMW_plugs_.jpg

ENSTO. (2016). V2G and V2H.

Eurostat. (2018). SHARES 2018.

Everoze, EVConsult commissionato da UK Power Networks. (2018). V2G Global Roadtrip: around the globe in 50 projects.

GME. (2019). <https://www.mercatoelettrico.org/it/MenuBiblioteca/Documenti/Anno2019.zip>

Hamidi, R. J. (2020). Distributed Charging Management of Electric Vehicles in Smart Microgrids. In *Electric Vehicles in Energy Systems*.

Hemmati, M., Abapour, M., & Mohammadi-ivatloo, B. (2020). Optimal Scheduling in Smart Microgrids in Presence of Battery Swapping Stations in Electric Vehicles. In *Electric Vehicles in Energy Systems*. Springer Nature Switzerland AG.

IEA. (2018). Key energy statistics. Tratto da <https://www.iea.org/countries>

IEC. (2014). IEC 62196-1: Requisiti generali. In IEC 62196.

IEC. (2017). IEC 61851-1: Requisiti generali. In IEC 61851.

INRIM. Ricarica Elettrica Induttiva. <https://www.certifico.com/component/attachments/download/6617>

Jahangir, H., Golkar, M. A., Ahmadian, A., & Elkamel, A. (2020). Artificial Intelligence-based Approach For Electric Vehicle Travel Behavior Modeling. In *Electric Vehicles in Energy Systems*. Springer Nature Switzerland AG.

Jahangir, H., Golkar, M. A., Ahmadian, A., & Elkamel, A. (2020). Why Electric Vehicles? In *Electric Vehicles in Energy Systems*. Springer Nature Switerland AG.

Kataoka, R., Shichi, A., Yamada, H., Iwafune, Y., & Ogimoto, K. (2019). Comparison of the Economic and Environmental Performance of V2H and Residential Stationary Battery: Development of a Multi-Objective Optimization Method for Homes of EV Owners. *World Electric Vehicle Journal*.

- Kobashi, T., & Yarime, M. (2019). Techno-economic assessment of the residential photovoltaic systems integrated with electric vehicles: A case study of Japanese households towards 2030.
- Larson, C. (2019). Il paradosso cinese: il leader delle rinnovabili punta ancora sul carbone. Fortune Italia.
- Ministero dello Sviluppo Economico. (2016). Guida al risparmio di carburanti e alle emissioni di CO₂. <https://www.mise.gov.it/index.php/it/mercato-e-consumatori/qualita-di-prodotti-e-servizi/auto-ed-emissioni-co2>
- Ministero dello Sviluppo Economico. (2020). DI Rilancio, informazioni per famiglie, lavoratori e imprese. Tratto da <http://www.governo.it/it/dl-rilancio>
- Ministero dello Sviluppo Economico. Prezzi medi settimanali dei carburanti e combustibili. Tratto da https://dgsaie.mise.gov.it/prezzi_carburanti_settimanali.php
- Minnesota Pollution Control Agency. Electric vehicles. <https://www.pca.state.mn.us/air/electric-vehicles>
- Motor1.com. Auto Elettrica, quanto dura la batteria? <https://it.motor1.com/features/263303/auto-elettrica-quanto-dura-la-batteria/>
- Nissan. Autonomia e ricarica. <https://www.nissan.it/veicoli/veicoli-nuovi/leaf/autonomia-ricarica.html>
- OECD. (2016). Global EV Outlook.
- OFV. 81,6 prosent ladbare personbiler i september. <https://ofv.no/aktuelt/2020/81-6-prosent-ladbare-personbiler-i-september>
- Ortiz, M. ". (2016). Global plug-in car sales since 2011. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php>
- Politecnico di Milano. (2018). E-Mobility Report. Milano.
- Politecnico di Milano. (2019). Smart Mobility Report 2019. Milano.
- Regione Veneto. (2018). VEHICLE TO HOME (V2H) - L'AUTO ELETTRICA COME VETTORE DI ENERGIA NELLA "SMART GRID.
- Shaafati, M., Asghar, M. S., & Alam, M. S. (2017). Load shedding mitigation through plug-in electric Vehicle-to-Home (V2H) System. Research Gate.
- Shariff, S. M., Alam, M. S., Iqbal, D., & Ahmad, F. (2019). A State of the Art Review of Electric Vehicle to Grid (V2G) technology. Research Gate.
- Staunton, R. H., Ayers, C. W., Marlino, L. D., Chiasson, J. R., & Burrell, T. A. (2006). Evaluation of 2004 Toyota Prius Hybrid Electric Drive System. United States: Oak Ridge National Laboratory.
- TERNA. (2019). Tratto da <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/transparency-report/total-load>
- Toyota. Allestimenti e Specifiche tecniche. Tratto da <https://www.toyota.it/gamma/prius-plugin/allestimenti-e-specifiche-tecniche/>
- Tuttle, D. P., Baldick, R., Fares, R. L., & Webber, M. E. (2013). Plug-In Vehicle to Home (V2H) duration and power output capability. Research Gate.
- Uddin, K., Jackson, T., Widanage, W. D., Chouchelamane, G., Jennings, P. A., & Marco, J. (2017). On the possibility of extending the lifetime of lithiumion batteries through optimal V2G facilitated by an integrated vehicle and smart-grid system. Energy.
- Vadi, S., Bayindir, R., Colak, A., & Hossain, E. (2019). A Review on Communication Standards and Charging Topologies of V2G and V2H Operation Strategies. MDPI.
- Vermont Energy Investment Corporation and the National Association of State Energy Officials. (2013). Review of Utility Integrated Resource Plans and Electric Vehicle Load Forecasting.

Appendice A - Codice MATLAB per l'analisi comparativa degli scenari

Dati iniziali

```
%Dati veicoli, investimenti e consumi
CsLeaf=0.185; %consumo specifico Nissan Leaf[kWh/km]
CsPrius=0; %consumo elettrico specifico Prius in ibrido: considerato nullo durante la marcia
Tragitto=[10 30 80]; %tragitti in elettrico considerati
TragittoPriusE=Tragitto(3)-49; %tragitto della Prius usando la modalità elettrica al massimo (49km)
TragittoPriusEV2H=Tragitto(3)-30; %tragitto della Prius usando la modalità elettrica per 30km
ELeaf=CLeaf*Tragitto; %consumo Leaf casa-lavoro
EPrius=CSPrius*Tragitto; %consumo elettrico Prius usata in ibrido casa-lavoro (considerato nullo)
BPrius=8.5; %capacità in kWh della batteria della Prius (consumata tutta se usata solo in modalità elettrica >49km)

%Investimento iniziale
InvPV=[3890 8800]/2; % /2 grazie alla detrazione IRPEF del 50% rateizzata in 10 anni
InvV2H=[909 909];
InvScenario1=[0 0]; InvScenario2=[InvPV]; InvScenario3=[InvV2H]; InvScenario4=[InvPV+InvV2H];
Benzina=1.389; %Costo benzina (Solo per la Prius) [€/l]
ConsPrius=4.8; %consumo di carburante della Prius[l/100km]
InvBenz=(ConsPrius/100)*Tragitto*310*Benzina; %solo Prius in ibrido, auto usata per tragitti 310
giorni l'anno
InvBenz=[repmat(InvBenz,1,5)]';
InvBenzE=(ConsPrius/100)*TragittoPriusE*310*Benzina; %Costo benzina per Prius totalmente in modalità
elettrica (49km)
InvBenzEV2H=(ConsPrius/100)*TragittoPriusEV2H*310*Benzina; %Costo Benzina per Prius in elettrico per
30km

%Emissioni
CarbInt=256.2/1000; %Carbon Intensity [kgCO2/kWh]
EmLeaf=310*repmat((115.4*Tragitto',5,1)/1000; %[kgCO2/km * km] annuale, kgCO2 risparmiati dalla Leaf
per 310 di tragitti]
EmPrius=310*repmat((115.4-(75*(1530/1450)))*Tragitto',5,1)/1000; %[kgCO2/km * km] annuale per 310 di
tragitti risparmiati dalla Prius (*1530/1450 peso zavorra batteria)
EmPriusE=310*repmat((115.4-29)*49+(115.4-(75*(1530/1450)))*(Tragitto(3)-49),5,1)/1000; %emissioni
risparmiate Prius usata in modalità elettrica per i 49km di autonomia
EmPriusEE=310*repmat((115.4-29)*30+(115.4-(75*(1530/1450)))*(Tragitto(3)-30),5,1)/1000;
%emissioni risparmiate Prius usata in modalità elettrica per 30km di autonomia
```

Modelli d'utenza

```
%Consumi domestici per diversi utenti senza VE (nonché Prius scenario 1)
FabCasaMat=[0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.024 0.024 0.024 0.024 0.024 0.024 0.024 0.024 0.024
0.041 0.041 0.044 0.044 1.028 0.045 1.045 1.028 0.028 0.028]; %turno mattina
FabCasaPom=[0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.024 0.041 1.024 1.024 0.024
0.024 0.024 0.024 0.024 0.024 0.024 0.024 0.024 0.055 0.055]; %turno pomeriggio
FabCasaNot=[0.024 0.024 0.024 0.024 0.024 0.024 1.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028
0.028 0.028 0.044 0.041 1.028 0.045 1.045 0.024 0.024 0.024]; %turno notte
FabCasaUff=[0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.024 0.024 0.024 0.024 0.024 0.024
0.024 0.024 0.024 0.041 1.028 0.045 1.045 1.048 0.048 0.028]; %turno ufficio
FabCasaSmW=[0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.024 0.044 0.044 0.044 0.044 0.044 0.044
0.044 0.044 0.044 0.024 1.028 0.045 1.045 1.045 0.045 0.028]; %smart working
FabCasaSab=[0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.041 0.041 0.041 0.024 0.024 0.024
0.024 0.024 0.024 0.024 0.024 0.024 0.024 0.028 0.028]; %sabato
FabCasaDom=[0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.028 0.041 0.041 0.041 1.024 0.041 1.041
0.044 0.044 0.044 0.024 1.028 0.045 1.045 1.028 0.028 0.028]; %domenica

%Quantità di energia per ricaricare la Leaf senza V2H (*1.03 per comprendere il rendimento di
ricarica)
CLeafMat=[ELeaf'/6 ELeaf'/6 ELeaf'/6 ELeaf'/6 ELeaf'/6 zeros(3,18) ELeaf'/6]*1.03;
CLeafPom=[zeros(3,7) ELeaf'/6 ELeaf'/6 ELeaf'/6 ELeaf'/6 ELeaf'/6 ELeaf'/6 zeros(3,11)]*1.03;
CLeafNot=[zeros(3,9) ELeaf'/6 ELeaf'/6 ELeaf'/6 ELeaf'/6 ELeaf'/6 ELeaf'/6 zeros(3,9)]*1.03;
CLeafUff=CLeafMat;
CLeafSmW=[ELeaf'/7 ELeaf'/7 ELeaf'/7 ELeaf'/7 ELeaf'/7 ELeaf'/7 zeros(3,17) ELeaf'/7]*1.03;
CLeafSab=[ELeaf'/6 ELeaf'/6 ELeaf'/6 ELeaf'/6 ELeaf'/6 ELeaf'/6 zeros(3,18)]*1.03;
CLeafDom=[zeros(3,24)]*1.03;

%Energia per ricaricare la Leaf con V2H (*1.03 per comprendere il
rendimento di ricarica), da sommare al fabbisogno
CLeafV2HMat=[EtotLeafMat/7 EtotLeafMat/7 EtotLeafMat/7 EtotLeafMat/7 EtotLeafMat/7 zeros(3,17)
EtotLeafMat/7 EtotLeafMat/7]*1.03;
```

```

CLeafV2HPom=[zeros(3,7) EtotLeafPom/7 EtotLeafPom/7 EtotLeafPom/7 EtotLeafPom/7 EtotLeafPom/7
EtotLeafPom/7 EtotLeafPom/7 zeros(3,10)]*1.03;
CLeafV2HNot=[zeros(3,8) EtotLeafNot/7 EtotLeafNot/7 EtotLeafNot/7 EtotLeafNot/7 EtotLeafNot/7
EtotLeafNot/7 EtotLeafNot/7 zeros(3,9)]*1.03;
CLeafV2HUff=[EtotLeafUff/7 EtotLeafUff/7 EtotLeafUff/7 EtotLeafUff/7 EtotLeafUff/7 EtotLeafUff/7
zeros(3,17) EtotLeafUff/7]*1.03;
CLeafV2HSmW=[EtotLeafSmW/7 EtotLeafSmW/7 EtotLeafSmW/7 EtotLeafSmW/7 EtotLeafSmW/7 EtotLeafSmW/7
zeros(3,17) EtotLeafSmW/7]*1.03;
CLeafV2HSab=[EtotLeafSab/6 EtotLeafSab/6 EtotLeafSab/6 EtotLeafSab/6 EtotLeafSab/6 EtotLeafSab/6
zeros(3,16) EtotLeafDom/8 EtotLeafDom/8]*1.03;
CLeafV2HDom=[EtotLeafDom/8 EtotLeafDom/8 EtotLeafDom/8 EtotLeafDom/8 EtotLeafDom/8 EtotLeafDom/8
zeros(3,18)]*1.03;

```

%Fabbisogno casa con Leaf senza V2H (scenario 1)

```

FabtotLeafMat=FabCasaMat1+CLeafMat;
FabtotLeafPom=FabCasaPom1+CLeafPom;
FabtotLeafNot=FabCasaNot1+CLeafNot;
FabtotLeafUff=FabCasaUff1+CLeafUff;
FabtotLeafSmW=FabCasaSmW1+CLeafSmW;
FabtotLeafSab=FabCasaSab1+CLeafSab;
FabtotLeafDom=FabCasaDom1+CLeafDom;

```

%Fabbisogno casa con Leaf con V2H (scenario 3) (i valori di ricarica già includono il rendimento di carica, il *1.03 include i rendimenti di scarica per utilizzare il V2H) (uguale per la Prius ibrida)

```

FabtotLeafV2HMat=(FabCasaMat1-V2HLeafMat)+CLeafV2HMat*1.03;
FabtotLeafV2HPom=(FabCasaPom1-V2HLeafPom)+CLeafV2HPom*1.03;
FabtotLeafV2HNot=(FabCasaNot1-V2HLeafNot)+CLeafV2HNot*1.03;
FabtotLeafV2HUff=(FabCasaUff1-V2HLeafUff)+CLeafV2HUff*1.03;
FabtotLeafV2HSmW=(FabCasaSmW1-V2HLeafSmW)+CLeafV2HSmW*1.03;
FabtotLeafV2HSab=(FabCasaSab1-V2HLeafSab)+CLeafV2HSab*1.03;
FabtotLeafV2HDom=(FabCasaDom1-V2HLeafDom)+CLeafV2HDom*1.03;

```

%Quantità di energia per ricaricare la Prius usata in ibrido (solo con V2H)

```

CPriusMat=[sumV2HPriusMat/6 sumV2HPriusMat/6 sumV2HPriusMat/6 sumV2HPriusMat/6 sumV2HPriusMat/6
zeros(3,18) sumV2HPriusMat/6]*1.03;
CPriusPom=[zeros(3,7) sumV2HPriusPom/6 sumV2HPriusPom/6 sumV2HPriusPom/6 sumV2HPriusPom/6
sumV2HPriusPom/6 sumV2HPriusPom/6 zeros(3,11)]*1.03;
CPriusNot=[zeros(3,9) sumV2HPriusNot/6 sumV2HPriusNot/6 sumV2HPriusNot/6 sumV2HPriusNot/6
sumV2HPriusNot/6 sumV2HPriusNot/6 zeros(3,9)]*1.03;
CPriusUff=[sumV2HPriusUff/6 sumV2HPriusUff/6 sumV2HPriusUff/6 sumV2HPriusUff/6 sumV2HPriusUff/6
zeros(3,18) sumV2HPriusUff/6]*1.03;
CPriusSmW=[sumV2HPriusSmW/7 sumV2HPriusSmW/7 sumV2HPriusSmW/7 sumV2HPriusSmW/7 sumV2HPriusSmW/7
sumV2HPriusSmW/7 zeros(3,17) sumV2HPriusSmW/7]*1.03;
CPriusSab=[sumV2HPriusSab/6 sumV2HPriusSab/6 sumV2HPriusSab/6 sumV2HPriusSab/6 sumV2HPriusSab/6
sumV2HPriusSab/6 zeros(3,16) sumV2HPriusDom/8 sumV2HPriusDom/8]*1.03;
CPriusDom=[sumV2HPriusDom/8 sumV2HPriusDom/8 sumV2HPriusDom/8 sumV2HPriusDom/8 sumV2HPriusDom/8
sumV2HPriusDom/8 zeros(3,17) sumV2HPriusDom/3]*1.03;

```

%Quantità di energia per ricaricare la Prius usata in modalità elettrica senza V2H (49km e 30km+V2H)

```

CPriusEMat=[BPrius/6 BPrius/6 BPrius/6 BPrius/6 BPrius/6 zeros(1,18) BPrius/6]*1.03;
CPriusEPom=[zeros(1,7) BPrius/6 BPrius/6 BPrius/6 BPrius/6 BPrius/6 BPrius/6 zeros(1,11)]*1.03;
CPriusENot=[zeros(1,9) BPrius/6 BPrius/6 BPrius/6 BPrius/6 BPrius/6 BPrius/6 zeros(1,9)]*1.03;
CPriusEUff=[BPrius/6 BPrius/6 BPrius/6 BPrius/6 BPrius/6 zeros(1,18) BPrius/6]*1.03;
CPriusESmW=[BPrius/7 BPrius/7 BPrius/7 BPrius/7 BPrius/7 BPrius/7 zeros(1,17) BPrius/7]*1.03;
CPriusESab=[BPrius/6 BPrius/6 BPrius/6 BPrius/6 BPrius/6 BPrius/6 zeros(1,18)]*1.03;
CPriusEDom=[zeros(1,24)]*1.03; %no tragitti la domenica

```

%Fabbisogno totale con Prius usata in ibrido con V2H (scenario 3) (CPrius già contiene il rendimento di carica, il *1.03 qui

%tiene conto del rendimento di scarica del V2H)

```

FabtotPriusMat=(FabCasaMat1-V2HPriusMat)+CPriusMat*1.03;
FabtotPriusPom=(FabCasaPom1-V2HPriusPom)+CPriusPom*1.03;
FabtotPriusNot=(FabCasaNot1-V2HPriusNot)+CPriusNot*1.03;
FabtotPriusUff=(FabCasaUff1-V2HPriusUff)+CPriusUff*1.03;
FabtotPriusSmW=(FabCasaSmW1-V2HPriusSmW)+CPriusSmW*1.03;
FabtotPriusSab=(FabCasaSab1-V2HPriusSab)+CPriusSab*1.03;
FabtotPriusDom=(FabCasaDom1-V2HPriusDom)+CPriusDom*1.03;

```

%Fabbisogno totale Prius usata sfruttando la modalità elettrica (49km e 30km+V2H)

```

FabtotPriusEMat=FabCasaMat+CPriusEMat;
FabtotPriusEPom=FabCasaPom+CPriusEPom;
FabtotPriusENot=FabCasaNot+CPriusENot;
FabtotPriusEUff=FabCasaUff+CPriusEUff;
FabtotPriusESmW=FabCasaSmW+CPriusESmW;
FabtotPriusESab=FabCasaSab+CPriusESab;
FabtotPriusEDom=FabCasaDom+CPriusEDom;

```

Costi specifici

```
%Tariffa oraria Enel [€/kWh]
TOrraria=0.079; AnnoOraria=[repelem(TOrraria,8760)]; %Prezzo per tutte le ore dell'anno

%Tariffa bioraria Enel [€/kWh]
GiornoBioraria=[repelem(0,7) repelem(0.144,15) repelem(0,2)];
WeekendBioraria=[repelem(0,24)];
SettBioraria=[repmat(GiornoBioraria,1,6) repmat(WeekendBioraria,1,1)];
AnnoBioraria=[WeekendBioraria repmat(GiornoBioraria,1,4) repmat(WeekendBioraria,1,1)
repmat(SettBioraria,1,51) repmat(WeekendBioraria,1,2)];

%Fabbisogno orario per 365 giorni Leaf no V2H (scenario 1)
SettimanaLeafMat=[repmat(FabtotLeafMat,1,5) FabtotLeafSab FabtotLeafDom]; AnnoLeafMat=[FabtotLeafDom
repmat(FabtotLeafMat,1,3) FabtotLeafSab FabtotLeafDom repmat(SettimanaLeafMat,1,51)
repmat(FabtotLeafMat,1,2)];
SettimanaLeafPom=[repmat(FabtotLeafPom,1,5) FabtotLeafSab FabtotLeafDom]; AnnoLeafPom=[FabtotLeafDom
repmat(FabtotLeafPom,1,3) FabtotLeafSab FabtotLeafDom repmat(SettimanaLeafPom,1,51)
repmat(FabtotLeafPom,1,2)];
SettimanaLeafNot=[repmat(FabtotLeafNot,1,5) FabtotLeafSab FabtotLeafDom]; AnnoLeafNot=[FabtotLeafDom
repmat(FabtotLeafNot,1,3) FabtotLeafSab FabtotLeafDom repmat(SettimanaLeafNot,1,51)
repmat(FabtotLeafNot,1,2)];
SettimanaLeafUff=[repmat(FabtotLeafUff,1,5) FabtotLeafSab FabtotLeafDom]; AnnoLeafUff=[FabtotLeafDom
repmat(FabtotLeafUff,1,3) FabtotLeafSab FabtotLeafDom repmat(SettimanaLeafUff,1,51)
repmat(FabtotLeafUff,1,2)];
SettimanaLeafSmW=[repmat(FabtotLeafSmW,1,5) FabtotLeafSab FabtotLeafDom]; AnnoLeafSmW=[FabtotLeafDom
repmat(FabtotLeafSmW,1,3) FabtotLeafSab FabtotLeafDom repmat(SettimanaLeafSmW,1,51)
repmat(FabtotLeafSmW,1,2)];
AnnoLeaf=[AnnoLeafMat;AnnoLeafPom;AnnoLeafNot;AnnoLeafUff;AnnoLeafSmW];

%Fabbisogno orario per 365 giorni Leaf con V2H (scenario 3)
SettimanaLeafV2HMat=[repmat(FabtotLeafV2HMat,1,5) FabtotLeafV2HSab FabtotLeafV2HDom];
AnnoLeafV2HMat=[FabtotLeafV2HDom repmat(FabtotLeafV2HMat,1,3) FabtotLeafV2HSab FabtotLeafV2HDom
repmat(SettimanaLeafV2HMat,1,51) repmat(FabtotLeafV2HMat,1,2)];
SettimanaLeafV2HPom=[repmat(FabtotLeafV2HPom,1,5) FabtotLeafV2HSab FabtotLeafV2HDom];
AnnoLeafV2HPom=[FabtotLeafV2HDom repmat(FabtotLeafV2HPom,1,3) FabtotLeafV2HSab FabtotLeafV2HDom
repmat(SettimanaLeafV2HPom,1,51) repmat(FabtotLeafV2HPom,1,2)];
SettimanaLeafV2HNot=[repmat(FabtotLeafV2HNot,1,5) FabtotLeafV2HSab FabtotLeafV2HDom];
AnnoLeafV2HNot=[FabtotLeafV2HDom repmat(FabtotLeafV2HNot,1,3) FabtotLeafV2HSab FabtotLeafV2HDom
repmat(SettimanaLeafV2HNot,1,51) repmat(FabtotLeafV2HNot,1,2)];
SettimanaLeafV2HUff=[repmat(FabtotLeafV2HUff,1,5) FabtotLeafV2HSab FabtotLeafV2HDom];
AnnoLeafV2HUff=[FabtotLeafV2HDom repmat(FabtotLeafV2HUff,1,3) FabtotLeafV2HSab FabtotLeafV2HDom
repmat(SettimanaLeafV2HUff,1,51) repmat(FabtotLeafV2HUff,1,2)];
SettimanaLeafV2HSmW=[repmat(FabtotLeafV2HSmW,1,5) FabtotLeafV2HSab FabtotLeafV2HDom];
AnnoLeafV2HSmW=[FabtotLeafV2HDom repmat(FabtotLeafV2HSmW,1,3) FabtotLeafV2HSab FabtotLeafV2HDom
repmat(SettimanaLeafV2HSmW,1,51) repmat(FabtotLeafV2HSmW,1,2)];
AnnoLeafV2H=[AnnoLeafV2HMat;AnnoLeafV2HPom;AnnoLeafV2HNot;AnnoLeafV2HUff;AnnoLeafV2HSmW];

%Creazione vettori analoga per la Prius nelle varie modalità
BPriusV2H=(8.788-sumV2HLeaf30)/(8.788/49); %consumo batteria Prius usata in elettrico per soli 30km
AnnoPriusEV2H=AnnoLeafV2H(2:3:15,:); %solo 30km, fabbisogno uguale alla LeafV2H 30km
```

Costi Orari solo conto Energia

```
%Costi orari Leaf scenario 1 (1.104 è per includere le perdite di rete pari al 10,4%)
CostoOrarioLeafMat=AnnoOraria.*(AnnoLeafMat*1.104);
CostoOrarioLeafPom=AnnoOraria.*(AnnoLeafPom*1.104);
CostoOrarioLeafNot=AnnoOraria.*(AnnoLeafNot*1.104);
CostoOrarioLeafUff=AnnoOraria.*(AnnoLeafUff*1.104);
CostoOrarioLeafSmW=AnnoOraria.*(AnnoLeafSmW*1.104);
CostoBiorarioLeafMat=AnnoBioraria.*(AnnoLeafMat*1.104);
CostoBiorarioLeafPom=AnnoBioraria.*(AnnoLeafPom*1.104);
CostoBiorarioLeafNot=AnnoBioraria.*(AnnoLeafNot*1.104);
CostoBiorarioLeafUff=AnnoBioraria.*(AnnoLeafUff*1.104);
CostoBiorarioLeafSmW=AnnoBioraria.*(AnnoLeafSmW*1.104);

%Costi orari Leaf scenario 3
CostoOrarioLeafV2HMat=AnnoOraria.*(AnnoLeafV2HMat*1.104);
CostoOrarioLeafV2HPom=AnnoOraria.*(AnnoLeafV2HPom*1.104);
CostoOrarioLeafV2HNot=AnnoOraria.*(AnnoLeafV2HNot*1.104);
CostoOrarioLeafV2HUff=AnnoOraria.*(AnnoLeafV2HUff*1.104);
CostoOrarioLeafV2HSmW=AnnoOraria.*(AnnoLeafV2HSmW*1.104);
```

```
CostoBiorarioLeafV2HMat=AnnoBioraria.*(AnnoLeafV2HMat*1.104);
CostoBiorarioLeafV2HPom=AnnoBioraria.*(AnnoLeafV2HPom*1.104);
CostoBiorarioLeafV2HNot=AnnoBioraria.*(AnnoLeafV2HNot*1.104);
CostoBiorarioLeafV2HUff=AnnoBioraria.*(AnnoLeafV2HUff*1.104);
CostoBiorarioLeafV2HSmW=AnnoBioraria.*(AnnoLeafV2HSmW*1.104);
```

```
%Trattazioni analoghe per la Prius
```

Costo totale bollette scenari 1 e 3

```
%Costo solo energia Leaf scenario 1 [€] (calcolo analogo per la Prius)
```

```
CostoOrarioLeaf=[CostoOrarioLeafMat;CostoOrarioLeafPom;CostoOrarioLeafNot;CostoOrarioLeafUff;CostoOrarioLeafSmW];
CostoBiorarioLeaf=[CostoBiorarioLeafMat;CostoBiorarioLeafPom;CostoBiorarioLeafNot;CostoBiorarioLeafUff;CostoBiorarioLeafSmW];
LeafOrariaScenario1=0;LeafBiorariaScenario1=0;
```

```
for i=1:8760; LeafOrariaScenario1=LeafOrariaScenario1+CostoOrarioLeaf(:,i);
end
for i=1:8760; LeafBiorariaScenario1=LeafBiorariaScenario1+CostoBiorarioLeaf(:,i);
end
```

```
%Prezzo finale bolletta Leaf scenario 1 (calcolo analogo per la Prius + costo carburante)
```

```
LeafO1=(LeafOrariaScenario1+51.1409+(20.4+20.88*3+FabAnnoLeaf*0.00833+0.00602*FabAnnoLeaf)+(FabAnnoLeaf*0.041817)+(0.0227*(FabAnnoLeaf-1800)))*1.1;
LeafB1=(LeafBiorariaScenario1+51.1409+(20.4+20.88*3+FabAnnoLeaf*0.00833+0.00602*FabAnnoLeaf)+(FabAnnoLeaf*0.041817)+(0.0227*(FabAnnoLeaf-1800)))*1.1;
```

```
%Costo solo energia Leaf scenario 3 [€] (calcolo analogo per la Prius)
```

```
CostoOrarioLeafV2H=[CostoOrarioLeafV2HMat;CostoOrarioLeafV2HPom;CostoOrarioLeafV2HNot;CostoOrarioLeafV2HUff;CostoOrarioLeafV2HSmW];
CostoBiorarioLeafV2H=[CostoBiorarioLeafV2HMat;CostoBiorarioLeafV2HPom;CostoBiorarioLeafV2HNot;CostoBiorarioLeafV2HUff;CostoBiorarioLeafV2HSmW];
```

```
LeafOrariaScenario3=0;
for i=1:8760; LeafOrariaScenario3=LeafOrariaScenario3+CostoOrarioLeafV2H(:,i);
end
LeafBiorariaScenario3=0;
for i=1:8760; LeafBiorariaScenario3=LeafBiorariaScenario3+CostoBiorarioLeafV2H(:,i);
end
```

```
%Prezzo finale bolletta Leaf scenario 3 (calcolo analogo per la Prius + costo carburante)
```

```
LeafO3=(LeafOrariaScenario3+51.1409+(20.4+20.88*3+FabAnnoLeafV2H*0.00833+0.00602*FabAnnoLeafV2H)+(FabAnnoLeafV2H*0.041817)+(0.0227*(FabAnnoLeafV2H-1800)))*1.1;
LeafB3=(LeafBiorariaScenario3+51.1409+(20.4+20.88*3+FabAnnoLeafV2H*0.00833+0.00602*FabAnnoLeafV2H)+(FabAnnoLeafV2H*0.041817)+(0.0227*(FabAnnoLeafV2H-1800)))*1.1;
```

```
%Prezzo finale bolletta Prius in elettrica (per 30km) + costo annuale benzina
```

```
%scenari 1 e 3 (come per la Leaf 30km più il costo della benzina)
PriusOEE1=LeafO1(2:3:15)+InvBenzEV2H;PriusBEE1=LeafB1(2:3:15)+InvBenzEV2H;
PriusOEE3=LeafO3(2:3:15)+InvBenzEV2H;PriusBEE3=LeafB3(2:3:15)+InvBenzEV2H;
```

Impianti fotovoltaici

```
AnnoPV2=[repmat(AnnoPV2,15,1)]; %Vettore Potenza oraria annuale per impianto da 2kWp
AnnoPV5=[repmat(AnnoPV5,15,1)]; %Vettore Potenza oraria annuale per impianto da 5kWp
```

Scenario 2

```
%Fabbisogno annuo scenario 2 più rivendita (solo fotovoltaico) [kWh]
```

```
AnnoLeafPV2=[AnnoLeaf-AnnoPV2];PV2LeafSell=0;AnnoLeafPV5=[AnnoLeaf-AnnoPV5];PV5LeafSell=0;
%Vettori analoghi per la Prius
```

```
%Fabbisogno scenario 2 e rivendita Leaf 2kWp
```

```
for i=1:8760;
for k=1:15;

if AnnoLeafPV2(k,i)>=0
PV2LeafSell(k,i)=0;
else PV2LeafSell(k,i)=-AnnoLeafPV2(k,i); %energia in eccesso rivenduta per impianto 2kWp
AnnoLeafPV2(k,i)=0;
end
end
```

```

end
%Fabbisogno scenario 2 e rivendita Leaf 5kWp
for i=1:8760;
for k=1:15;

if AnnoLeafPV5(k,i)>=0
PV5LeafSell(k,i)=0;
else PV5LeafSell(k,i)=-AnnoLeafPV5(k,i); %energia in eccesso rivenduta per impianto 5kWp
AnnoLeafPV5(k,i)=0;
end
end
end

```

Scenario 4

```

%Per lo scenario 4 si prende il fabbisogno dello scenario 2 e ricalcolo la
%fetta del V2H, in modo da dare priorità all'autoconsumo quando possibile

%Fabbisogno annuale Leaf scenario 4 2kWp più rivendita (il *1.03 è il rendimento di scarica perché
quello di ricarica era stato già considerato)
AnnoLeafV2HPV2=[AnnoLeaf-AnnoPV2-AnnoV2HLeafPV+AnnoCLeafV2HPV*1.03];
AnnoLeafV2HPV5=[AnnoLeaf-AnnoPV5-AnnoV2HLeafPV+AnnoCLeafV2HPV*1.03];
AnnoPriusV2HPV2=[AnnoPrius-AnnoPV2-AnnoV2HPriusPV+AnnoCPriusV2HPV*1.03];
AnnoPriusV2HPV5=[AnnoPrius-AnnoPV5-AnnoV2HPriusPV+AnnoCPriusV2HPV*1.03];

for k=1:15;
for i=1:8760;
if AnnoLeafV2HPV2(k,i)>=0
V2HPV2LeafSell(k,i)=0;

else V2HPV2LeafSell(k,i)=-AnnoLeafV2HPV2(k,i);
AnnoLeafV2HPV2(k,i)=0;
end;
end
end

%Fabbisogno annuale Leaf Scenario 4 5kWp e rivendita
for k=1:15;
for i=1:8760;
if AnnoLeafV2HPV5(k,i)>=0
V2HPV5LeafSell(k,i)=0;
else V2HPV5LeafSell(k,i)=-AnnoLeafV2HPV5(k,i);
AnnoLeafV2HPV5(k,i)=0;
end;
end
end

```

%Calcolo analogo per la Prius nei vari utilizzi e taglie d'impianto

```

%Totale energia immessa in rete scenari 2 e 4 Leaf (trattazione analoga per la Prius)
TotPV2LeafSell=0;TotV2HPV2LeafSell=0;TotPV5LeafSell=0;TotV2HPV5LeafSell=0;
for i=1:8760;
TotPV2LeafSell=[TotPV2LeafSell+PV2LeafSell(:,i)];
TotV2HPV2LeafSell=[TotV2HPV2LeafSell+V2HPV2LeafSell(:,i)];
TotPV5LeafSell=[TotPV5LeafSell+PV5LeafSell(:,i)];
TotV2HPV5LeafSell=[TotV2HPV5LeafSell+V2HPV5LeafSell(:,i)];
end
TotLeafSell=[TotPV2LeafSell;TotV2HPV2LeafSell;TotPV5LeafSell;TotV2HPV5LeafSell];

```

Contributo C_s GSE per rivendita alla rete

```

%Onere Energia Oe Leaf (calcolo analogo per la Prius)
OeLeafPV2=AnnoLeafPV2.*[PUN2019;PUN2019;PUN2019;PUN2019;PUN2019];
OeLeafPV2V2H=AnnoLeafV2HPV2.*[PUN2019;PUN2019;PUN2019;PUN2019;PUN2019];
OeLeafPV5=AnnoLeafPV5.*[PUN2019;PUN2019;PUN2019;PUN2019;PUN2019];
OeLeafPV5V2H=AnnoLeafV2HPV5.*[PUN2019;PUN2019;PUN2019;PUN2019;PUN2019];
OeLeaf=[OeLeafPV2;OeLeafPV2V2H;OeLeafPV5;OeLeafPV5V2H];OeAnnoLeaf=0;
for i=1:8760;
OeAnnoLeaf=[OeAnnoLeaf+OeLeaf(:,i)];
end

%Controvalore Energia Immessa Cei Leaf (calcolo analogo per la Prius)
CeiLeafPV2=PV2LeafSell.*[PUNCSUD;PUNCSUD;PUNCSUD;PUNCSUD;PUNCSUD];
CeiLeafPV2V2H=(V2HPV2LeafSell).*[PUNCSUD;PUNCSUD;PUNCSUD;PUNCSUD;PUNCSUD];

```

```

CeiLeafPV5=PV5LeafSell.*[PUNCSUD;PUNCSUD;PUNCSUD;PUNCSUD;PUNCSUD];
CeiLeafPV5V2H=(V2HPV5LeafSell).*[PUNCSUD;PUNCSUD;PUNCSUD;PUNCSUD;PUNCSUD];
CeiLeaf=[CeiLeafPV2;CeiLeafPV2V2H;CeiLeafPV5;CeiLeafPV5V2H];
CeiAnnoLeaf=0;
for i=1:8760;
    CeiAnnoLeaf=[CeiAnnoLeaf+CeiLeaf(:,i)];
end

%Prius in elettrico per 30km si differenzia così
CeiPriusEEPV2V2H=CeiLeafPV2V2H(2:3:15,:);
CeiPriusEEPV5V2H=CeiLeafPV5V2H(2:3:15,:);

%Corrispettivo Unitario Scambio Forfettario Leaf (calcolo analogo per la Prius)
Cusf=[5.328 9.476]/1000; %[e/kWh]
CusfLeaf=0;
for i=1:60;
    if FabAnnoLeafPV(i)<=1800;
        CusfLeaf(i,1)=Cusf(1);
    else CusfLeaf(i,1)=Cusf(2);
    end
end

%Energia scambiata Es (il consumo include 10,4% perdite di rete) (calcolo analogo per la Prius)
EsLeaf=0;
for i=1:60;
    EsLeaf(i,1)=min(TotLeafSell(i,1),FabAnnoLeafPV(i,1)*1.104);
end
% Prius in elettrico per 30km si differenzia così
EsPriusEE=[EsLeaf(17:3:30);EsLeaf(47:3:60)];

%Contributo in Conto Scambio con il GSE (calcolo analogo per la Prius)
CsLeaf=0;
for i=1:60;
    CsLeaf(i,:)=min(OeAnnoLeaf(i,:),CeiAnnoLeaf(i,:))+(CusfLeaf(i,:)*EsLeaf(i,:));
end

%Contributo per le Eccedenze (0.77 simula la tassazione IRPEF per utente
%senza partita IVA, le eccedenze contano come altri redditi)
EccLeaf=CeiLeaf-OeLeaf;
for i=1:60;
    for k=1:8760;
        for j=1:10;
            if EccLeaf(i,k)<0;
                EccLeaf(i,k)=0;
            end
        end
    end
end
EccAnnoLeaf=sum(EccLeaf')'*0.77;

```

Costi bolletta scenari 2 e 4

```

%Costi energia Leaf Scenario 2(include il 10,4% delle perdite di
%rete) (calcolo analogo per la Prius)
CostoOrarioLeaf2PV2=AnnoOraria.*(AnnoLeafPV2*1.104);
CostoOrarioLeaf2PV5=AnnoOraria.*(AnnoLeafPV5*1.104);
CostoBiorarioLeaf2PV2=AnnoBioraria.*(AnnoLeafPV2*1.104);
CostoBiorarioLeaf2PV5=AnnoBioraria.*(AnnoLeafPV5*1.104);
LeafOrariaScenario2PV2=0;LeafBiorariaScenario2PV2=0;LeafOrariaScenario2PV5=0;LeafBiorariaScenario2PV5=0;
for i=1:8760
    LeafOrariaScenario2PV2=[LeafOrariaScenario2PV2+CostoOrarioLeaf2PV2(:,i)];
    LeafBiorariaScenario2PV2=[LeafBiorariaScenario2PV2+CostoBiorarioLeaf2PV2(:,i)];
    LeafOrariaScenario2PV5=[LeafOrariaScenario2PV5+CostoOrarioLeaf2PV5(:,i)];
    LeafBiorariaScenario2PV5=[LeafBiorariaScenario2PV5+CostoBiorarioLeaf2PV5(:,i)];
end
%Prezzo bolletta Leaf Scenario 2(calcolo analogo per la Prius + il costo carburante)
LeafO2PV2=(LeafOrariaScenario2PV2+51.1409+(20.4+20.88*3+FabAnnoLeafPV2*0.00833+0.00602*FabAnnoLeafPV2)+(FabAnnoLeafPV2.*0.041817)+(0.0227*(FabAnnoLeafPV2-1800)))*1.1;
LeafB2PV2=(LeafBiorariaScenario2PV2+51.1409+(20.4+20.88*3+FabAnnoLeafPV2*0.00833+0.00602*FabAnnoLeafPV2)+(FabAnnoLeafPV2.*0.041817)+(0.0227*(FabAnnoLeafPV2-1800)))*1.1;
LeafO2PV5=(LeafOrariaScenario2PV5+51.1409+(20.4+20.88*3+FabAnnoLeafPV5*0.00833+0.00602*FabAnnoLeafPV5)+(FabAnnoLeafPV5.*0.041817)+(0.0227*(FabAnnoLeafPV5-1800)))*1.1;

```

```
LeafB2PV5= (LeafBiorariaScenario2PV5+51.1409+(20.4+20.88*3+FabAnnoLeafPV5*0.00833+0.00602*FabAnnoLeaf
PV5)+(FabAnnoLeafPV5.*0.041817)+(0.0227*(FabAnnoLeafPV5-1800)))*1.1;
```

```
% Costi energia Leaf scenario 4 (include perdite di rete) (calcolo analogo per la Prius)
CostoOrarioLeaf4PV2=AnnoOraria.*(AnnoLeafV2HPV2*1.104);
CostoOrarioLeaf4PV5=AnnoOraria.*(AnnoLeafV2HPV5*1.104);
CostoBiorarioLeaf4PV2=AnnoBioraria.*(AnnoLeafV2HPV2*1.104);
CostoBiorarioLeaf4PV5=AnnoBioraria.*(AnnoLeafV2HPV5*1.104);
LeafOrariaScenario4PV2=0;LeafBiorariaScenario4PV2=0;LeafOrariaScenario4PV5=0;LeafBiorariaScenario4PV
5=0;
for i=1:8760
    LeafOrariaScenario4PV2=[LeafOrariaScenario4PV2+CostoOrarioLeaf4PV2(:,i)];
    LeafBiorariaScenario4PV2=[LeafBiorariaScenario4PV2+CostoBiorarioLeaf4PV2(:,i)];
    LeafOrariaScenario4PV5=[LeafOrariaScenario4PV5+CostoOrarioLeaf4PV5(:,i)];
    LeafBiorariaScenario4PV5=[LeafBiorariaScenario4PV5+CostoBiorarioLeaf4PV5(:,i)];
end
```

```
%Prezzo bolletta Leaf Scenario 4 (calcolo analogo per la Prius + il costo carburante)
LeafO4PV2=(LeafOrariaScenario4PV2+51.1409+(20.4+20.88*3+FabAnnoLeafPV2V2H*0.00833+0.00602*FabAnnoLea
fPV2V2H)+(FabAnnoLeafPV2V2H.*0.041817)+(0.0227*(FabAnnoLeafPV2V2H-1800)))*1.1;
LeafB4PV2=(LeafBiorariaScenario4PV2+51.1409+(20.4+20.88*3+FabAnnoLeafPV2V2H*0.00833+0.00602*FabAnnoL
eafPV2V2H)+(FabAnnoLeafPV2V2H.*0.041817)+(0.0227*(FabAnnoLeafPV2V2H-1800)))*1.1;
LeafO4PV5=(LeafOrariaScenario4PV5+51.1409+(20.4+20.88*3+FabAnnoLeafPV5V2H*0.00833+0.00602*FabAnnoLea
fPV5V2H)+(FabAnnoLeafPV5V2H.*0.041817)+(0.0227*(FabAnnoLeafPV5V2H-1800)))*1.1;
LeafB4PV5=(LeafBiorariaScenario4PV5+51.1409+(20.4+20.88*3+FabAnnoLeafPV5V2H*0.00833+0.00602*FabAnnoL
eafPV5V2H)+(FabAnnoLeafPV5V2H.*0.041817)+(0.0227*(FabAnnoLeafPV5V2H-1800)))*1.1;
```

```
%Prezzo bolletta e benzina Prius in elettrico scenario 2 (30km) (il fabbisogno è lo stesso della
Leaf per 30km)
PriusOEEP2=LeafO2PV2(2:3:15)+InvBenzEV2H;
PriusBEEP2=LeafB2PV2(2:3:15)+InvBenzEV2H;
PriusOEEP5=LeafO2PV5(2:3:15)+InvBenzEV2H;
PriusBEEP5=LeafB2PV5(2:3:15)+InvBenzEV2H;
```

```
%Prezzo bolletta e benzina Prius in elettrico scenario 4 (30km)
PriusOEEV2HPV2=LeafO4PV2(2:3:15)+InvBenzEV2H;
PriusBEEV2HPV2=LeafB4PV2(2:3:15)+InvBenzEV2H;
PriusOEEV2HPV5=LeafO4PV5(2:3:15)+InvBenzEV2H;
PriusBEEV2HPV5=LeafB4PV5(2:3:15)+InvBenzEV2H;
```

```
%Costo totale annuale Leaf scenario 2 (calcolo analogo per la Prius)
LeafOPV2Scenario2=LeafO2PV2-CsLeaf(1:15)-EccAnnoLeaf(1:15);
LeafOPV5Scenario2=LeafO2PV5-CsLeaf(31:45)-EccAnnoLeaf(31:45);
LeafBPV2Scenario2=LeafB2PV2-CsLeaf(1:15)-EccAnnoLeaf(1:15);
LeafBPV5Scenario2=LeafB2PV5-CsLeaf(31:45)-EccAnnoLeaf(31:45);
%Costo totale annuale Leaf scenario 4 (calcolo analogo per la Prius)
LeafOPV2Scenario4=LeafO4PV2-CsLeaf(16:30)-EccAnnoLeaf(16:30);
LeafOPV5Scenario4=LeafO4PV5-CsLeaf(46:60)-EccAnnoLeaf(46:60);
LeafBPV2Scenario4=LeafB4PV2-CsLeaf(16:30)-EccAnnoLeaf(16:30);
LeafBPV5Scenario4=LeafB4PV5-CsLeaf(46:60)-EccAnnoLeaf(46:60);
```

Tempi di ritorno

```
%Tempi di ritorno investimenti Leaf (calcolo analogo per la Prius)
BPBLeafO3=InvScenario3(1)/(LeafO1-LeafO3);
BPBLeafB3=[InvScenario3(1)/(LeafB1-LeafB3)];
BPBLeafO2PV2=InvScenario2(1)/(LeafO1-LeafOPV2Scenario2);
BPBLeafB2PV2=InvScenario2(1)/(LeafB1-LeafBPV2Scenario2);
BPBLeafO2PV5=InvScenario2(2)/(LeafO1-LeafOPV5Scenario2);
BPBLeafB2PV5=InvScenario2(2)/(LeafB1-LeafBPV5Scenario2);
BPBLeafO4PV2=InvScenario4(1)/(LeafO1-LeafOPV2Scenario4);
BPBLeafB4PV2=InvScenario4(1)/(LeafB1-LeafBPV2Scenario4);
BPBLeafO4PV5=InvScenario4(2)/(LeafO1-LeafOPV5Scenario4);
BPBLeafB4PV5=InvScenario4(2)/(LeafB1-LeafBPV5Scenario4);

%BPB Leaf scenario 2+3, ovvero ritorno per chi ha fotovoltaico e acquista
solo caricatore bidirezionale/wallbox (calcolo analogo per la Prius)
BPBLeafO23PV2=InvScenario3(1)/(LeafO1-LeafOPV2Scenario4);
BPBLeafB23PV2=InvScenario3(1)/(LeafB1-LeafBPV2Scenario4);
BPBLeafO23PV5=InvScenario3(1)/(LeafO1-LeafOPV5Scenario4);
BPBLeafB23PV5=InvScenario3(1)/(LeafB1-LeafBPV5Scenario4);
```

Calcolo emissioni CO₂ risparmiate


```
%Emissioni CO2 annue Leaf risparmiate per i vari scenari
%(tutti i fabbisogni sono rispetto a Prius1) in kgCO2 (calcolo analogo per la Prius)
EmLeaf1=(FabAnnoPrius-FabAnnoLeaf)*CarbInt+EmLeaf;
EmLeaf2PV2=(FabAnnoPrius-FabAnnoLeafPV2)*CarbInt+EmLeaf;
EmLeaf2PV5=(FabAnnoPrius-FabAnnoLeafPV5)*CarbInt+EmLeaf;
EmLeaf3=(FabAnnoPrius-FabAnnoLeafV2H)*CarbInt+EmLeaf;
EmLeaf4PV2=(FabAnnoPrius-FabAnnoLeafPV2V2H)*CarbInt+EmLeaf;
EmLeaf4PV5=(FabAnnoPrius-FabAnnoLeafPV5V2H)*CarbInt+EmLeaf;
```

Appendice B - Curriculum Vitae del responsabile 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.