



Ricerca di Sistema elettrico

Analisi dell'interazione veicolo-utenza in
relazione ai livelli di energia necessari a
garantire la mobilità giornaliera e
valutazione delle regole per il prelievo utile
dalla batteria

Antonino Genovese, Giancarlo Giuli; Francesco Vellucci

Analisi dell'interazione veicolo-utenza in relazione ai livelli di energia necessari a garantire la mobilità giornaliera e valutazione delle regole per il prelievo utile dalla batteria

Antonino Genovese*, Giancarlo Giuli*, Francesco Vellucci*

*ENEA

Dicembre 2019

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 2.10: V2H wireless e campi elettromagnetici della e-mobility: analisi delle potenzialità del V2H e disamina della letteratura su CEM ed elettromobilità

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work package: Maria Pia Valentini, ENEA

Indice

SOMMARIO.....	4
INTRODUZIONE.....	5
1 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	7
1.1 PREMESSA	7
1.2 RICHIESTE ENERGETICHE DELL'ABITAZIONE.....	9
1.3 SELEZIONE VEICOLI.....	13
1.4 ANALISI PRELIMINARE.....	16
1.5 CRITERI ADOTTATI PER REALIZZARE IL V2H.....	18
1.6 RISULTATI	24
1.6.1 <i>Risultati ottenuti dalla Smart</i>	25
1.6.2 <i>Risultati ottenuti dalla Nissan Leaf</i>	32
1.6.3 <i>Risultati ottenuti dalla Tesla Model 3</i>	37
1.6.4 <i>Sintesi dei risultati ottenuti e considerazioni finali</i>	42
2 CONCLUSIONI.....	43
3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	44
4 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	45
5 APPENDICE	46

Sommario

Le batterie degli odierni veicoli elettrici (VE) consentono in tutta tranquillità percorrenze settimanali per gli usi urbani e sub-urbani.

La ricarica inoltre, conviene farla per comodità durante le soste lunghe, usualmente o a casa o al lavoro, evitando le più dispendiose e disagioli ricariche durante il viaggio.

In queste condizioni, se il veicolo si ricarica quotidianamente, dopo aver soddisfatto le esigenze di viaggio, dispone ancora di oltre metà della sua carica in batteria che può essere utilizzata per realizzare il V2H provvedendo alle esigenze elettriche della casa.

Con la prospettiva di un ulteriore aumento del fotovoltaico installato le previsioni saranno quelle di avere un costo dell'energia molto basso nelle ore centrali della giornata con tendenza a risalire nelle ore in prima serata.

Considerando che il veicolo è utilizzato, per il viaggio, mediamente solo per un ora e mezza circa al giorno, si verifica che nella gran parte delle ore solari esso si trova fermo, prevalentemente al lavoro e talvolta a casa, potendo quindi ricaricare potenzialmente a costi bassi. Quindi in questa sosta diurna, se la ricarica avviene quotidianamente, il veicolo è in grado di ricaricare l'energia sia per sé e sia per la casa, senza necessità di ricorrere a potenze di ricarica elevate.

Nelle ore in assenza di sole, con qualche breve eccezione, il veicolo si trova prevalentemente a casa potendo così contribuire alla sua alimentazione con l'energia della batteria (V2H).

Avendo a disposizione un ricco database di circa 30.000 veicoli, monitorati per un intero anno, lo si è utilizzato per verificare in che misura il veicolo riesce a realizzare il V2H.

Per verificare il comportamento del V2H, le simulazioni sono state eseguite con veicoli appartenenti a tre diverse classi: piccola, media e grande. I VE usati per i test sono: Smart, Nissan Leaf e Tesla model 3, con batterie rispettivamente di: 17,6 , 40 e 62 kWh.

I risultati che verranno mostrati sono stati ottenuti per l'intera flotta dei veicoli ipotizzando una sua composizione uniforme e facendo le simulazioni per i tre casi.

Si è visto che si ottengono ottimi risultati già con la vettura di taglia media. Infatti già questa vettura è in grado di alimentare quasi completamente (~80%) la richiesta, fatta nelle ore in assenza di sole e nella stagione più critica. La richiesta non è completamente soddisfatta, non per la capacità della batteria, ma per l'assenza a casa del veicolo in determinate ore. Quindi vetture di taglia maggior non introducono sostanziali miglioramenti, però garantiscono una maggior tranquillità di viaggio avendo una più elevata carica di riserva.

Introduzione

La diffusione della mobilità elettrica impone una seria riflessione sugli scenari energetici che si configurano nel prossimo futuro e questo è ancora più cogente per gli aspetti di impatto che essi potrebbero avere sulla rete elettrica. La valutazione degli impatti attesi offre differenti livelli di giudizio e prospettive diverse in base alla punto di vista con cui si approccia al tema soprattutto in termini di scala geografica. Le previsioni di crescita del parco veicolare elettrificato in Italia indicano un probabile aumento del numero di veicoli elettrici in circolazione nel prossimo decennio che potrebbero giungere a 6 milioni (di cui almeno 1,6 milioni ‘*puramente elettrici*’) come ipotizzato nel Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC). I vincoli di sistema su scala nazionale sono esprimibili attraverso la potenza di generazione e la produzione di energia che debbono fare fronte alla richiesta di ricarica da parte dei veicoli. Una stima di massima, operata considerando la percorrenza media annua di 11.000 km ed un consumo medio di 0,150 kWh/km a veicolo, indica una esigenza di energia per la ricarica di $11.000 \times 0,150 / 0,95 = 1.737$ kWh/veicolo anno corrispondenti a 2,78 TWh/anno per l’ipotizzato parco elettrico di 1,6 milioni di veicoli. Questa cifra è sicuramente non eccessiva ed alla portata del sistema nazionale di generazione elettrica che si attesta su una produzione di 279,8 TWh [1] come indicato in Figura 1.



Figura 1. Bilancio elettrico nazionale 2018 [1].

La produzione netta da fotovoltaico e da eolico nel 2018, come indicato da Terna [2] è stata pari a 22,2 e 17,5 TWh rispettivamente. La copertura del fabbisogno aggiuntivo per la ricarica sarebbe attuabile con un incremento leggermente inferiore al 10% della produzione da queste fonti. Tuttavia la disponibilità energetica non è costante per le fonti rinnovabili ma segue un andamento non prevedibile ma solo ipotizzabile in base a cicli stagionali o giornalieri ed alle condizioni meteorologiche. Questo effetto risulta ancora più evidente se si parcellizza la rete e si considerano gli apporti locali. Il bilanciamento della rete deve essere in ogni caso garantito in ogni istante e la Potenza del carico P_L deve essere sempre fronteggiata con uguale Potenza di generazione P_g , come riportato in (1):

$$P_g = P_L \tag{1}$$

A titolo di esempio si riporta in Figura 2 la potenza media giornaliera impegnata nel 2015 in Italia suddivisa per fonte. Dal grafico si evidenzia che la produzione solare mediamente insiste nelle ore diurne tra le 7 e le 21 con un picco di 8,7 GW.

Il carico addizionale deve pertanto confrontarsi con la curva di generazione della potenza e qui potrebbero sorgere disallineamenti in base al comportamento degli utenti nel provvedere alla ricarica dei veicoli.

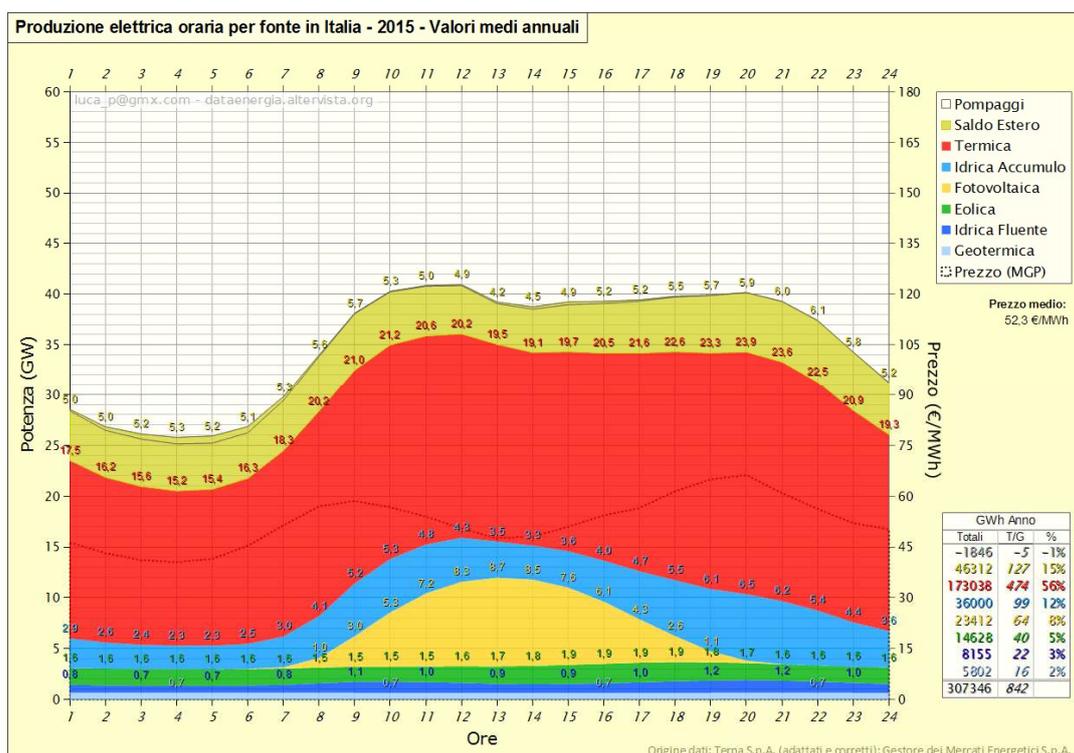


Figura 2. Produzione elettrica media oraria per fonte 2015 in Italia [3].

Infatti la richiesta di potenza per la ricarica dei veicoli elettrici potrebbe essere concentrata in determinati periodi della giornata e non distribuita uniformemente nella 24 ore o seguire il profilo della potenza disponibile. Ipotizzando una ricarica notturna dalle ore 19:00 in poi sino al mattino successivo l’apporto rinnovabile solare da fotovoltaico non avrebbe modo di contribuire alla maggiore richiesta per la ricarica e quindi si lascerebbe alle altre fonti l’onere di sopprimere alla richiesta.

Il disallineamento tra potenza disponibile e potenza richiesta diviene ancora più importante se si colloca la ricarica in ambiente domestico e quindi soggetta anche alle richieste dovute alle attività svolte a casa ed in prima linea a quelle dovute alla climatizzazione degli ambienti.

La diffusione della mobilità elettrica offre la possibilità di una interazione biunivoca tra rete e sistema di accumulo veicolare concretizzandosi in supporto alla rete per tramite delle azioni V2G. Il sostegno in questo

caso risulta maggiormente ampio e le operazioni di gestione avvengono su livelli di differente complessità ed organizzazione. Diversamente il V2H offre l'opportunità di agire su un livello di interazione inferiore vedendo come soggetto d'intervento l'utenza (sia essa domestica o aziendale) e favorendo l'interscambio energetico tra veicolo elettrico ed abitazione al fine di minimizzare i costi energetici grazie anche alla presenza di sistemi di produzione rinnovabile localmente presenti. Diviene basilare analizzare le possibili interazioni tra l'utenza fissa e quella mobile al fine di sfruttare la presenza di un accumulo per il supporto elettrico giornaliero all'abitazione rispettando l'esigenza di garantire l'autonomia necessaria per utilizzare su strada il veicolo. Lo studio si basa su accesso a big data sulla mobilità privata e offre indicazioni sull'utilizzo quotidiano del veicolo nell'arco di un anno da cui si sono estratte informazioni sulle percorrenze, le soste, i consumi e le relative necessità di ricarica da cui ricavare la disponibilità di energia residua da offrire all'utenza nelle differenti ore della giornata senza minare le possibilità di utilizzo del mezzo. Al contempo si potranno valutare azioni di intervento sulla ricarica della batteria del mezzo per tramite di azioni di modulazione della potenza o di shift della carica stessa in ore di minore impegno.

1 Descrizione delle attività svolte e risultati

1.1 Premessa

Con l'acronimo V2H (Vehicle to Home) si intende il processo in cui un veicolo elettrico (VE) è in grado di interagire energeticamente con l'abitazione scambiando energia elettrica. Questa idea è stata favorita anche dalla presenza di impianti fotovoltaici che forniscono l'energia necessaria per soddisfare i bisogni dell'abitazione, producendola però nelle ore diurne. Pertanto, una quota parte della produzione alimenta direttamente la casa, durante le ore diurne, mentre l'esubero viene accumulato per alimentarla nelle ore serali-notturne. Questo problema dell'accumulo fino a ieri è stato risolto scaricandolo alla rete, generando purtroppo costi aggiuntivi, sul kWh di tutti gli altri utenti.

Oggi, le auto elettriche, sono dotate di batterie con capacità in grado di soddisfare complessivamente sia l'energia per la percorrenza giornaliera del veicolo che il consumo giornaliero richiesto dall'abitazione. Quindi i nuovi VE sono adatti a porre a disposizione la loro elevata capacità di accumulo per ridistribuire nelle ore serali-notturne, l'energia raccolta durante le ore diurne.

Alcuni ricercatori ritengono che in presenza di impianto fotovoltaico (PFV), la gestione del V2H è da intendere con il proposito di sconnettersi dalla rete elettrica poiché la ridistribuzione dell'energia è garantita dal VE.

Questa soluzione per quanto interessante presenta però diversi punti deboli che ne limitano la diffusione. Ad esempio, nelle ore senza sole, tutte le volte che il VE non è presente, la casa sarebbe priva di alimentazione. Inoltre l'energia che il PFV deve produrre, deve essere calcolata in inverno, a causa sia di una minore produzione fotovoltaica e sia per i maggiori consumi domestici, ipotizzando che la casa sia dotata di un impianto di riscaldamento funzionante come pompa di calore. In queste condizioni in estate ci sarebbe un forte esubero di produzione che finirebbe per essere scartata se non fosse presente l'allaccio in rete. Quindi per avere una validità più generale del V2H, nel presente lavoro si prevede che l'abitazione sia connessa alla rete in modo tale che il VE non sia obbligato a stazionare a casa.

In diversi studi sulle potenzialità del V2H si è posto l'accento sulla convenienza economica dell'utente a implementare un sistema di scambio tra veicolo ed abitazione. Questa impostazione nasce da due condizioni: la struttura differenziata delle tariffe di fornitura dell'energia elettrica su base oraria e sui maggiori oneri derivanti da un invecchiamento precoce dell'accumulo del veicolo, susseguente ad un maggior lavoro. Le tariffe bi-triorarie, non solo in Italia, sono organizzate in modo da invogliare i consumi nelle fasce di minor carico (tariffa più bassa) e disincentivare i consumi nelle ore a maggior carico (tariffa più alta). Sulla base di questo principio il VE dovrebbe ricaricare durante le ore notturne a tariffa minore ed erogare nelle ore diurne e serali ove la tariffa è maggiore. Ciò produrrebbe un vantaggio economico per l'utente a cui andrebbe depurato il maggior onere di utilizzo della batteria.

In questa visione la presenza di un PFV domestico avrebbe un ruolo marginale in quanto il VE di giorno non potrebbe godere dell'autoconsumo diretto per la ricarica, avendo già eseguito la ricarica di notte e inoltre potrebbe non essere presente a casa.

Diversamente da quanto già indagato si vuole porre l'attenzione su una interpretazione allargata del V2H alla luce di alcune considerazioni che tendono a privilegiare anche gli aspetti della rete e non semplicemente quelli economici per l'utente:

- La produzione da fotovoltaico in Italia nel prossimo decennio prevede un ulteriore incremento;
- La maggior quota di rinnovabili non programmabili induce una maggiore volatilità nei prezzi dell'energia elettrica specialmente nelle ore di maggiore insolazione;
- In zone a fortissima insolazione (ad esempio la Sicilia in estate) il prezzo dell'energia elettrica nelle ore diurne può giungere a prezzi prossimi allo zero;
- In Italia un terzo della produzione fotovoltaica è dedicata all'autoconsumo;

In questa prospettiva si presenta la necessità di migliorare le azioni di travaso dell'energia dalle ore solari, che presentano maggiori problemi di variabilità, a quelle di maggiore richiesta che corrispondono alla fascia oraria serale. E' quindi previsto che il VE effettui la sua azione di *pompaggio* dell'energia dalle ore solari a quelle prive di sole anche quando si trova parcheggiato fuori casa. Per operare questo ipotizziamo di avere disponibilità di energia da PFV anche sul luogo di lavoro incrementando in questo modo l'autoconsumo.

In assenza di sorgenti PFV a casa o sul posto di lavoro la rete diviene il punto di unione per cui il VE opera la sua azione di trasferimento dell'energia dalle ore solari di maggior variabilità a quelle serali di maggiore richiesta. Questo dovrebbe verificarsi in un contesto tariffario in cui viene riconosciuta l'azione di sostegno al trasferimento attivo di energia nelle ore di massima produzione solare e di riversamento nelle ore di maggiore richiesta serale (ad esempio riconoscendo una tariffa pari a quella notturna).

Diversamente dai convenzionali impianti PV con accumulo stazionario, il caso del V2H promuove una concezione spaziale, oltre che temporale, dello scambio tra produzione e generazione. Infatti oltre alla condizione di insolazione, e quindi di produzione da PV, viene considerata la presenza dell'accumulo.

Ma lo stesso accumulo può trovarsi anche in altre località servite da un altro impianto PV (ad esempio il luogo di lavoro), come mostrato in Figura 3, e quindi provvedere a scambiare energia nelle medesime modalità o a limitarsi alla sola ricarica.

E' quindi previsto che il VE effettui comunque la sua azione di *pompaggio* dell'energia dalle ore solari a quelle senza sole anche quando si trova parcheggiato fuori casa poiché, come spesso accade, nelle ore di sole, il VE può trovarsi parcheggiato sul posto di lavoro.

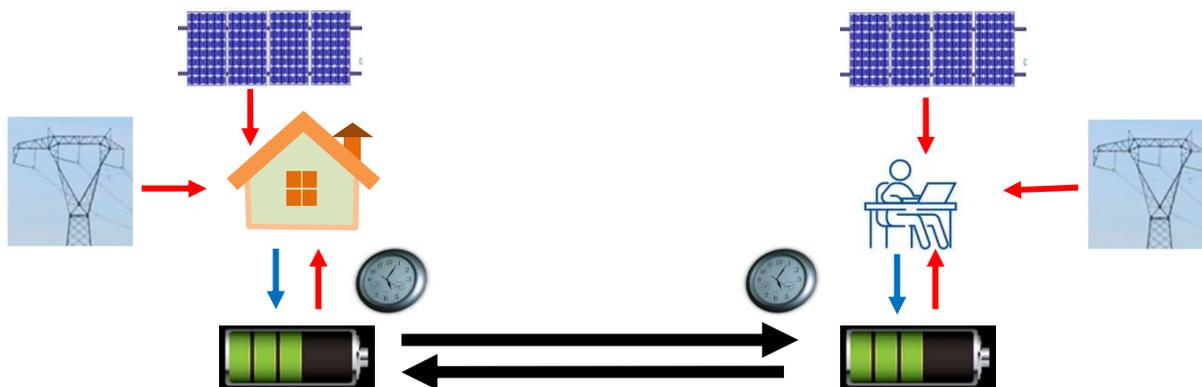


Figura 3. Schema di interazione di una batteria di un VE che interagisce con il PV di casa e dell'ufficio.

Per approfondire meglio il problema occorre analizzare le richieste energetiche dell'abitazione e quelle del veicolo. Inoltre occorrerà conoscere la dinamiche delle soste nelle ore solari per poter ricaricare la batteria e quelle presso l'abitazione per poter alimentare le proprie utenze domestiche.

Per le informazioni, relative al comportamento dei veicolo, si è utilizzato un database [11] in dotazione dell'Enea costituito da circa 30.000 veicoli, con residenza nel comune di Roma, i cui spostamenti sono completamente noti per un intero anno. La conoscenza dettagliata, sia dei percorsi e sia delle soste dei veicoli, consente di valutare *con certezza* la disponibilità energetica della flotta dei VE verso la casa, compatibilmente con la loro necessità

1.2 Richieste energetiche dell'abitazione

In questo paragrafo verranno esaminate le esigenze energetiche della casa, dal punto di vista elettrico nelle diverse ore della giornata.

Si suppone che l'abitazione, oltre alle normali utenze elettriche (EL) sia dotata di un impianto per l'aria condizionata (AC) che funzionando come pompa di calore può anche essere usata per il riscaldamento (RISC), nella stagione invernale utilizzando sempre energia elettrica.

Occorre quindi determinare i carichi elettrici della casa nelle diverse stagioni. Una accurata descrizione di questi carichi giornalieri, a cui si farà riferimento, è dettagliatamente riportata in [13], [14], [15].

Questi profili si riferiscono ad una casa situata in una zona climatica "E" secondo la classificazione climatica Italiana dei comuni [16]. Il carico termico è ottenuto considerando il profilo termico normalizzato considerato in [17] e [18] relativo ad una superficie di 120 metri quadri con un consumo specifico di 145 kWh/m²/anno. Mentre il profilo del carico di condizionamento è estratto da [19] [20] relativo ad un consumo normalizzato per uso domestico di un tipico utente Italiano supposto di 25 kWh/m²/anno.

Infine il consumo puramente elettrico si è stimato in 2.700 kWh/anno secondo quanto riportato in [18] [21] e relativo ad una utenza residenziale media in Italia.

Le richieste energetiche della casa nella *stagione invernale* sono rappresentate in Figura 4. La curva verde rappresenta il carico delle utenze elettriche (EL) mentre quella rossa rappresenta la richiesta dell'impianto

di riscaldamento come potenza termica. La zona ombreggiata evidenzia le richieste che avvengono nelle ore solari quando è in produzione il PV.

Per l'utenza elettrica EL, la richiesta nelle ore solari è di 2,7 kWh contro i 4,5 kWh nelle rimanenti ore, per un consumo totale giornaliero di 7,2 kWh come riportato in Tabella 1.

Per l'impianto di riscaldamento si prevede di usare una pompa di calore, con un COP di 3,5 . Quindi per soddisfare il carico termico di Figura 4 occorrono 23,1 kWh elettrici (Tabella 1), che si suddivide in 11,7 e 11,4 kWh, rispettivamente nelle ore di sole ed in quelle senza.

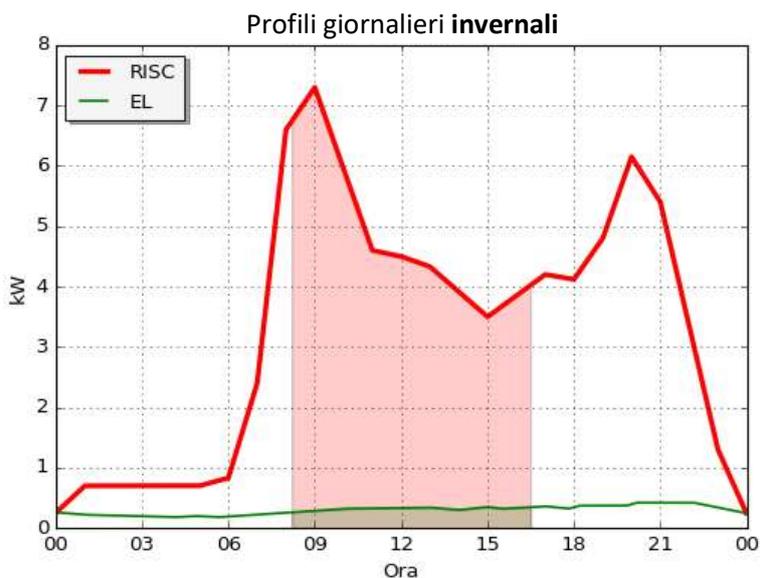


Figura 4. Richiesta giornaliera per utenze elettrica (verde) e potenza termica di riscaldamento (rosso), nel periodo invernale. La zona ombreggiata rappresenta la richiesta nelle ore solari.

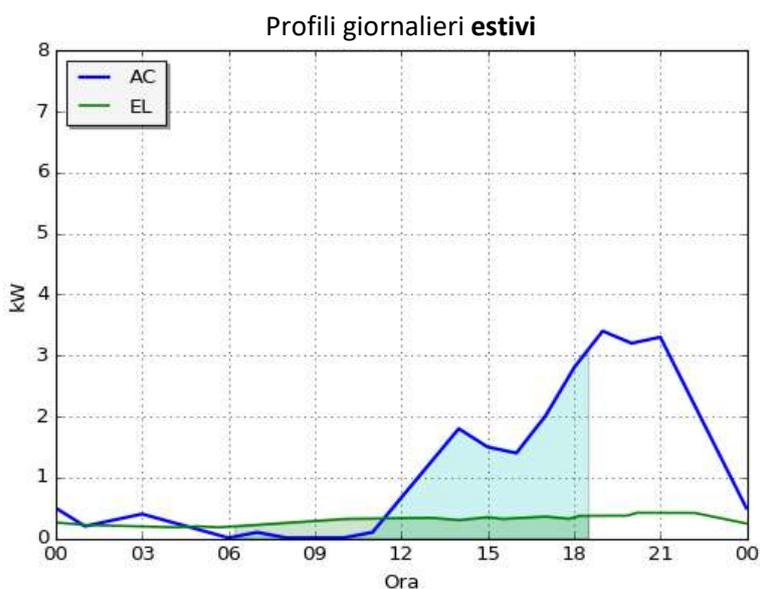


Figura 5. Richiesta giornaliera per utenze elettrica (verde) e frigoriferie del condizionamento (azzurro), nel periodo estivo. La zona ombreggiata rappresenta la richiesta nelle ore solari.

Per quanto riguarda la *stagione estiva*, in Figura 5 la curva verde mostra la richiesta EL mentre quella azzurra rappresenta la richiesta in frigoriferi dell'impianto di Aria Condizionata (AC). La richiesta complessiva dell'EL rimanendo sempre di 7,2 kWh questa volta si divide però in 3,8 kWh durante le ore solari e 3,4 kWh nelle altre ore. Avendo adottato per l'AC un EER uguale a 3 il carico elettrico per il condizionamento risulta di 5,1 e 3,9 kWh (Tabella 1), rispettivamente nelle ore solari e nelle rimanenti ore, con un consumo complessivo di 9,0 kWh.

Nelle *stagione intermedia* (primavera-autunno) non essendo attivi gli impianti di riscaldamento o di condizionamento, rimane solo l'utenza elettrica EL che si considera identica alla curva verde delle due precedenti figure, ma che si suddivide in modo diverso: 3,3 kWh nelle ore di sole e 3,9 kWh nelle altre ore, per un totale giornaliero di 7,2 kWh, come riportato in Tabella 1.

Nella Figura 6 sono rappresentate le utenze richieste complessivamente dalla casa: in rosso, quella invernale, in azzurro quella estiva ed in verde quella di primavera ed autunno.

Tabella 1. Energia elettrica giornaliera, in kWh, richiesta in una casa nelle stagioni: Primavera-Autunno, Estate, Inverno, e suddivisa per le ore giorno: con e senza sole.

		Con Sole	Senza Sole	Totale
INVERNO	Elettricità (EL)	2,7	4,5	7,2
	Riscaldamento (RISC)	11,4	11,7	23,1
	Totale Inverno	14,1	16,2	30,3
ESTATE	Elettricità (EL)	3,8	3,4	7,2
	Aria Condizionata (AC)	3,9	5,1	9,0
	Totale Estate	7,7	8,5	16,2
PRIMAV. AUTUN.	Elettricità (EL)	3,3	3,9	7,2
	Totale Primav.-Autuno	3,3	3,9	7,2

Le zone ombreggiate sono quelle delle che cadono durante le ore solari: in rosa, quelle invernali, in celeste quelle estive.

Calcolando separatamente le energie richieste nelle due fasce: con sole, e senza, si ottengono i valori riportati in Figura 7. Come si vede la richiesta *totale* in inverno è di 30,3 kWh, ed è circa doppia rispetto alla richiesta estiva di 16,2kWh e 4 volte maggiore di quella di primavera autunno. Nel presente lavoro si stabilisce che il VE alimentata la casa esclusivamente nelle ore serali-notturne mentre le rimanti ore, quelle *solari*, sono destinate alla sua ricarica.

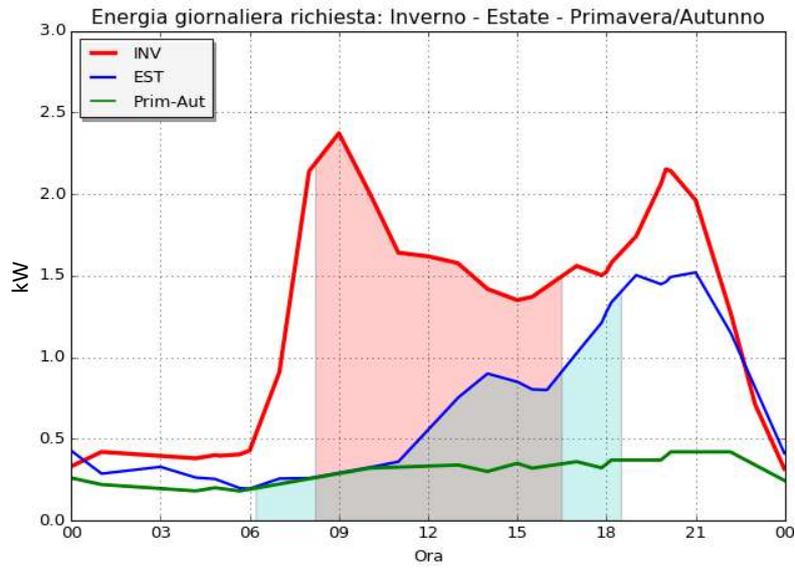


Figura 6. Richiesta elettrica complessiva dei periodi: Inverno (rosso), Estate (azzurro) e Primavera-Autunno (verde). Le zone ombreggiate rappresentano le richieste nelle ore solari estive e invernali.

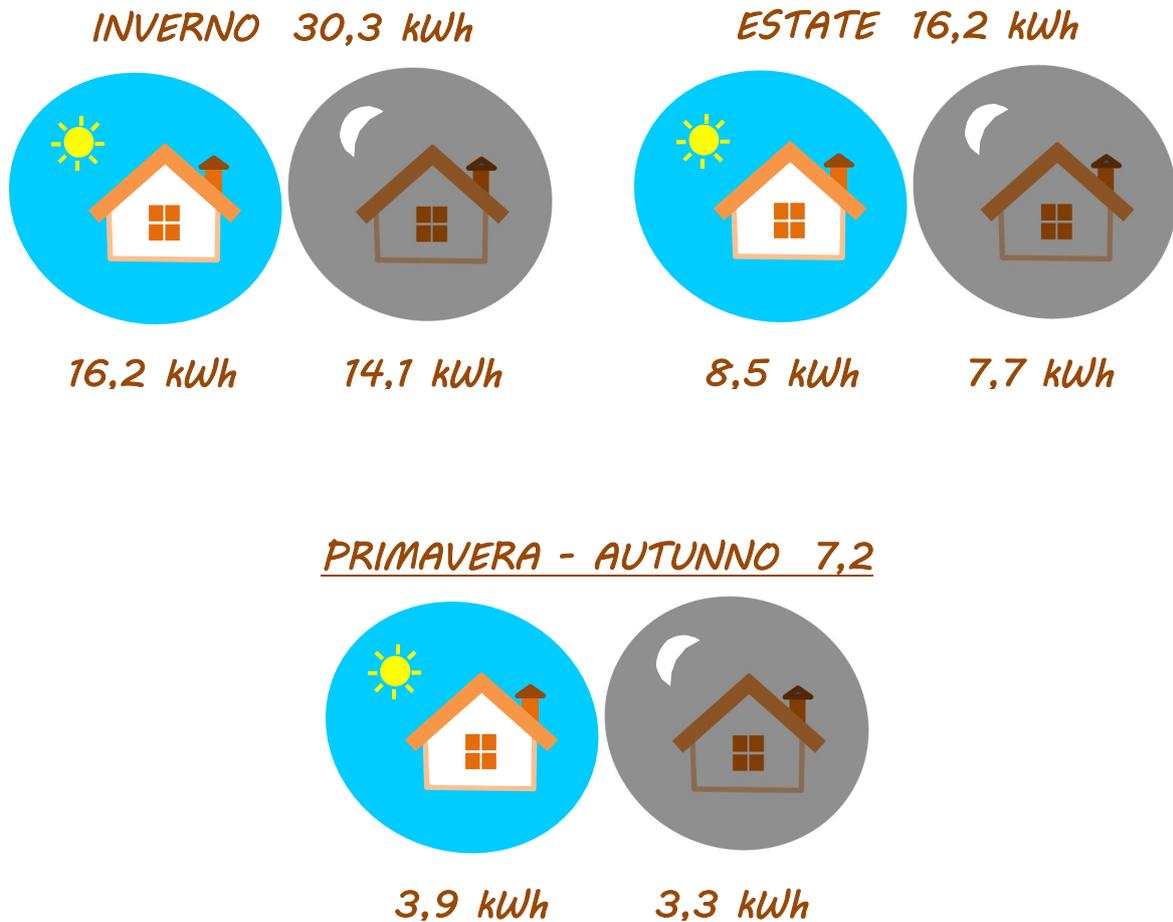


Figura 7. Richieste Inverno, Estate e Primavera-Autunno a confronto, e suddivise nelle ore con e senza sole.

Un'altra cosa da tener presente è il prezzo dell'energia durante il corso della giornata [22]. Il grafico riportato in Figura 8, mostra, le oscillazioni che il prezzo del kWh subisce durante la giornata [13]. Nel grafico sono riportati, per confronto le variazioni dei costi registrate nella stagione estiva, invernale e quella intermedia.

Come si vede quando l'intensità solare è massima il prezzo del kWh raggiunge il minimo mentre i prezzi massimi si raggiungono in prima mattina e la sera. Il rapporto tra il prezzo massimo e quello minimo vale circa due in inverno mentre in estate è leggermente superiore a due. Diversamente nella stagione intermedia può essere addirittura superiore a tre. Se poi si considerano le differenze dei prezzi, risulta che quelli massimi sono più alti di quelli delle ore solari con valori che variano da 20 a 45 €/MWh.

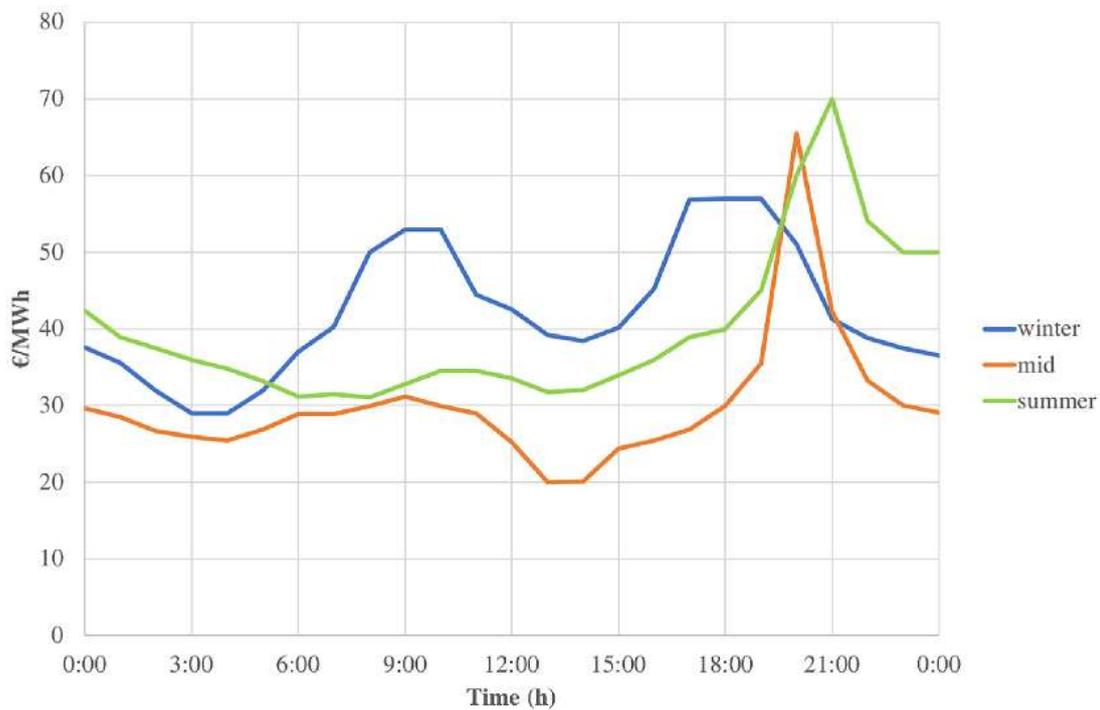


Figura 8. Esempio della variabilità del prezzo dell'elettricità per la produzione da PV venduta alla rete.

1.3 Selezione veicoli

Per vedere nel V2H, l'influenza della gestione dell'energia richiesta, si sono considerati 3 veicoli di diverse classi: piccola, media e grande. Nella scelta abbiamo considerato i modelli più venduti nel mondo [5], nel primo semestre 2019 come riportato nella lista di Figura 9.

La prima vettura di questa lista, con 128.000 esemplari venduti nel semestre è la Tesla Model 3 che può essere scelta per rappresentare la classe superiore, mentre per la classe intermedia si è optato per la Nissan

Leaf che con le sue 35.000 vetture vendute si classifica al terzo posto, ricordando che fino a due anni fa, questo modello, era leader incontrastato delle vendite.

Poiché in questa lista non figura nessun VE della classe piccola, in Figura 10 si sono considerate i VE più venduti in Italia [6]. Nella classifica delle vendite, relative al mese di Novembre 2019, la più venduta, con 426 unità, risulta la Smart For Two, in Figura 11.

Le caratteristiche di questa vettura [7], riportate in Tabella 2, mostrano che è dotata di una batteria da 17,6 kWh con un consumo di 13 kWh/100 km [8].

Per quanto riguarda la Nissan Leaf, in Figura 12, vettura scelta per la classe media, i dati caratteristici sono riportati in Tabella 2 [9]. Il modello individuato è quello con la batteria da 40 kWh, anche se in vendita troviamo il più recente con batteria da 62 kWh con un costo che si avvicina ai 39.000 € contro i circa 30.500 del modello base. Per il consumo si è utilizzato il valore di 15,4 kWh/100 km calcolato dall'Enea con misure su strada.

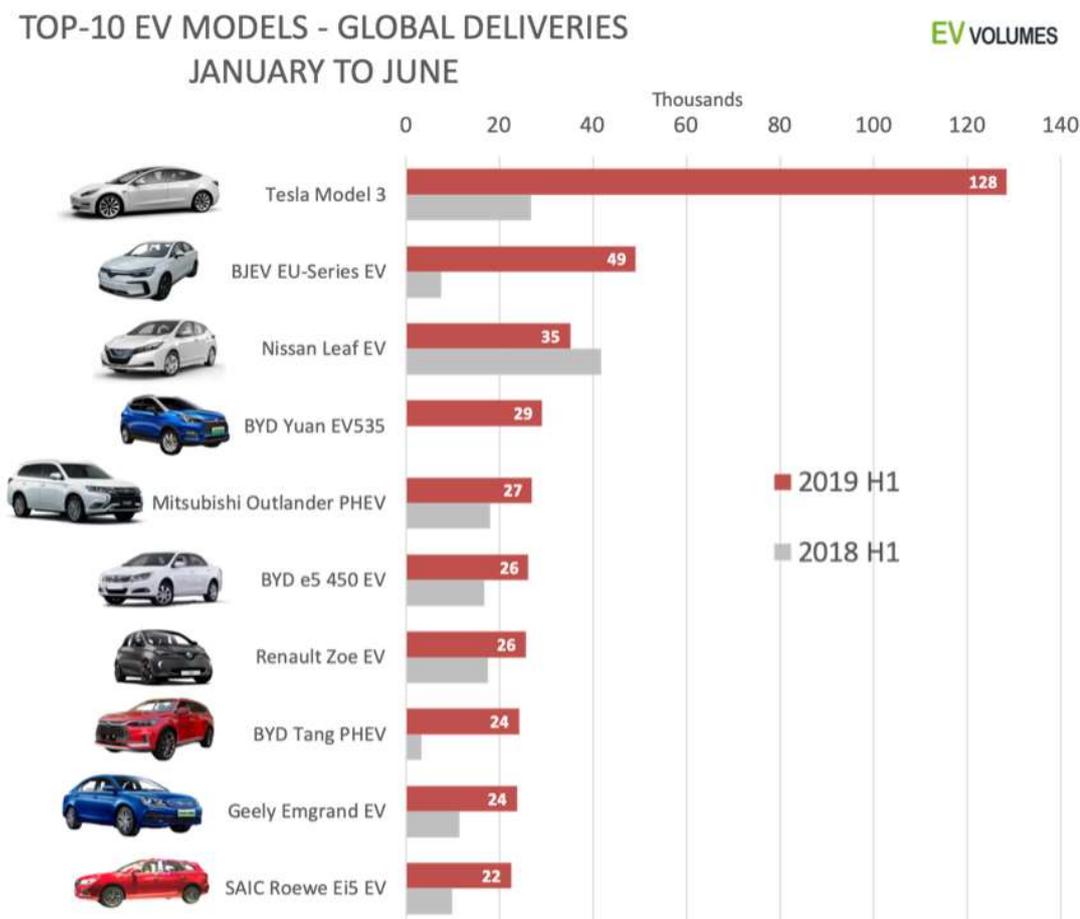


Figura 9. Auto elettriche più vendute nel mondo [5] nel primo semestre 2019.

Sempre in Tabella 2 sono riportate anche le caratteristiche [10] della Tesla Model 3, la vettura scelta per la classe superiore, e rappresentata in Figura 13. Anche per questo modello la casa propone diverse opzioni di batterie: 54, 62 e 75 kWh. In questo caso si sceglie il modello con batteria da 62 kWh.

ELETTRICHE									
n.	MARCA	MODELLO	novembre		n.	MARCA	MODELLO	gen./nov.	
			2019	2018				2019	2018
1	SMART	FORTWO	426	90	1	RENAULT	ZOE	2.141	913
2	RENAULT	ZOE	254	97	2	SMART	FORTWO	2.120	997
3	TESLA	MODEL 3	102	0	3	TESLA	MODEL 3	1.647	0
4	NISSAN	LEAF	68	137	4	NISSAN	LEAF	1.211	1.407
5	SMART	FORFOUR	47	10	5	SMART	FORFOUR	578	152
6	HYUNDAI	KONA	42	10	6	BMW	I3	451	150
7	BMW	I3	39	12	7	HYUNDAI	KONA	414	37
8	TESLA	MODEL X	18	17	8	TESLA	MODEL S	230	233
9	TESLA	MODEL S	16	17	9	JAGUAR	I-PACE	209	85
10	AUDI	E-TRON	13	0	10	TESLA	MODEL X	209	178
	altre		43	74		altre		512	480
Totale Elettriche			1.068	464				9.722	4.632
% Elettriche su tot. mercato			0,7	0,3				0,5	0,3

Figura 10. Auto elettriche più vendute in Italia [6] a confronto 2019/2018.
A sinistra il mese di Novembre a destra i primi 11 mesi dell'anno.



Figura 11. Vettura di classe city car: Smart For Two.



Figura 12. Vettura di classe media: Nissan Leaf.



Figura 13. Vettura di classe grande: Tesla Model 3.

Tabella 2. Principali caratteristiche dei 3 veicoli selezionati.

Veicolo	Smart EQ For Two	Nissa Leaf Acenta	Tesla Model 3 Mid Range RWD
Batteria: [kWh]	17,6	40	62
Consumo: [kWh/100 km]	13	15,4	17
Potenza: [kW]	60	80	211
Lung. [m]:	2,69	4,44	4,69
Larg. [m]:	1,56	1,77	1,85
Alt. [m]:	1,54	1,55	1,4
Peso: [kg]	1000	1500	1672

1.4 Analisi preliminare

Prima di entrare nel merito dell'analisi occorre appurare se ci sono le condizioni opportune per realizzare il V2H. Pertanto occorre verificare la possibilità di coniugare le esigenze del veicolo e quelle della casa, privilegiando ovviamente il veicolo.

In linea di massima si considera la percorrenza media annua di un veicolo che in Italia è di circa 12.000 km/anno che corrispondono a circa 32,9 km al giorno.

Ma la vera percorrenza giornaliera è un po' più alta, perché, come risulta da [11], il veicolo diversi giorni dell'anno rimane fermo. Quindi secondo quanto valutato in [9] è più opportuno considerare una percorrenza media giornaliera intorno ai 42 km al giorno.

Per semplicità, in Tabella 3, oltre ai consumi per 100 km vengono riportati, in terza colonna, anche i consumi relativi ai 42 km della percorrenza media giornaliera. Sempre nella stessa tabella è riportata l'energia totale della batteria di cui solo l'80% è quella utile (in parentesi). L'energia disponibile, nell'ultima colonna, si ottiene togliendo dall'energia utile di batteria quella necessaria per la percorrenza giornaliera.

Tabella 3. Energia: richiesta dai veicoli e disponibile per la casa

<i>Veicolo</i>	<i>Consumo</i> [kWh] [100 km]	<i>Consumo</i> [kWh] [42 km]	<i>Batteria</i> [kWh]	<i>Energia Disponibile</i> [kWh]
Smart EQ For Two	13	5,46	17,6 (14,08)	8,62
Nissa Leaf Acenta11	15,4	6,47	40 (32)	25,53
Tesla Model 3 Mid Range RWD	17	7,14	62 (49,6)	42,46

Quanto contenuto in tabella è mostrato più sinteticamente in Figura 14, dove si vede come le energie della batteria possono essere distribuite tra veicolo e casa. Si vede ad esempio che la Smart, con la sua modesta batteria, può mettere a disposizione della casa solo 8,62 kWh, contro i 42,46 della Tesla.

Nelle ipotesi fatte il veicolo è chiamato a fornire energia alla casa nelle ore in assenza di sole. Ciò perché, per le ore solari, la casa dispone di un impianto PV o in assenza di questo perché si privilegia alimentare la casa, nelle ore in assenza di sole, con l'energia accumulata dal VE nelle ore solari.

Riferendoci alla precedente Figura 7 si vede che nelle ore in assenza di sole la richiesta ammonta a 14,1 kWh in inverno e 7,7 kWh in estate.

Quindi la Nissan e la Tesla, potenzialmente sono in grado di soddisfare questa richiesta, mentre la Smart è in grado di soddisfare totalmente quella estiva, ma non completamente quella invernale

Le percentuali riferite vanno però prese come valori potenziali. Infatti, il veicolo pur avendo l'energia necessaria per la casa deve trovarsi nelle condizioni di poterla erogare.

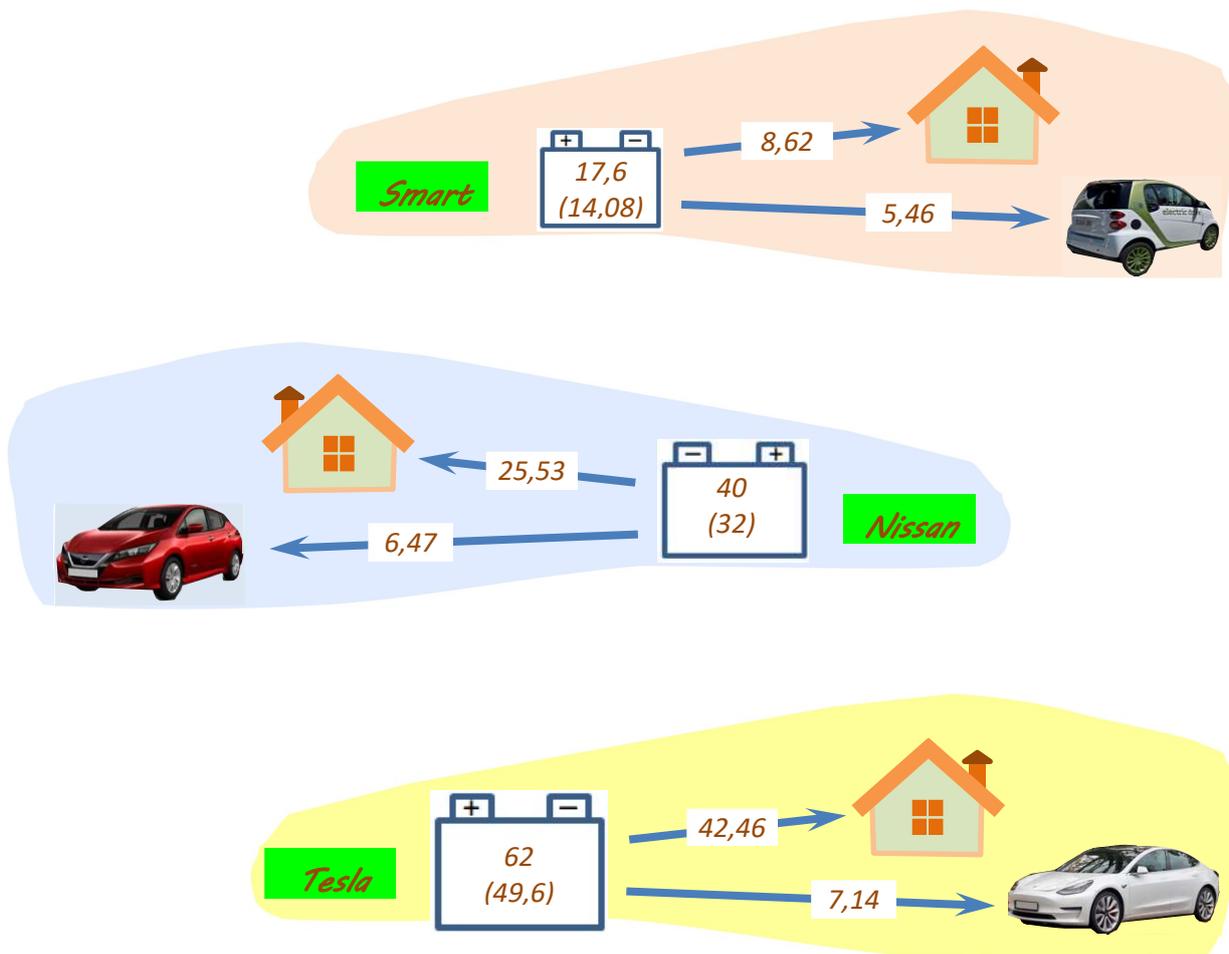


Figura 14. L'energia disponibile per la casa, si ottiene togliendo dall'energia utile della batteria (in parentesi) quella richiesta dal veicolo. I valori mostrati sono in kWh.

Ad esempio se durante la richiesta di energia dalla casa, il veicolo si trova in viaggio o in una sosta breve fuori casa, pur disponendola non può certo erogarla. Oppure se diversamente il veicolo torna a casa con le batterie scariche, la richiesta non potrà essere soddisfatta o lo sarà solo in modo parziale.

1.5 Criteri adottati per realizzare il V2H

La cosa più importante di questa attività, sul V2H, è che si basa sulla conoscenza del comportamento reale dei veicoli. Per questo si è fatto uso di un database [11], [12] in dotazione dell'Enea. Questo database contiene il monitoraggio di tutti gli spostamenti fatti per un intero anno da circa 30.000 veicoli.

Poiché il database è molto voluminoso e a fronte di numerose le simulazioni previste si è preso un set ridotto di 1.000 veicoli avendo cura di sceglierli in modo da mantenere le caratteristiche del campione originario.

Si daranno qui di seguito alcune informazioni che caratterizzano il ridotto database estratto.

I veicoli del campione ora considerato, hanno una percorrenza annua media di 12.359 chilometri corrispondenti ad una media giornaliera di 33,8 km.

I veicoli in media sono in circolazione per 261 giorni all'anno. In questi giorni si riscontra che il tempo medio di viaggio è di 85 minuti al giorno corrispondenti ad 1,42 ore. Quindi per i giorni in circolazione il tempo di sosta è 22,58. In questo calcolo sono stati escluse le 24 ore di sosta continuativa dei 104 giorni in cui il veicolo non viene utilizzato.

Il tempo complessivo destinato alle soste maggiori di 2 ore rappresenta il 94,9 % del totale tempo di sosta.

La probabilità in percentuale del luogo della sosta è mostrata in Tabella 4.

Tabella 4. Probabilità percentuale del luogo della sosta

Luogo della sosta	Giorno [%]	Notte [%]
1° casa	6,3	65,2
2° - 3° casa	1,4	5,3
Lavoro	8,2	–
Soste di servizio < 15 min (bar, edicola, benzinaio...)	0,6	–
Altre	6,1	6,9
Totale	22,6	77,4

Visto l'elevata percentuale di queste soste si può pensare di utilizzare la grande capacità delle batterie, degli odierni VE, per venire incontro al problema dell'energia solare la cui *disponibilità* si concentra nelle sole ore diurne ed è indisponibile nelle altre ore.

Questo inconveniente può essere annullato o quantomeno ridotto se si dispone di una flotta di VE che tenga conto del V2H. Il VE, che viene utilizzato per alimentare la casa, deve anche garantire la certezza di poter concludere i suoi viaggi. Pertanto viene definito il *livello minimo di garanzia*, che rappresenta il livello di carica minima che il VE deve possedere alla partenza da casa e che gli consentirà di ritornarvi senza ulteriori ricariche.

L'aver fissato questo limite non esclude che il VE possa ricaricarsi durante il giorno in una sosta lunga, come per esempio quella sul lavoro, ed aumentare i suoi kWh di riserva. Il livello minimo garantito va calcolato

giorno per giorno in base ai km che il VE percorrerà nell'intera giornata: da quando lascerà la casa e fino a quando non vi rientrerà.

Nel realizzare il nostro V2H è stato necessario stabilire le seguenti regole per realizzare il modello di utilizzo:

- *I VE si ricaricano solo nelle fasce ore solari. La ricarica si arresta: o perché si raggiunge il 100% del SOC o perché termina la fascia solare.*
- *La ricarica del veicolo avviene solo per soste > di 2 ore sia in casa, o fuori casa, intendendo quest'ultime come soste di lavoro o di lavoro equivalente. Le ricariche effettuate in viaggio, quando la percorrenza supera l'autonomia del veicolo, non interessano perché non adatte a trasferimenti di energia alla casa.*
- *Al momento della partenza la batteria deve assicurare il livello minimo garantito.*
- *La ricarica al di fuori della fasce solari è consentita solo quando va ripristinato il livello minimo di garanzia, alla partenza da casa.*
- *L'alimentazione della casa tramite il VE avviene solo fuori dalle fasce solari e si arresta: o quando il SOC scende al 20%, o perché termina la fascia non solare.*
- *L'alimentazione viene erogata quando il veicolo è parcheggiato in casa con soste superiori a 2 ore.*
- *Per le alimentazioni della casa non c'è alcuna limitazione di potenza, precisando che il valore massimo si ha in inverno con circa 2,3 kW mentre in estate raggiunge 1,5 kW.*
- *E' richiesta la conoscenza dell'ora in cui il veicolo termina la sosta.*

In sintesi, come si vede, al veicolo è vietata la ricarica al di fuori delle fasce solari. Quindi in questo divieto ricade anche la ricarica a casa durante la sosta notturna. Questa divieto ha 2 finalità:

- svuotare il più possibile la batteria per renderla più capiente durante la ricarica nelle fasce solari.
- destinare tutto il tempo della sosta per l'alimentazione della casa.

Si intende sottolineare, come riscontrato anche dai risultati, che l'assenza della ricarica notturna non riduce affatto la percorrenza del veicolo perché questo, durante le fasce solari si trova frequentemente in soste di 4-8 ore ed è in grado, il più delle volte, di raggiungere la completa ricarica.

In ogni caso il divieto della ricarica notturna viene meno quando occorre ripristinare il livello minimo garantito. Questa situazione comunque non è molto frequente e soprattutto richiede poca energia.

Se l'abitazione dispone di un PV, queste regole consentono di alimentare la casa attraverso l'accumulo elettrico del VE nelle ore in cui il PV non produce corrente e quindi l'energia *raccolta* nelle ore diurne viene ridistribuita nelle altre ore.

Nelle ore lavorative (coincidenti con quelle solari) il veicolo non necessariamente deve rimanere a casa. Può caricare *indirettamente* a lavoro, considerando la carica come energia di scambio prelevata da un'altra fonte rinnovabile presente su posto di lavoro.

Diversamente, se il VE a casa (o anche sul posto di lavoro) non dispone di un PV le regole riportate consentono ai VE di assicurarsi l'energia nelle ore diurne per poi restituirla alla casa nelle altre ore. Anche in questo caso si finisce per ridistribuire l'energia solare che però non è più quella raccolta dal PV domestico, ma quella solare raccolta a livello nazionale.

Nell'implementazione del V2H distinguiamo due diversi comportamenti del veicolo: l'uso quotidiano, e la sosta prolungata di più giorni.

- Utilizzo quotidiano: il veicolo, partirà da casa con la batteria al livello minimo garantito (o a valori più alti se non ha potuto cedere completamente l'energia alla casa). Quando arriva sul posto di lavoro, rimanendo in sosta durante le ore solari, ripartirà con la batteria completamente carica. Arriverà quindi a casa con la batteria ancora sufficientemente carica per poter alimentare la casa. Se il ritorno a casa avviene durante la fascia solare il VE, può addirittura ricaricare anche l'energia consumata per il ritorno a casa.

Diversamente se il veicolo invece di andare in ufficio, dovrà affrontare un lungo viaggio tornerà a casa molto scarico. Quindi non potrà alimentare la casa ma dovrà ricaricarsi al livello minimo garantito.

- Sosta prolungata di più giorni: quando il veicolo inizia la sosta se, arrivando a casa, si trova in fascia solare, completa la ricarica per poi alimentare la casa invece, se arriva quando è finita la fascia solare, alimenta direttamente la casa. Il veicolo si potrà scaricare fino al minimo (20% SOC) dopodiché attenderà la fascia solare successiva per ricaricarsi e a fine fascia solare alimenterà la casa. Si procederà con queste alternanze di ricariche e scariche fino alla fine della sosta. Se il veicolo all'atto della partenza dovesse trovarsi sotto il livello minimo di garanzia, negli ultimi istanti, e per il tempo necessario, la batteria verrà ricaricata per raggiungere questo livello.

Quanto sopra detto sarà meglio visto con alcuni esempi. In Figura 15 viene mostrata come varia la carica della batteria di una Smart (linea punteggiata nera) durante una sosta. I dati che caratterizzano la sosta sono riportati nel riquadro a destra del grafico. Inoltre, sono riportate, come *riferimento*, la linea azzurra di carica e quella rossa di scarica della batteria.

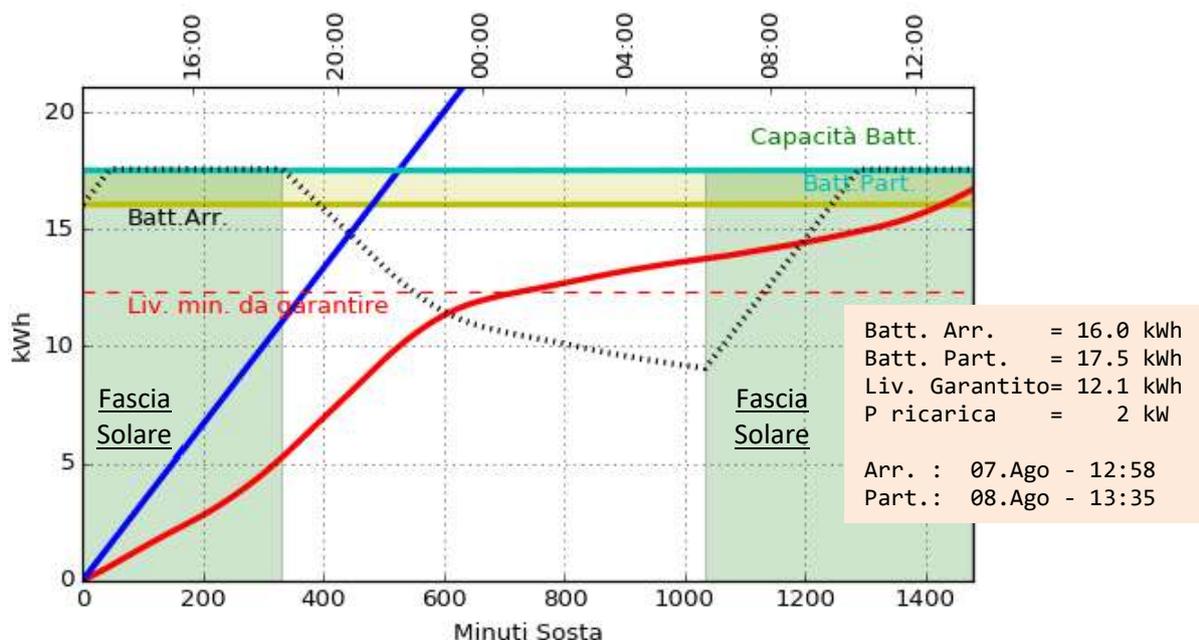


Figura 15. Andamento della carica della batteria (linea nera punteggiata).

La linea azzurra rappresenta l'andamento della carica nel tempo, alla potenza di 2 kW, con partenza da 0 kWh. La linea rossa invece rappresenta l'andamento nel tempo dell'energia richiesta dalla casa, in kWh, a partire dall'istante della sosta. Si precisa che di questa richiesta il veicolo si fa carico solo di quella che ricade fuori dalle fasce solari. L'arrivo del veicolo a casa, delle ore 12:58, avviene in fascia solare e quindi si ricarica, per poco più di un'ora, con una retta parallela alla linea azzurra raggiungendo la capacità massima di 17,6 kWh della batteria.

La batteria rimane a questo livello fino all'inizio della fascia non solare, quando il veicolo inizia ad alimentare la casa con la batteria che scende fino a 9,1 kWh, in modo esattamente opposto di quanto sale la curva rossa in questa fascia. Con l'inizio della fascia solare comincia anche la fase di ricarica che si completa a 17,6 kWh, circa 3 ore prima della partenza, quindi il veicolo lascia la casa alle ore 13:35 con la batteria, completamente carica.

Sembra che questo veicolo esca con una batteria che è stata caricata troppo rispetto al livello minimo garantito. Non è assolutamente così, infatti il veicolo ha ceduto tutta l'energia che poteva cedere. Inoltre questo veicolo una volta uscito rientra 5 ore dopo quando inizia la fase di alimentazione della casa. Quindi, in questo caso, uscire alle 13:35 con la batteria completamente carica è una cosa molto positiva.

Nell'esempio di Figura 16 una Smart inizia la sosta alle 19:40, con la batteria a 14,9 kWh e poiché è in fascia non solare comincia da subito ad alimentare la casa secondo la richiesta dalla curva rossa. Quindi il livello della batteria scende (curva nera a tratti), fino a quando arriva alla fascia solare.

Qui inizia a ricaricarsi alla potenza di 2 kW con andamento parallelo alla curva azzurra. La ricarica raggiunge il massimo di 17,6 kWh e la batteria rimane a questo livello di carica fino al termine della fascia solare dove inizia l'alimentazione della casa. Quindi il livello della batteria scende fino ad arrestarsi, come indicato dalla freccia rossa, prima dell'inizio della fascia solare perché ha raggiunto il 20% del SOC (3,52 kWh). La batteria rimane a questo livello fino al raggiungimento della fascia solare.

Quindi dopo un'altra ricarica della batteria è interessante osservare l'ultima alimentazione della casa che anche qui si conclude anzitempo. Questa volta però, come indicato dalla freccia azzurra, la batteria inizia la ricarica in una zona dove normalmente non è consentito. Questo avviene perché altrimenti la batteria non riesce a raggiungere il livello minimo garantito di 13,52 kWh.

Nella Figura 16 la freccia rossa evidenzia che, partendo dalla batteria totalmente carica, la Smart in inverno non riesce, anche se di pochissimo, ad alimentare completamente la casa. Quindi una batteria più grande sarebbe più indicata.

La potenza di 2 kW è sufficiente per soddisfare la ricarica ma richiede l'intera fascia solare che non sempre è disponibile per intero. Quindi una potenza di ricarica leggermente superiore potrebbe essere utile, specialmente sul lavoro.

Definite le fasce orarie in cui la batteria alimenta la casa e quelle in cui si ricarica, rimangono da definire le potenze di ricarica sia a casa e sia al lavoro. Nel V2H il veicolo oltre all'energia per viaggiare deve caricare anche quella per alimentare la casa. Visto che quest'ultima energia è molto maggiore di quella dei viaggi, si richiedono potenze di ricarica maggiore di quelle che normalmente il veicolo utilizza nelle soste lunghe di casa o del lavoro. E' però opportuno non eccedere con le potenze come si vedrà più avanti.

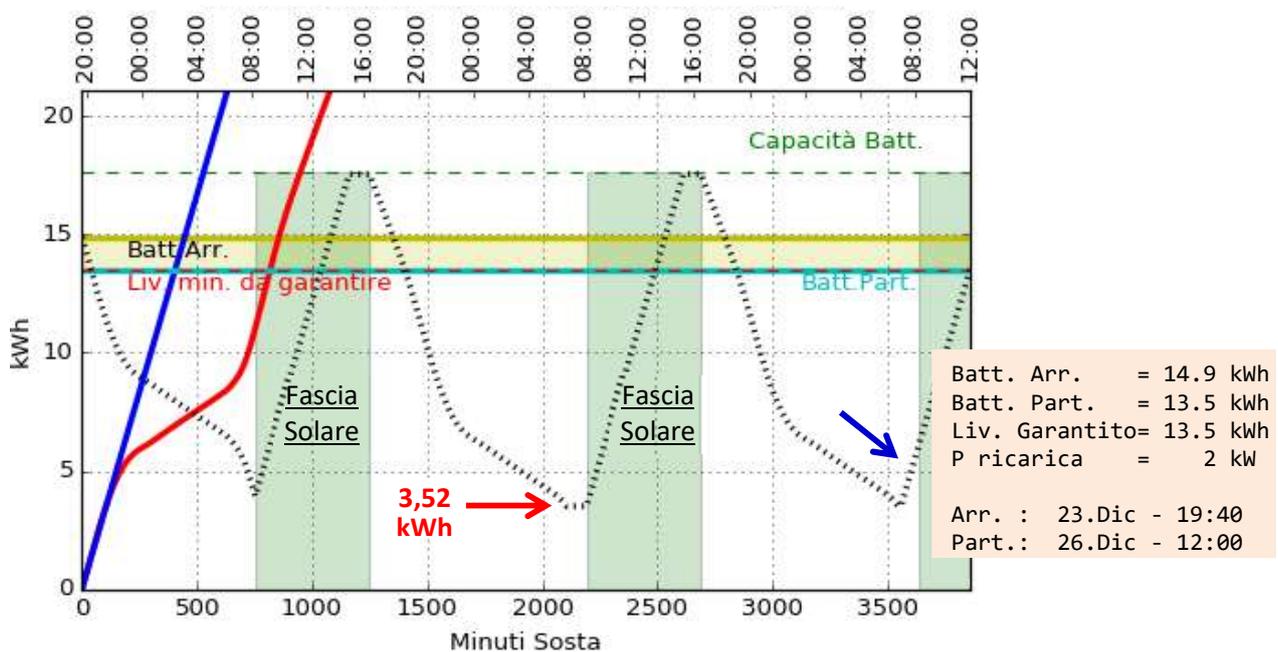


Figura 16. Andamento della carica della batteria (linea nera punteggiata).

La ricarica avviene prevalentemente nelle soste lavorative o più in generale nelle soste diurne (considerando anche che il veicolo può stazionare in casa per più di un giorno). La ricarica del veicolo viene fatta quando la loro durata supera le 2 ore. E' quindi opportuno scegliere potenze di ricarica che consentono al veicolo di ricaricarsi in tempi dell'ordine di 4-8 ore. Pertanto, le potenze di ricarica non dovrebbero superare orientativamente il 15-20 % della capacità della batteria. Quindi ad esempio per ricaricare la batteria della Nissan, da 40 kWh, la potenza non dovrebbe superare i 6-8 kW.

Di seguito verranno riportati i risultati di più simulazioni ottenuti con diverse potenze di ricarica.

L'aumento eccessivo di queste potenze va evitato perché oltre a non avere miglioramenti si hanno a discapito maggiori costi di installazione ed una cattiva distribuzione delle energie, come si vede nel grafico (b) di Figura 17.

Nel grafico le curve magenta rappresentano l'andamento della potenza che occorre, per l'energia ricevuta dall'intera flotta dei VE, nella 1° settimana di Febbraio. I valori riportati essendo stati normalizzati con il numero di veicoli, rappresentano la richiesta media di un veicolo verso la rete. In (a) la ricarica è fatta con Punti di Ricarica (PdR) da 3 kW mentre in (b) è fatta con PdR da 20 kW. Quindi ad esempio la potenza di 3 kW, per il grafico (a) si riscontra quando tutti i veicoli sono contemporaneamente in carica, come all'incirca si verifica alle ore 12:00 nei punti indicati dalle due frecce rosse.

Nel grafico (b), sapendo che alle 12:00 i veicoli sono tutti in sosta, ci si aspetterebbe, per quell'ora, un analogo picco a 20 kW. Ciò però non avviene perché molti veicoli avendo cominciato la ricarica alle 8:00 e con potenza di 20 kW, completano la carica in meno di 2 ore e quindi a mezzogiorno non sono più in carica.

Nel grafico (b) invece è interessante osservare il picco delle 8:00, di circa 14 kW, indicato dalla freccia blu. Questo picco permette di asserire che in quel momento solo il 70% dei veicoli è in ricarica. Alla domenica, del 10-Febbraio, lo stesso picco delle 8:00, si avvicina molto ai 20 kW perché in questo giorno non lavorativo, a quell'ora quasi tutti i veicoli si trovano in sosta a casa.

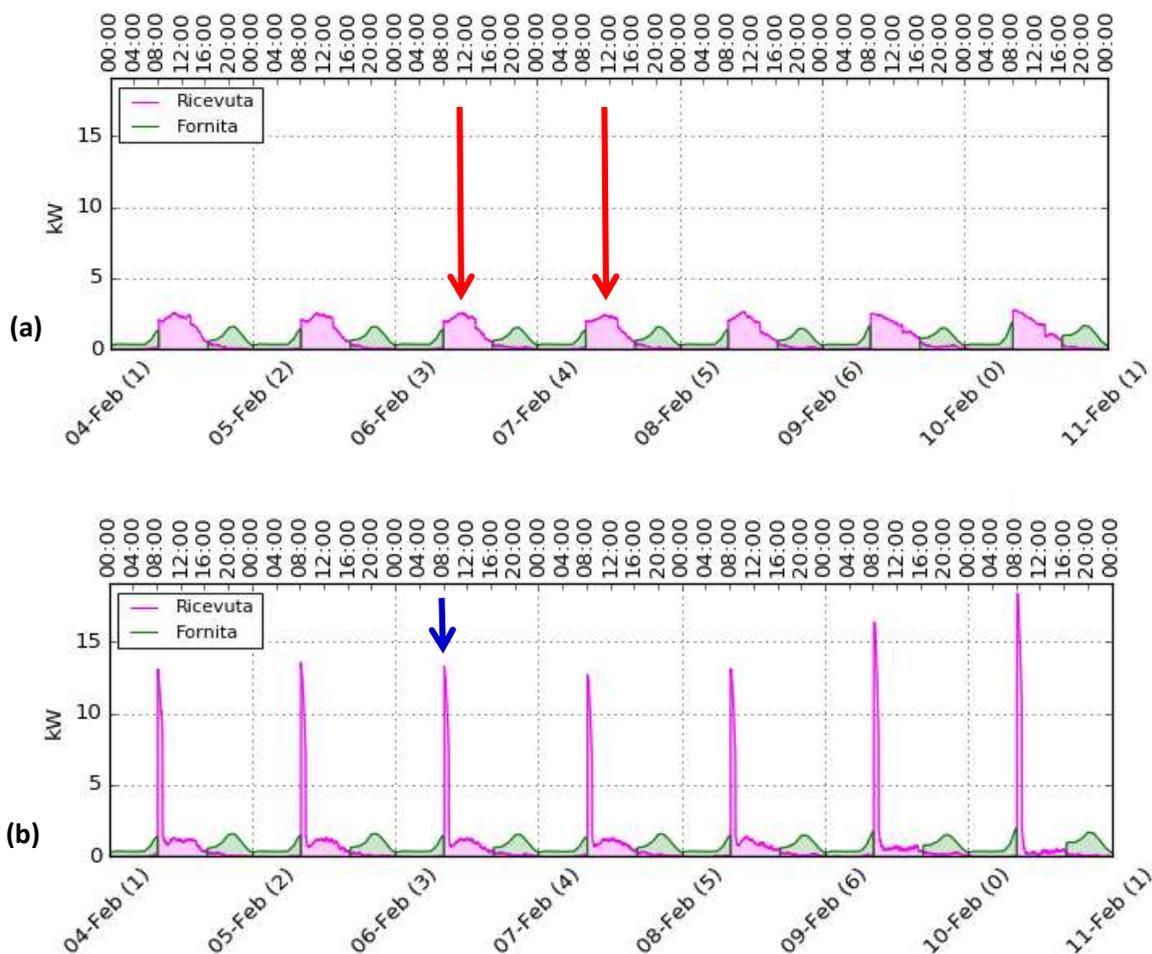


Figura 17. Andamenti della 1° settimana di Febbraio della potenza relativa all’energia ricevuta dall’intera flotta (magenta), e di quella fornita alle abitazioni (verde). I valori delle potenze sono normalizzati col numero di veicoli. Nel grafico (a) la potenza di ricarica è di 3 kW, mentre in (b) è di 20 kW.

Per concludere con questo grafico si vede che la curva magenta, in (b), evidenzia come l’utilizzo di PdR da 20 kW non è opportuno, perché essendo la potenza di ricarica superiore al necessario, concentrano l’energia prelevata (erogata dalla rete), nei primi istanti della sosta.

1.6 Risultati

Di seguito verranno sintetizzati i risultati ottenuti per i tre veicoli considerati. L’aver fissato la capacità della batteria lascia comunque la libertà di scegliere la potenza del PdR. Nelle simulazioni, per la ricarica a casa o al lavoro (o più genericamente fuori casa) si scelgono potenze diverse.

Le soste di casa, per via di quelle notturne, sono più lunghe di quelle al lavoro. Però poiché si è stabilito che la ricarica va fatta durante le ore solari, ne deriva che le ricariche a casa e al lavoro potranno contare su tempi di ricarica della stessa durata. Di conseguenza le potenze di ricarica tendenzialmente dovranno essere le stesse. Come precedentemente anticipato a livello di ipotesi queste potenze dovrebbero essere pari al 15-20% della capacità della batteria, ossia una ricarica lenta dell’ordine di 0,2 C.

Per quanto riguarda la presentazione grafica degli andamenti delle potenze in gioco saranno mostrate per un solo caso di quelli in tabella, quello ritenuto di maggior interesse. Gli andamenti saranno mostrati sia per un trend giornaliero e sia su uno settimanale. Per le osservazioni stagionali ci si limita a quella estiva ed invernale che risultano le più critiche essendo presenti gli impianti o di riscaldamento o di condizionamento.

Nelle simulazioni sono stati considerati alcuni casi, con PdR a casa, di potenze inferiori a quelle sul lavoro. Questa considerazione deriva dal fatto che in pratica la scelta dell'impianto di casa può essere influenzato dal costo del PdR legato alla potenza. Inoltre l'impianto di casa può essere scelto specificamente per il VE posseduto, per esempio una piccola Smart, mentre l'impianto sul posto di lavoro deve essere adatto per tutti i veicoli e quindi viene scelto per essere adeguato a VE medio-grandi.

Si anticipa, come si vedrà meglio nei test, che la difficoltà di soddisfare la richiesta di energia della casa non dipende solo dalla capacità della batteria e dalla potenza di ricarica ma dipende anche dal veicolo perché invece di trovarsi in casa, si trova altrove, per esempio in viaggio.

Inoltre si vedrà che in estate si riesce a soddisfare le richieste più facilmente, al contrario dell'inverno dove ciò risulta più difficile, essendo la richiesta circa il doppio di quella estiva.

1.6.1 Risultati ottenuti dalla Smart

Verranno ora illustrate le simulazioni eseguite sul VE scelto, di dimensioni più piccole, ossia la Smart. Per ricaricare la sua batteria di 17,6 kWh si è scelto un range di potenze da 2 kW a 9 kW.

I risultati ottenuti sono sinteticamente riportati in Tabella 5, dove nelle prime due colonne sono riportate le potenze di ricarica nelle soste a casa ed al lavoro. Nella terza colonna si specificano i 4 periodi a cui si riferiscono i dati: annuale, estivo, invernale e quello primaverile-autunnale che vengono considerati insieme. Nelle colonne che seguono sono forniti dei valori di energia come media giornaliera, del periodo considerato, e *normalizzate* a veicolo. Nella quarta colonna è riportata l'energia totale *richiesta* per viaggiare, risultante dai chilometri percorsi e dal consumo specifico del veicolo. Nella colonna che segue invece è mostrata la parte di energia *fornita* da destinare alla trazione. Si precisa che questa energia è solo quella che il VE ricarica nelle soste lunghe di casa e lavoro o lavoro equivalente, quindi è esclusa la ricarica veloce fatta durante il viaggio.

Nei valori tra parentesi, della colonna a fianco, si riportano le percentuali di questa energia fornita, rispetto a quella richiesta dalla trazione.

Questi valori di energia, ai fini del V2H, si sono riportati per verificare il livello di soddisfazione della domanda di energia per i viaggi, senza ricorrere ad ulteriori ricariche veloci (più onerosa in termini di costo e di tempo speso).

Nelle colonne dell'energia per la casa si riportano i valori giornalieri dell'energia *richiesta* (colonna 7), di quelli medi *forniti* dal VE (colonna 8), e la percentuale (colonna 9) di questi ultimi valori rispetto alla richiesta.

Si fa presente che la richiesta giornaliera riportata è solo quella che avviene nelle ore prive di sole. Infatti le ore solari sono state riservate per la ricarica del VE. Inoltre se la casa ha un impianto PV installato, in queste ore solari non ha bisogno di essere alimentata dal VE.

Tabella 5. Energie normalizzate a veicolo, relative ai viaggi e alla casa, ricavate dalle simulazioni fatte con la Smart

Potenza Ricarica [kW]		Periodo	Energia per viaggiare [kWh]			Energia per la casa [kWh]			Rapporto Increment. utilizzo Batteria
Casa	Lavoro		Richiesta	Fornita	(%)	Richiesta (in ore senza sole)	Fornita	(%)	
2	3	Anno	4,40	3,94	(90%)	10,9	6,8	(62%)	2,55
		Estate	4,83	4,16	(86%)	8,5	6,3	(74%)	-
		Inverno	4,11	3,74	(91%)	16,2	9,1	(56%)	-
		Pri/Aut	4,51	4,10	(91%)	4,5	3,3	(73%)	-
2	6	Anno	4,40	3,95	(90%)	10,9	6,9	(63%)	2,57
		Estate	4,83	4,17	(86%)	8,5	6,3	(74%)	-
		Inverno	4,11	3,75	(91%)	16,2	9,2	(57%)	-
		Pri/Aut	4,51	4,11	(91%)	4,5	3,3	(73%)	-
3	6	Anno	4,40	3,98	(90%)	10,9	7,0	(64%)	2,59
		Estate	4,83	4,20	(87%)	8,5	6,4	(75%)	-
		Inverno	4,11	3,78	(89%)	16,2	9,4	(58%)	-
		Pri/Aut	4,51	4,13	(92%)	4,5	3,3	(73%)	-
9	9	Anno	4,40	3,98	(90%)	10,9	7,0	(64%)	2,59
		Estate	4,83	4,20	(87%)	8,5	6,4	(75%)	-
		Inverno	4,11	3,78	(92%)	16,2	9,6	(59%)	-
		Pri/Aut	4,51	4,13	(92%)	4,5	3,4	(76%)	-

Infine nell'ultima colonna è riportato il Rapporto Incrementale di utilizzo Batterie (Rib). Questo valore si è introdotto per dare un'indicazione di quanto è più sollecitata la batteria nell'utilizzo del V2H rispetto al normale utilizzo per la trazione.

Pertanto il Rib viene definito come il rapporto dell'energia totale erogata dalla batteria nel V2H (per alimentare casa e per la trazione del VE), e l'energia della sola trazione del VE.

Quindi per calcolare il Rib occorre conoscere le 2 energie:

- E_V : è l'energia complessivamente usata dal veicolo¹ necessaria per viaggiare
- E_H : è l'energia che il veicolo fornisce alla casa

Il Rib è stato calcolato come segue:

¹ Delle energie riportate in tabella, per E_V va utilizzata quella richiesta. L'energia fornita, della tabella, è solo quella caricata nelle soste, a cui va aggiunta quella delle ricariche rapide effettuate in viaggio, per ottenere l'energia totale dei viaggi.

$$Rib = \frac{E_V + E_H}{E_V} = 1 + \frac{E_H}{E_V}$$

Questo rapporto è estremamente importante perché, essendo la batteria più sollecitata ci dice di quanto sarà inferiore la sua durata. Poiché questa cosa è estremamente importante è opportuno verificare l'effettiva durata di una batteria. Un tassista [23] si riteneva soddisfatto, dopo un test con 102.000 miglia (164.000 km) percorse, perché la batteria della sua *Leaf* aveva subito un degrado del solo 12% mentre un altro tassista [24] ha venduto la sua *Leaf*, ancora marciante con batteria originaria, a 170.000 miglia (273.000 km).

I dati riportati si riferiscono alla vecchia Leaf con batteria da 24 kWh mentre l'odierna, invece, ne ha in dotazione una da 40 kWh. Estrapolando quindi, le 170.000 miglia alla nuova batteria, si ipotizza che oggi la Leaf è in grado di raggiungere i 450.000 km.

Osservando la prima riga annuale, della Tabella 5, si vede che dei 10,9 kWh richiesti mediamente dalla casa ne vengono forniti solo 6,8 kWh ossia il 62%. Nella tre righe successive, si vede che questa percentuale cala in inverno ma cresce negli altri due periodi. Si deduce che la batteria in inverno ha raggiunto il suo limite anche perché dalla sua capacità di 17,6 kWh, si devono togliere 4,11 kWh per viaggiare e quindi impensabile erogare tutti 16,2 kWh richiesti.

Le altre prove riportate, sono fatte con potenze di ricarica maggiori e dimostrano che i risultati sono praticamente simili.

Passando all'ultima colonna della tabella si vede che il Rib va' da 2,55 a 2,59 e questo indicatore evidenzia di quanto la batteria viene maggiormente utilizzata.

Occorre però dire che per meglio testare il V2H si è deciso di usare un'alimentazione verso la casa abbastanza generosa, che il VE è riuscito a gestire. Infatti nel test è stato inserito anche il carico elettrico dovuto al riscaldamento invernale. In questa stagione c'è minor produzione fotovoltaica ed i consumi elettrici sono alti. Quindi il *problema solare* è minore, come peraltro dimostrato dalle minor oscillazioni del prezzo del kWh riportato in Figura 8. Perciò nel V2H si può anche pensare di escludere l'alimentazione del sistema di riscaldamento. In queste condizioni il Rib si riduce di molto.

Per conoscere gli andamenti delle energie nel tempo di seguito si riportano i grafici ottenuti per la sola simulazione evidenziata, quella con potenze di ricarica di 2 e 6 kW, rispettivamente per la casa e per il lavoro. Si sono scelte queste potenze perché potrebbero essere le realisticamente le più probabili. Infatti a casa è inutile avere PdR più costose quando, per queste batterie, 2 kW sono più che sufficienti. Per quella dell'ufficio, essendo i PdR accessibili a più tipologie di veicoli, è più probabile che vengano usate a potenze più elevate.

Ora verranno mostrati gli andamenti degli scambi energetici di cui due si riferiscono al veicolo e quattro alla casa.

I 2 grafici che seguono sono riferiti al VE e mostrano come evolve temporalmente la potenza ricevuta, e quella erogata alla casa. Questi andamenti sono mostrati in due diverse settimane: una invernale, con carichi più alti, ed una estiva, con carichi minori.

La settimana invernale che viene mostrata, in Figura 18, è la prima di febbraio. Qui sono riportati gli andamenti delle potenze usate: per l'energia ricevuta dal veicolo (linea magenta) e per quella fornita alla casa (linea verde). Gli andamenti sono normalizzati a veicolo.

Gli analoghi andamenti sono mostrati anche in Figura 19 ma per la seconda settimana di luglio.

Gli andamenti risultano ben distribuiti. Una piccola differenza si nota durante il fine settimana, ma solo in inverno. Qui si vede che quando inizia la fascia solare, l'energia fornita (curva magenta) ha una potenza iniziale di 1,3 kW contro 1,8 kW del fine settimana. Questo è dovuto ad una maggior presenza di veicoli in casa durante il fine settimana in quell'ora.

Una singolare osservazione è il repentino calo, indicato dalla freccia rossa, in Figura 19, presente tutti i giorni intorno alle ore 10:27. Questa singolarità è generata da quei veicoli che non vengono usati quotidianamente e quindi nell'arco della giornata riescono a caricarsi completamente a 17,6 kWh. Pertanto nel periodo estivo la richiesta della casa di 8,5 kWh, viene soddisfatta completamente. Quindi, all'inizio della ricarica, questi veicoli devono reintegrare la stessa quantità di 8,5 kWh con potenza di 2 kW (a casa). Per fare ciò impiegheranno 4 ore e 15 minuti, come evidenziato dalla freccia azzurra, terminando la ricarica tutti insieme esattamente alle ore 10:27, come riportato in figura.

Gli altri 4 grafici mostrati riguardano sempre le potenze, ma *riferite alla casa*. Questa volta oltre 2 andamenti settimanali inverno-estate vengono confrontati anche come andamento giornaliero.

In Figura 20 si mostrano gli andamenti delle potenze settimanali relative all'energia: richiesta dalla casa (rosso) e fornita alla casa (verde) nella prima settimana di febbraio, ed in Figura 21 per la seconda settimana di luglio.

Gli stessi andamenti delle ultime 2 figure sono ripetuti, in Figura 22, per il primo martedì di febbraio e in Figura 23, per il secondo martedì di luglio.

Dai grafici settimanali si vede che l'energia *fornita* (aree verdi) in estate si approssimano di più alla curva rossa della richiesta. In particolare, come può essere meglio visto sulla Figura 23, in estate dopo la mezzanotte, la richiesta è totalmente soddisfatta, mentre non lo è in inverno, come mostrato dalla Figura 22. Il motivo è che la più elevata richiesta invernale ha scaricato al minimo la batteria di alcuni VE.

Per approfondire meglio questo aspetto si osservi, in Figura 22, lo scalino della curva verde, evidenziato dalla freccia. Questa repentina riduzione rappresenta un identico comportamento di alcuni veicoli che nello stesso istante terminano l'alimentazione della casa perché hanno esaurito l'energia disponibile.

Si tratta di tutti quei veicoli che quando inizia la fase di alimentazione hanno la batteria completamente carica perché erano in sosta da diverso tempo e hanno potuto caricare completamente la batteria durante la precedente fase solare. Questi veicoli, togliendo il 20% di Soc, hanno 14,08 kWh di energia disponibile.

La richiesta complessiva è invece di 16,2 kWh e terminerebbe intorno alle 8:00. Poiché la disponibilità è inferiore, questi veicoli terminano l'alimentazione contemporaneamente intorno alle 6:42. Quindi la batteria completamente carica della Smart, in inverno, può alimentare la casa dalle 16:30 fino alle 06:42.

In estate questo fenomeno non si presenta perché la richiesta, essendo circa la metà, è soddisfatta per intero fino all'ultimo istante.

Si vuole ora dare risalto ad un'altra interessante osservazione, nel momento di inizio della fase di alimentazione della casa. In quest'ora c'è la massima disponibilità, essendo appena terminata la fascia solare. Però come si vede in Figura 22, alle ore 16,30, mentre la potenza richiesta è di 1,5 kW quella fornita è di soli 0,7 kW. Essendo i dati normalizzati, si deduce che in quelle ore circa metà dei veicoli non è in sosta a casa (il 40% in estate ed il 50% in inverno, non sono a casa).

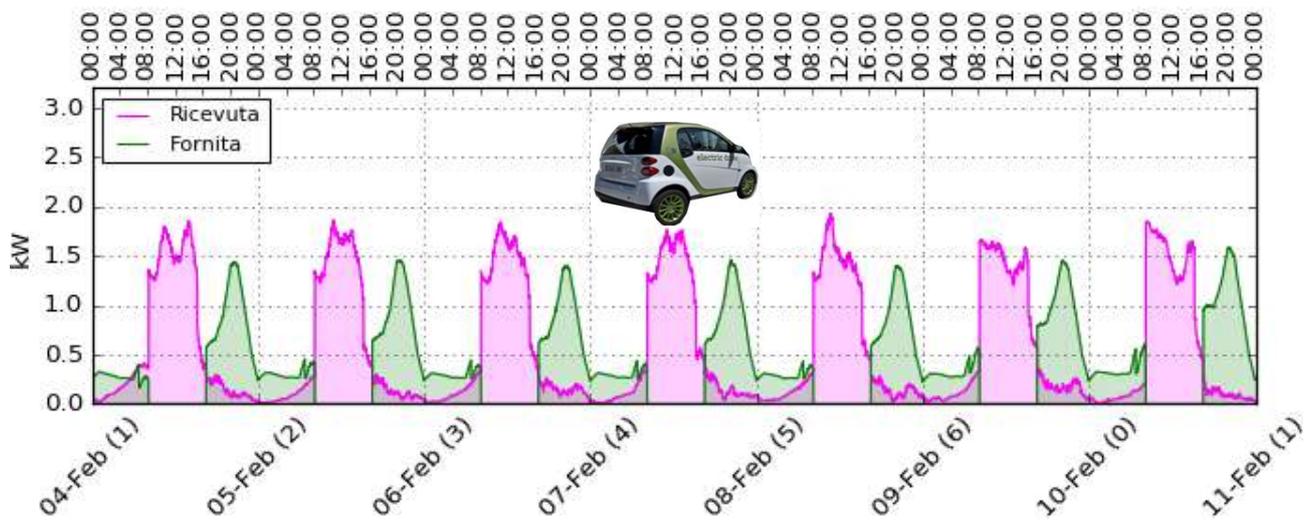


Figura 18. Andamento delle potenze settimanali risultanti per trasferire l'energia: *ricevuta* dal veicolo (magenta) e *fornita* alla casa (verde) per la Smart, nel periodo invernale.

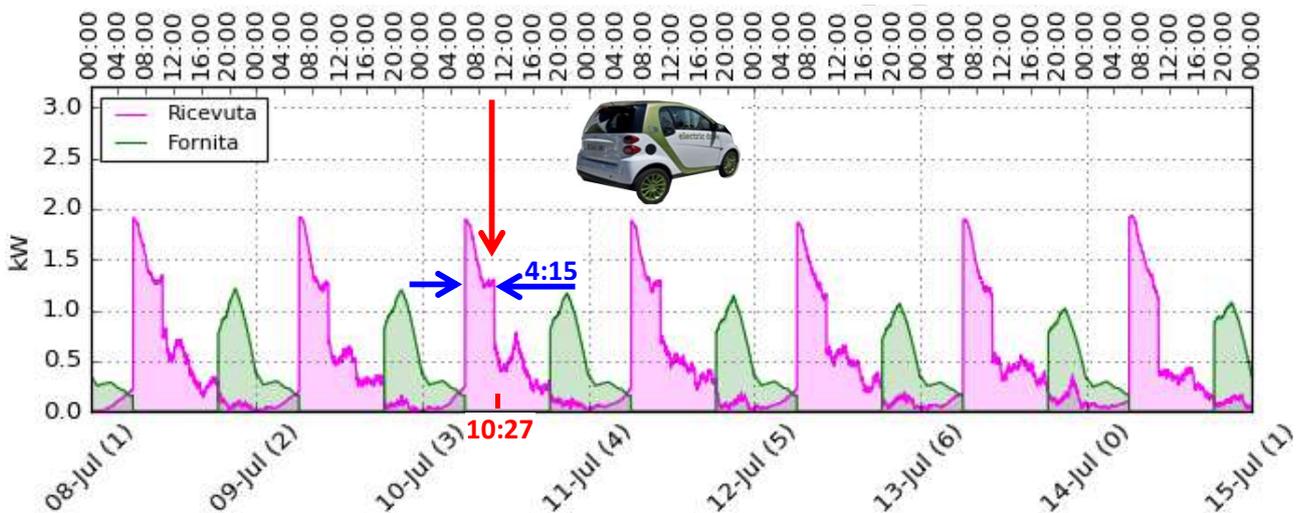


Figura 19. Andamento delle potenze settimanali risultanti per trasferire l'energia: *ricevuta* dal veicolo (magenta) e *fornita* alla casa (verde) per la Smart, nel periodo estivo.

Come si vedrà più avanti anche con i test sui VE equipaggiati con batterie più grandi le richieste nelle prime ore pomeridiane non potranno mai essere soddisfatte al 100%.

In conclusione per riordinare le idee si sottolinea che la difficoltà di soddisfare completamente la richiesta, durante le prime ore pomeridiane, è data dall'impossibilità di fornirla perché il veicolo non si trova in sosta a casa. Mentre la difficoltà di fornire energia dopo la mezzanotte dipende dalla modesta capacità di accumulo della batteria della Smart.

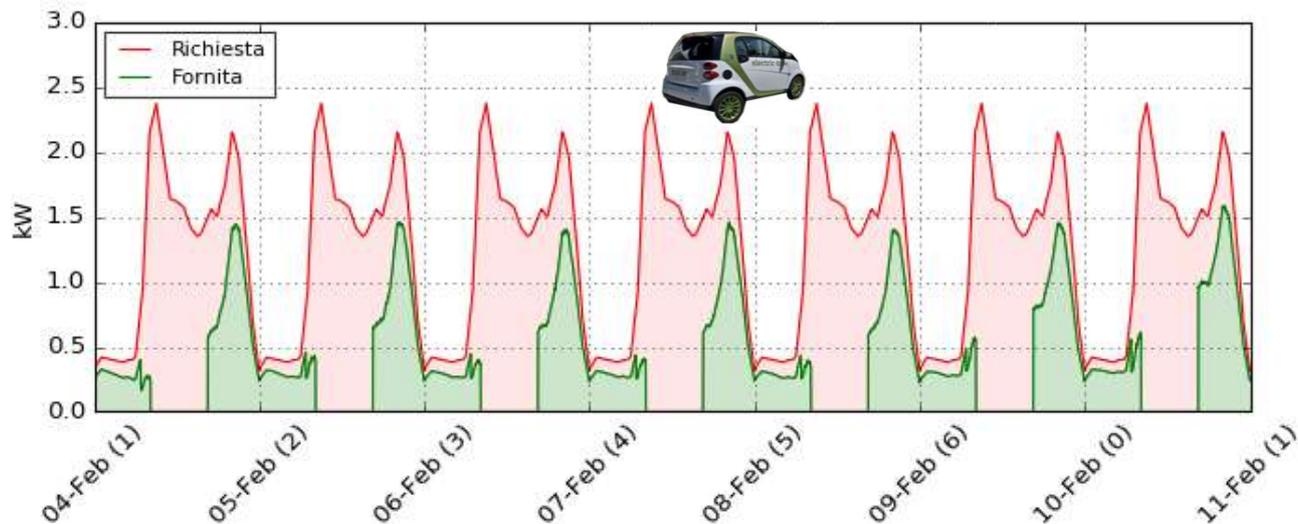


Figura 20. Andamento delle potenze settimanali relative all'energia: richiesta dalla casa (rosso) e fornita alla casa (verde) per la Smart, nel periodo invernale.

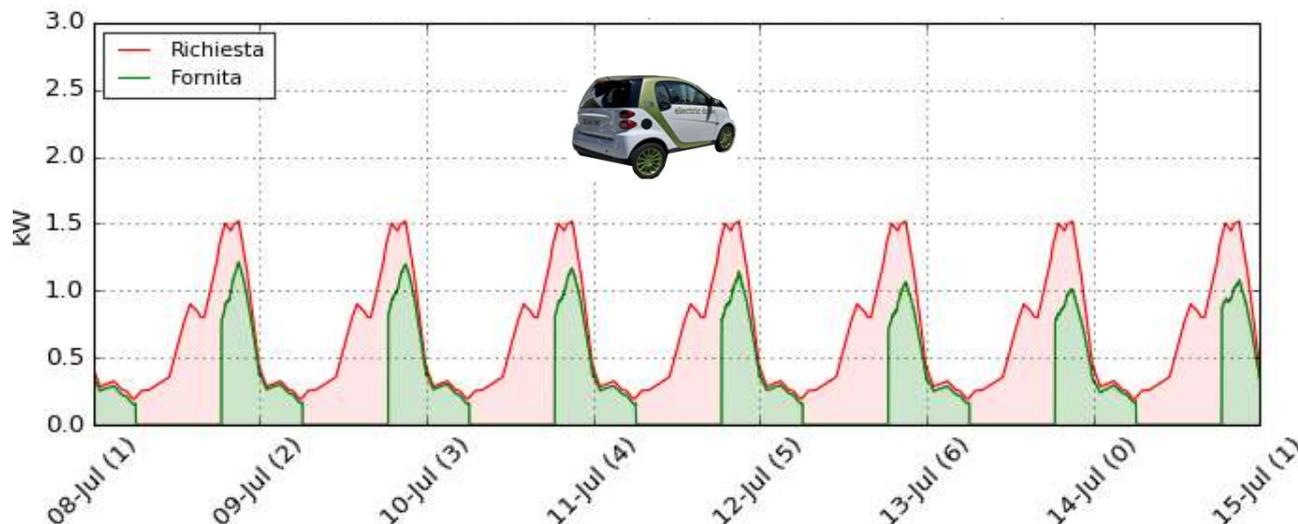


Figura 21. Andamento delle potenze settimanali relative all'energia: richiesta dalla casa (rosso) e fornita alla casa (verde) per la Smart, nel periodo estivo.

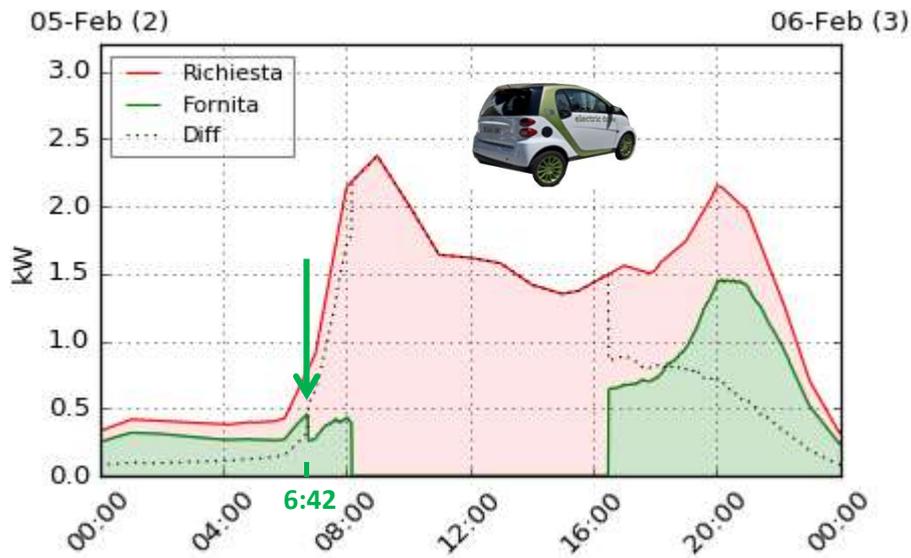


Figura 22. Andamento delle potenze giornaliere relative all'energia: *richiesta* dalla casa (rosso) e *fornita* alla casa (verde) per la Smart, nel periodo invernale. La linea tratteggiata rappresenta la differenza tra le due potenze.

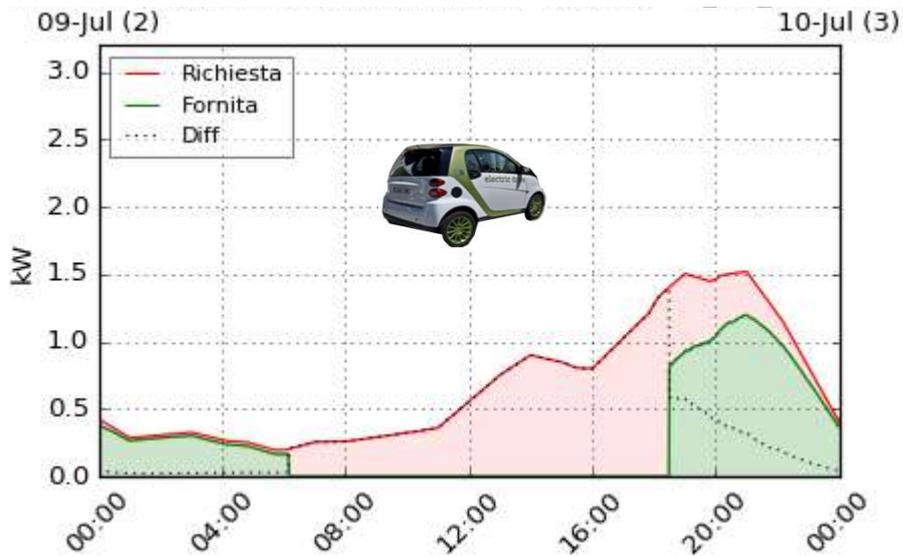


Figura 23. Andamento delle potenze giornaliere relative all'energia: *richiesta* dalla casa (rosso) e *fornita* alla casa (verde) per la Smart, nel periodo estivo. La linea tratteggiata rappresenta la differenza tra le due potenze.

1.6.2 Risultati ottenuti dalla Nissan Leaf

Realizzando il V2H con la Nissan Leaf, si passa dalla batteria di 17,6 della Smart ad una di 40 kWh che è circa doppia, ed ad un consumo del VE di un 20% maggiore. In Tabella 6 sono riportati i risultati dei test delle simulazioni fatte. Le potenze di ricarica variano da 2 a 9 per le ricariche a casa e da 6 a 20 per quelle al lavoro.

Guardando i periodi annuali si osserva che nei peggiori risultati ottenuti (quelli con ricariche 2 e 6 kW) l'energia fornita alla casa è il 72% e può salire solo al 73% con ricariche più elevate. Potenze di ricariche ancora più alte non aggiungono miglioramenti.

Tabella 6. Energie normalizzate a veicolo, relative ai viaggi e alla casa, ricavate dalle simulazioni fatte con la Nissan.

Potenza Ricarica [kW]		Periodo	Energia per viaggiare [kWh]			Energia per la casa [kWh]			Rapporto Increment. Uti lizzo Batteria
Casa	Lavoro		Richiesta	Fornita		Richiesta (in ore senza sole)	Fornita		
2	6	Anno	5,21	4,96 (95%)	10,9	7,8 (72%)	2,50		
		Estate	5,72	5,35 (94%)	8,5	6,5 (76%)	-		
		Inverno	4,87	4,64 (95%)	16,2	11,1 (69%)	-		
		Pri/Aut	5,34	5,19 (97%)	4,5	3,5 (78%)	-		
3	6	Anno	5,21	5,01 (96%)	10,9	7,9 (72%)	2,52		
		Estate	5,72	5,39 (94%)	8,5	6,5 (76%)	-		
		Inverno	4,87	4,70 (97%)	16,2	11,3 (70%)	-		
		Pri/Aut	5,34	5,21 (98%)	4,5	3,5 (78%)	-		
3	9	Anno	5,21	5,02 (96%)	10,9	7,9 (72%)	2,52		
		Estate	5,72	5,40 (94%)	8,5	6,5 (76%)	-		
		Inverno	4,87	4,71 (97%)	16,2	11,3 (70%)	-		
		Pri/Aut	5,34	5,22 (98%)	4,5	3,5 (78%)	-		
6	6	Anno	5,21	5,07 (96%)	10,9	7,9 (72%)	2,54		
		Estate	5,72	5,46 (95%)	8,5	6,5 (76%)	-		
		Inverno	4,87	4,76 (98%)	16,2	11,3 (70%)	-		
		Pri/Aut	5,34	5,27 (99%)	4,5	3,5 (78%)	-		
6	9	Anno	5,21	5,08 (97%)	10,9	8,0 (72%)	2,54		
		Estate	5,72	5,47 (95%)	8,5	6,5 (76%)	-		
		Inverno	4,87	4,77 (98%)	16,2	11,4 (70%)	-		
		Pri/Aut	5,34	5,27 (99%)	4,5	3,5 (78%)	-		
6	20	Anno	5,21	5,08 (98%)	10,9	8,0 (73%)	2,54		
		Estate	5,72	5,47 (96%)	8,5	6,5 (76%)	-		
		Inverno	4,87	4,77 (98%)	16,2	11,4 (70%)	-		
		Pri/Aut	5,34	5,27 (99%)	4,5	3,5 (78%)	-		
9	9	Anno	5,21	5,13 (98%)	10,9	8,0 (73%)	2,54		
		Estate	5,72	5,53 (97%)	8,5	6,5 (76%)	-		
		Inverno	4,87	4,82 (99%)	16,2	11,4 (70%)	-		
		Pri/Aut	5,34	5,32 (100%)	4,5	3,5 (78%)	-		

Praticamente ora, rispetto al 62% della Smart, la percentuale di alimentazione, confrontando i migliori risultati annuali migliorano del 15%.

Anche per la Nissan, si riscontra che le percentuali di alimentazione in estate sono più alte di quelle invernali per esempio confrontando i casi migliori si passa dal 76% estivo al 70% invernale. La percentuale estiva del 76% sembra dire che per quel periodo la capacità della batteria è adeguata. Questa ipotesi però potrà essere confermata, con maggior certezza, solo guardando gli andamenti.

Per quanto riguarda la percentuale di energia per viaggiare, caricata nelle soste (6° colonna), rispetto a quella richiesta, supera abbondantemente il 90%. Il 100% non è raggiunto perché la capacità della batteria non è in grado di assicurare i lunghi viaggi. Questo mette in evidenza che la maggior energia fornita alla casa, rispetto alla Smart non penalizza le percorrenze derivanti da *ricariche in sosta*, che invece migliorano.

Osservando l'ultima colonna della tabella si osserva che il Rib ora va da 2,50 a 2,54. Il leggerissimo miglioramento, di questo fattore, rispetto alla Smart, è dovuta al fatto che, pur aumentando del 15% l'energia fornita alla casa, l'energia necessaria viaggiare ha un aumento più elevato (20%).

Gli andamenti che si mostreranno di seguito sono quelli della simulazione in evidenza nella tabella corrispondente alle ricariche casa-lavoro con potenze di 3-6 kW. Pur non essendo la migliore in assoluto si ritiene probabilmente la più realistica. In ogni caso questi andamenti differiscono pochissimo dagli altri infatti queste differenze tra le migliori simulazioni è solo dell' 1%.

Analogamente alla Smart seguono 2 grafici per mettere sotto osservazione le energie entranti e uscenti dalla batteria del VE. Sono quindi mostrati gli andamenti delle potenze riscontrate: per l'energia ricevuta dal veicolo (linea magenta) e per quella fornita alla casa (linea verde) per la prima settimana di febbraio, in Figura 24, e per la seconda settimana di luglio, in Figura 25.

Anche qui, gli andamenti risultano ben distribuiti con una ripetizione sistematica durante la settimana. Come in precedenza si riscontra sempre la piccola differenza, ma solo in inverno, degli andamenti di sabato e domenica dove l'energia ricevuta (curva magenta) è più costante, e con valori iniziali più alti per via di un maggior numero di veicoli in sosta a quell'ora.

Inoltre si nota sempre, nella curva dell'energia ricevuta, un comportamento molto diverso tra estate ed inverno. L'andamento estivo è prevalentemente discendente mentre in inverno la curva inizia con una crescita e successivamente con una decrescita. Questo è dovuto al fatto che l'estate la fascia solare inizia molto prima delle 8 e quindi in queste ore ci sono più veicoli in sosta che ricaricano perché sono ancora a casa.

Come in precedenza anche qui, in Figura 25, è presente il repentino calo sulla curva magenta, indicato dalla freccia rossa, che indica l'andamento della ricarica del VE. In questa simulazione però la potenza di ricarica è di 3 kW invece dei 2 kW usati per la simulazione di Figura 19. Pertanto, poiché la casa richiede la stessa energia di 8,5 kW, con questa potenza ora occorrono solo 2 ore e 50 minuti, come si può osservare in Figura 25.

Di seguito sono evidenziati i 4 grafici con le potenze riguardanti la casa. In Figura 26 e in Figura 27 sono mostrati gli andamenti delle potenze settimanali relative all'energia: richiesta dalla casa (rosso) e fornita alla casa (verde), rispettivamente per la prima settimana di febbraio, per la seconda settimana di luglio.

Gli analoghi andamenti sono mostrati per un solo giorno in Figura 28 e Figura 29 rispettivamente per il primo martedì di febbraio ed il secondo martedì di luglio.

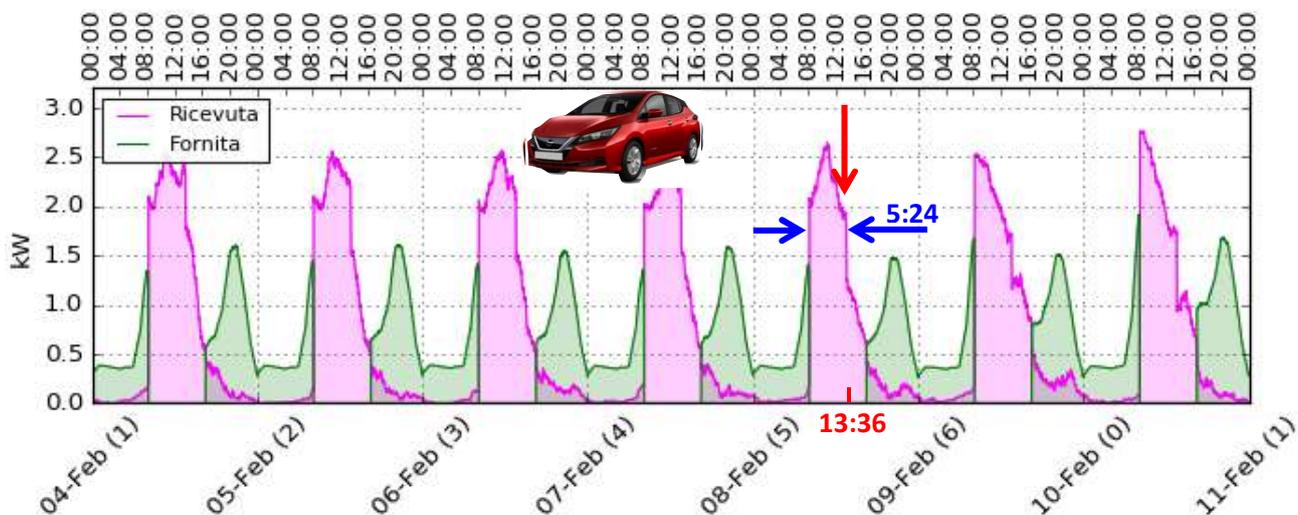


Figura 24. Andamento delle potenze settimanali risultanti per trasferire l’energia: *ricevuta* dal veicolo (magenta) e *fornita* alla casa (verde) per la Nissan Leaf, nel periodo invernale.

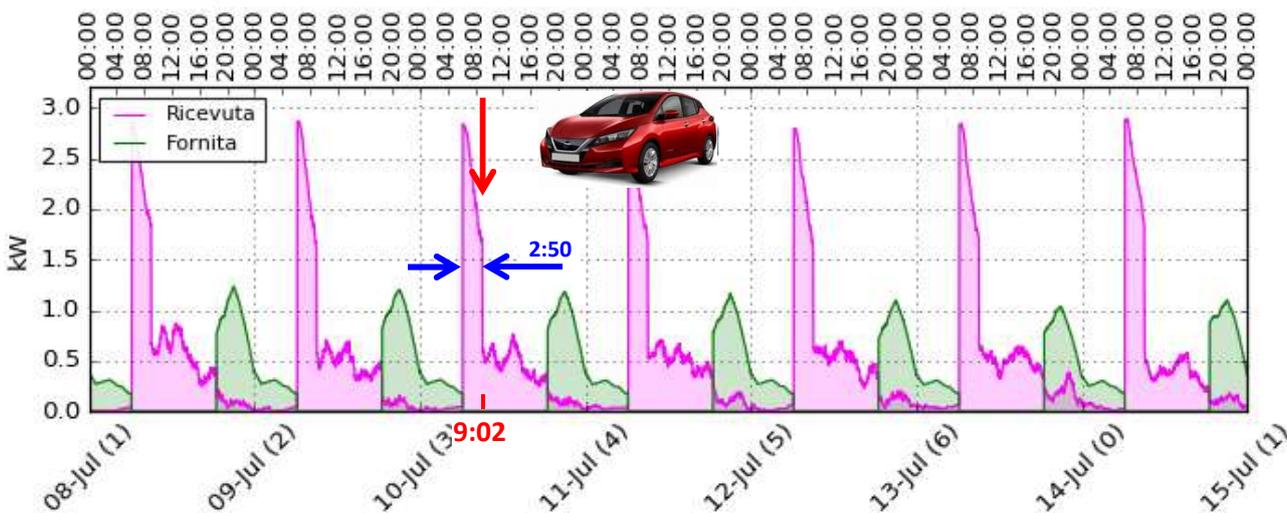


Figura 25. Andamento delle potenze settimanali risultanti per trasferire l’energia: *ricevuta* dal veicolo (magenta) e *fornita* alla casa (verde) per la Nissan Leaf, nel periodo estivo.

Dai due grafici settimanali è interessante osservare che nella fascia senza sole, si vede che: nel periodo estivo, l’area verde, dell’energia fornita, ricopre al 76% (Tabella 6) l’area rosa della richiesta, mentre nel periodo invernale ne ricopre il 70%, pur essendo l’area verde più estesa rispetto all’estate.

La minor percentuale invernale *in questo caso non dipende dalla batteria ma dipende dalla diversa durata della fascia di alimentazione* che in inverno è più ampia. In questa stagione comprende anche l’intervallo delle 16:30 e le 18:00 dove molti veicoli non hanno ancora raggiunto casa e quindi non possono alimentarla.

Questa volta, diversamente dalla Smart, l'energia fornita dopo la mezzanotte in Figura 28, soddisfa quasi completamente la richiesta perché le batterie sono ancora cariche. Infatti dei 40 kWh lordi, della batteria in dotazione rimangono disponibili 27 kWh. Quindi i 16,2 kWh richiesti dalla casa sono totalmente forniti.

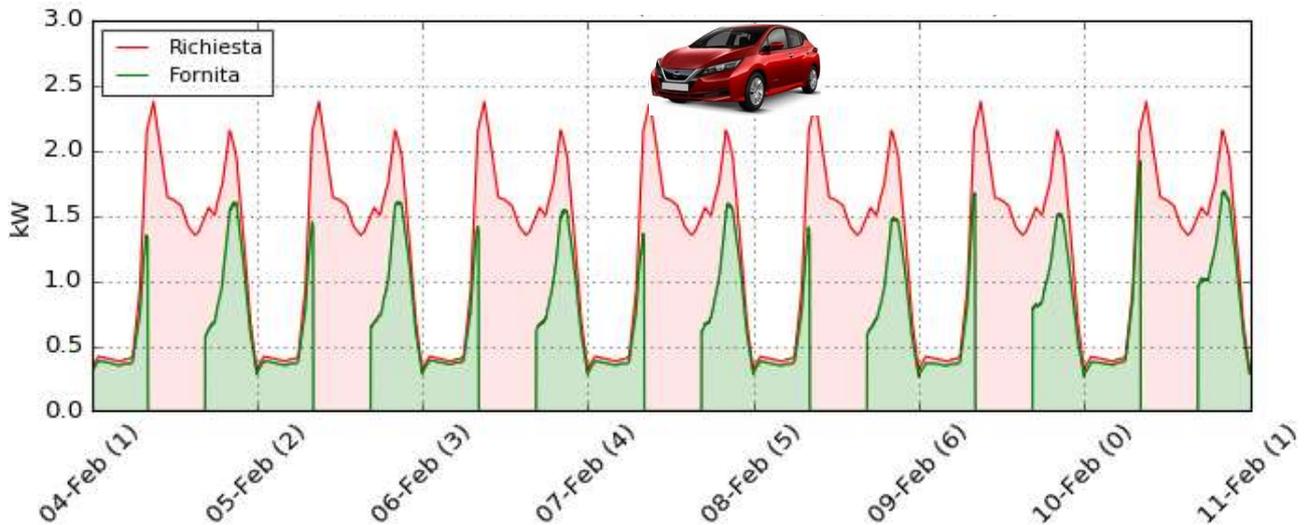


Figura 26. Andamento delle potenze settimanali relative all'energia: *richiesta* dalla casa (rosso) e *fornita* alla casa (verde) per la Nissan Leaf, nel periodo invernale.

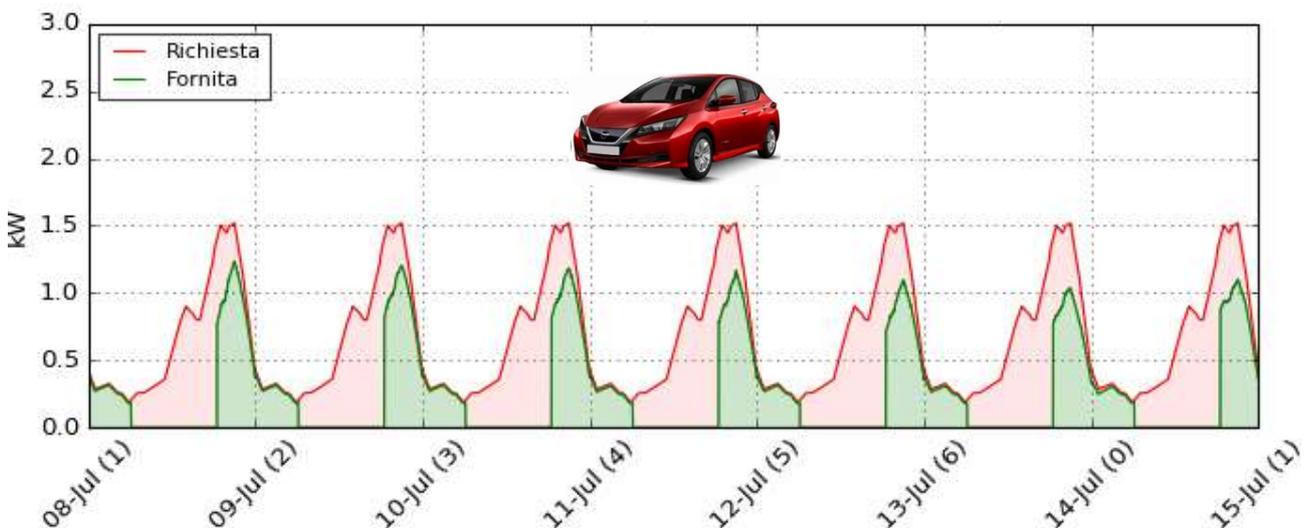


Figura 27. Andamento delle potenze settimanali relative all'energia: *richiesta* dalla casa (rosso) e *fornita* alla casa (verde) per la Nissan Leaf, nel periodo estivo.

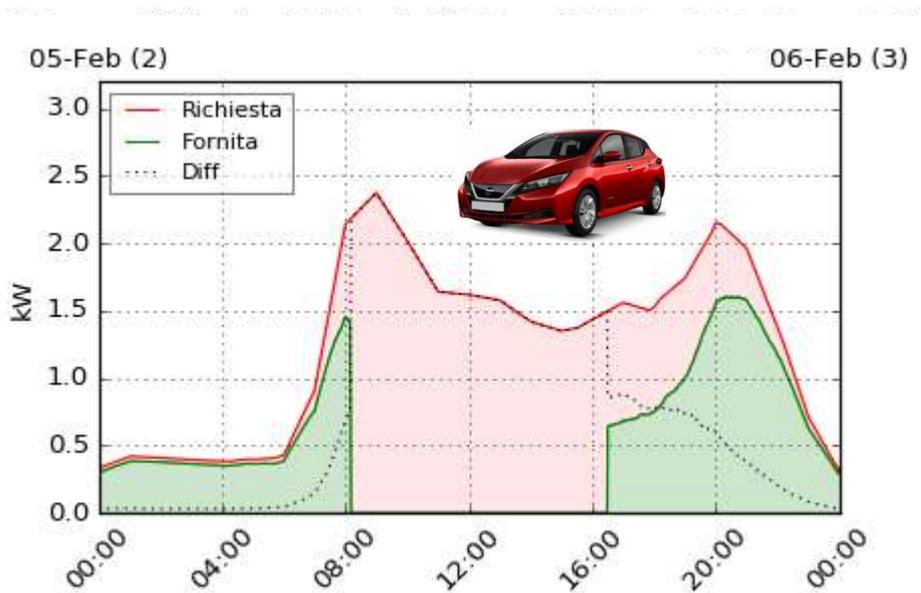


Figura 28. Andamento delle potenze giornaliere relative all'energia: *richiesta* dalla casa (rosso) e *fornita* alla casa (verde) per la Nissan Leaf, nel periodo invernale. La linea tratteggiata rappresenta la differenza tra le due potenze.

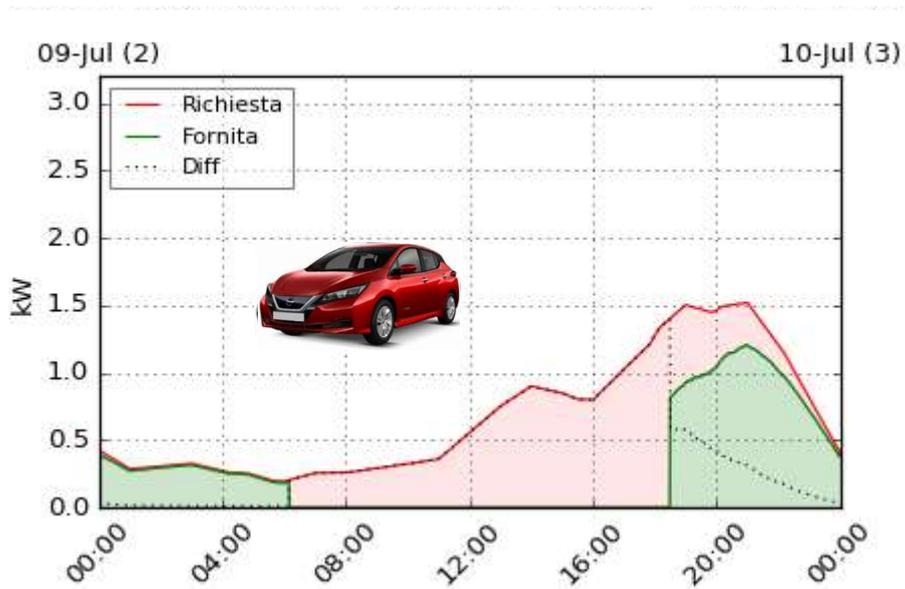


Figura 29. Andamento delle potenze giornaliere relative all'energia: *richiesta* dalla casa (rosso) e *fornita* alla casa (verde) per la Nissan Leaf, nel periodo estivo. La linea tratteggiata rappresenta la differenza tra le due potenze.

Non deve ingannare la richiesta intorno alle 8:00, in Figura 28, che è soddisfatta solo per due terzi. Anche qui il motivo è l'assenza del veicolo, perché in quell'ora diversi veicoli stanno lasciando la casa per andare al lavoro. Quindi il veicolo, anche se avesse avuto batterie maggiori, più di questo non avrebbe potuto dare.

1.6.3 Risultati ottenuti dalla Tesla Model 3

Le simulazioni effettuate per la Tesla sono eseguite con una batteria di 62 kWh che rispetto alla Nissan ha un 50% di carica in più, con un consumo per trazione che aumenta solo di un 10 %. Per i casi considerati presentati in Tabella 7, le potenze per la ricarica a casa vanno da 6 a 20 kW, mentre quelle al lavoro vanno da 9 a 20 kW.

Tabella 7. Energie normalizzate a veicolo, relative ai viaggi alla casa, ricavate dalle simulazioni fatte con la Tesla.

Potenza Ricarica [kW]	Periodo	Energia per viaggiare [kWh]			Energia per la casa [kWh]			Rapporto Increment. utilizzo Batteria
		Richiesta	Fornita	(%)	Richiesta (in ore senza sole)	Fornita	(%)	
3 9	Anno	5,76	5,63	(98%)	10,9	8,0	(73%)	2,39
	Estate	6,31	6,11	(97%)	8,5	6,6	(78%)	-
	Inverno	5,38	5,26	(98%)	16,2	11,5	(71%)	-
	Pri/Aut	5,90	5,87	(99%)	4,5	3,5	(78%)	-
6 9	Anno	5,76	5,70	(99%)	10,9	8,0	(73%)	2,39
	Estate	6,31	6,19	(98%)	8,5	6,6	(78%)	-
	Inverno	5,38	5,33	(99%)	16,2	11,5	(71%)	-
	Pri/Aut	5,90	5,90	(100%)	4,5	3,5	(78%)	-
9 9	Anno	5,76	5,76	(100%)	10,9	8	(73%)	2,39
	Estate	6,31	6,25	(99%)	8,5	6,6	(78%)	-
	Inverno	5,38	5,38	(100%)	16,2	11,5	(71%)	-
	Pri/Aut	5,90	5,90	(100%)	4,5	3,5	(78%)	-
20 9	Anno	5,76	5,76	(100%)	10,9	8,1	(74%)	2,41
	Estate	6,31	6,31	(99%)	8,5	6,6	(78%)	-
	Inverno	5,38	5,38	(100%)	16,2	11,5	(71%)	-
	Pri/Aut	5,90	5,90	(100%)	4,5	3,5	(78%)	-
6 20	Anno	5,76	5,71	(99%)	10,9	8	(73%)	2,39
	Estate	6,31	6,19	(98%)	8,5	6,6	(78%)	-
	Inverno	5,38	5,33	(99%)	16,2	11,5	(71%)	-
	Pri/Aut	5,90	5,90	(100%)	4,5	3,5	(58%)	-
9 20	Anno	5,76	5,76	(100%)	10,9	8,1	(74%)	2,41
	Estate	6,31	6,25	(99%)	8,5	6,6	(78%)	-
	Inverno	5,38	5,38	(100%)	16,2	11,5	(71%)	-
	Pri/Aut	5,90	5,90	(100%)	4,5	3,5	(78%)	-

Osservando i soli periodi annuali, si vede la percentuale di energia *fornita* alla casa è del 73-74%. Le percentuali estive, con il loro 78% sono più alte del 10% di quelle invernali.

Poiché in estate la percentuale è identica a quella della Nissan si deduce che si è raggiunto il limite *massimo possibile* mentre in inverno si presume che lo si sia raggiunto visto che il miglioramento, rispetto alla Nissan è di un solo punto percentuale.

Con questa batteria, per i consumi dichiarati, sono garantiti circa 300 chilometri e quindi della tabella si vede che la percentuale dell'energia fornita per viaggiare (colonna 6), proveniente dalle soste, raggiunge anche il 100 %. Questo a dimostrazione che il V2H non penalizza minimamente il VE.

Il Rib della Tesla si riduce da 2,54 della Nissan a 2,39 e questo perché, rispetto alla Nissan si ottengono miglioramenti sull'energia fornita che sono inferiori all'aumento di consumo.

Questa volta gli andamenti che si mostreranno sono quelli con potenze di ricarica casa-lavoro di 3-9 kW, che sono evidenziati in tabella. Pur non essendo i migliori in assoluto, differiscono di pochissimo dai test con i risultati migliori ma che usano PdR con potenze maggiori.

Si mostreranno ora i sei grafici, analoghi a quelli mostrati per le 2 precedenti vetture.

Nel grafico di Figura 30, della settimana invernale di febbraio, gli andamenti delle potenze, sono abbastanza regolari. Anche con la Tesla è presente il repentino calo descritto per la Nissan per i veicoli con lunghe soste che si trovano ad essere scarichi allo stesso modo all'inizio della fase di ricarica.

Questi bruschi cali, evidenziati con le frecce rosse in Figura 30 e Figura 31, sono presenti sia in inverno e sia in estate. In estate il fenomeno è più marcato perché l'energia da ricaricare in batteria è più modesta. Per la sola estate una ricarica da 2 kW, invece dei 3 kW, era preferibile perché avrebbe ridotto il picco del 33% senza penalizzare l'energia da fornire alla casa.

Diversamente se si fosse scelta la ricarica da 6 kW, una potenza ancora del tutto in linea con la batteria in oggetto, il picco sarebbe addirittura raddoppiato.

Si passa ora all'analisi dei 2 grafici settimanali in Figura 32 ed in Figura 33 e ai 2 grafici giornalieri in Figura 34 ed in Figura 35 dove sono mostrati gli andamenti delle potenze relative all'energia: richiesta dalla casa (rosso) e fornita alla casa (verde), rispettivamente per la prima settimana di febbraio, per la seconda settimana di luglio.

Dai due grafici settimanali si può osservare che nella fascia senza sole, si vede che, sia nel periodo estivo e sia in quello invernale, le area verdi, dell'energia fornita, ricoprono abbondantemente l'area rosa della richiesta. La Tabella 7, dice che la ricopertura estiva è del 78% contro il 71% del periodo invernale.

I due grafici giornalieri permettono una visione migliore. Ad esempio osservando la Figura 34 si vede che la ricopertura dalle ore 0:00 alle 8:00 è molto buona ma non così buona come quella della Figura 35 che è totale.

Se si osserva la Figura 35 alle ore 18,30 quando il veicolo inizia a fornire l'energia (curva verde) si vede che il valore di questa potenza è di 0,8 kW, esattamente come nella Figura 29 della Nissan. Questo evidenzia che pur passando da una batteria di 40 kWh ad una di 62 kWh non si ha nessun miglioramento. Ciò conferma quanto precedentemente anticipato, che in questa ora la domanda di energia non può essere soddisfatta al 100% perché non tutti i veicoli sono in sosta a casa.

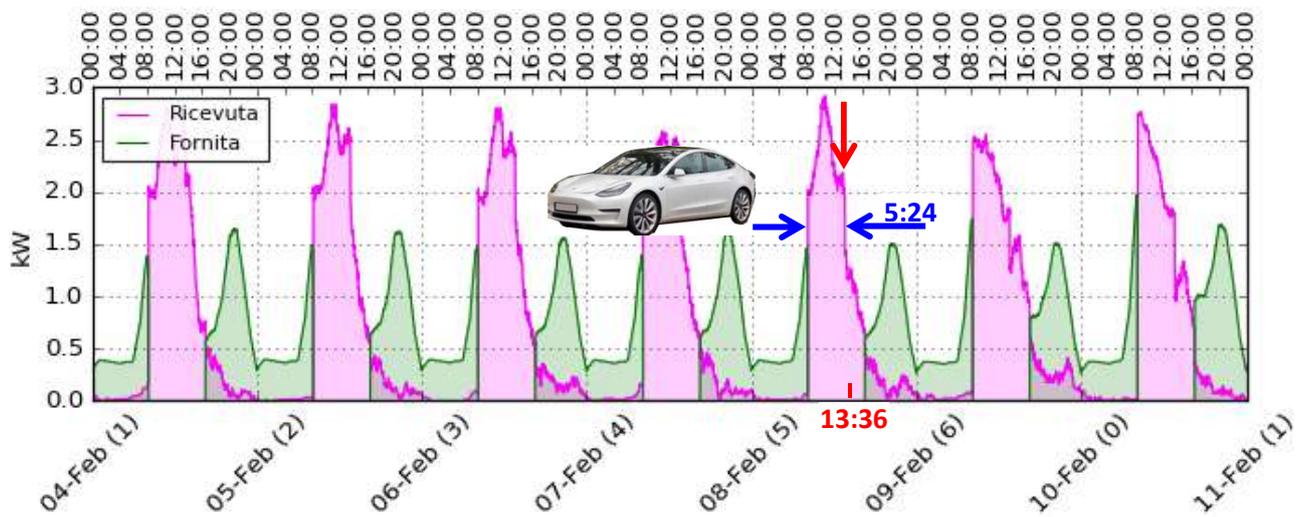


Figura 30. Andamento delle potenze settimanali risultanti per trasferire l'energia: *ricevuta* dal veicolo (magenta) e *fornita* alla casa (verde) per la Tesla Model 3, nel periodo invernale.

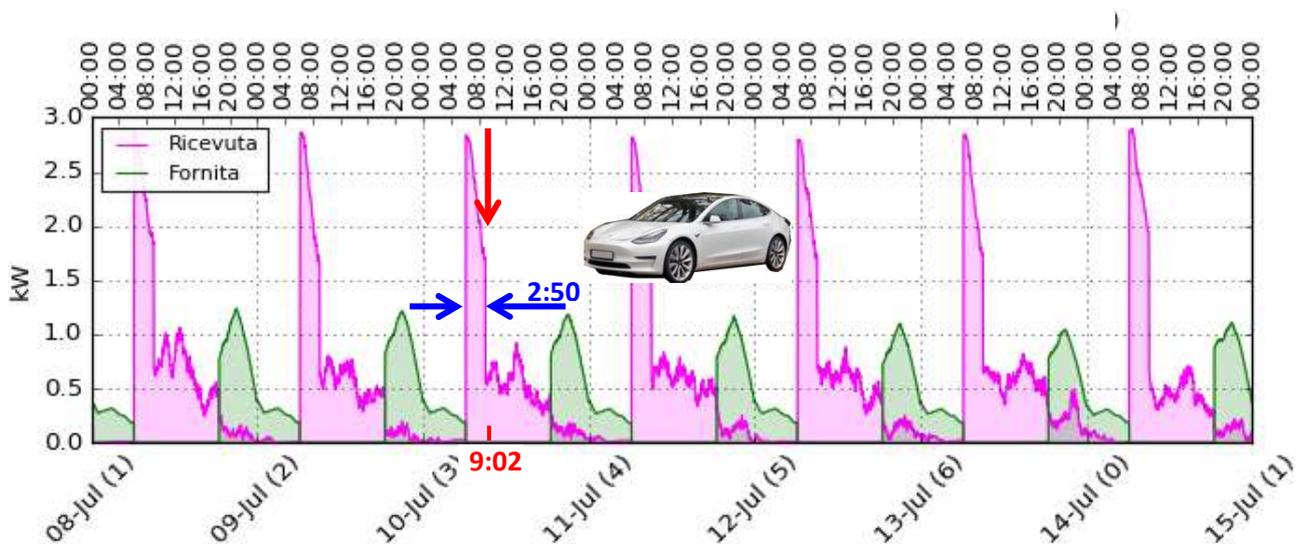


Figura 31. Andamento delle potenze settimanali risultanti per trasferire l'energia: *ricevuta* dal veicolo (magenta) e *fornita* alla casa (verde) per la Tesla Model 3, nel periodo estivo.

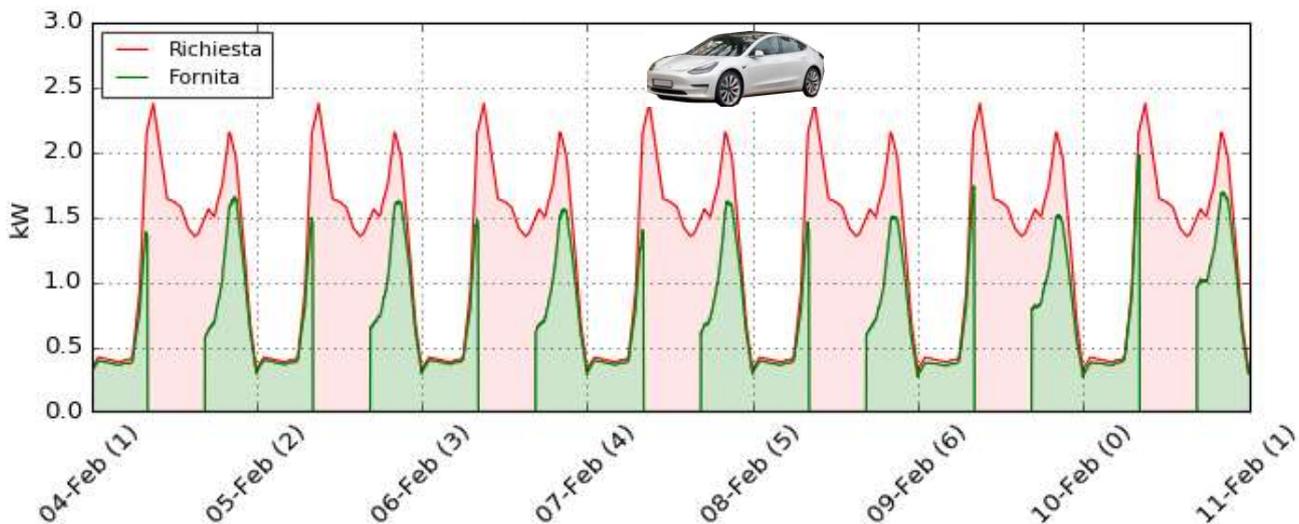


Figura 32. Andamento delle potenze settimanali relative all'energia: *richiesta* dalla casa (rosso) e *fornita* alla casa (verde) per la Tesla Model 3, nel periodo invernale.

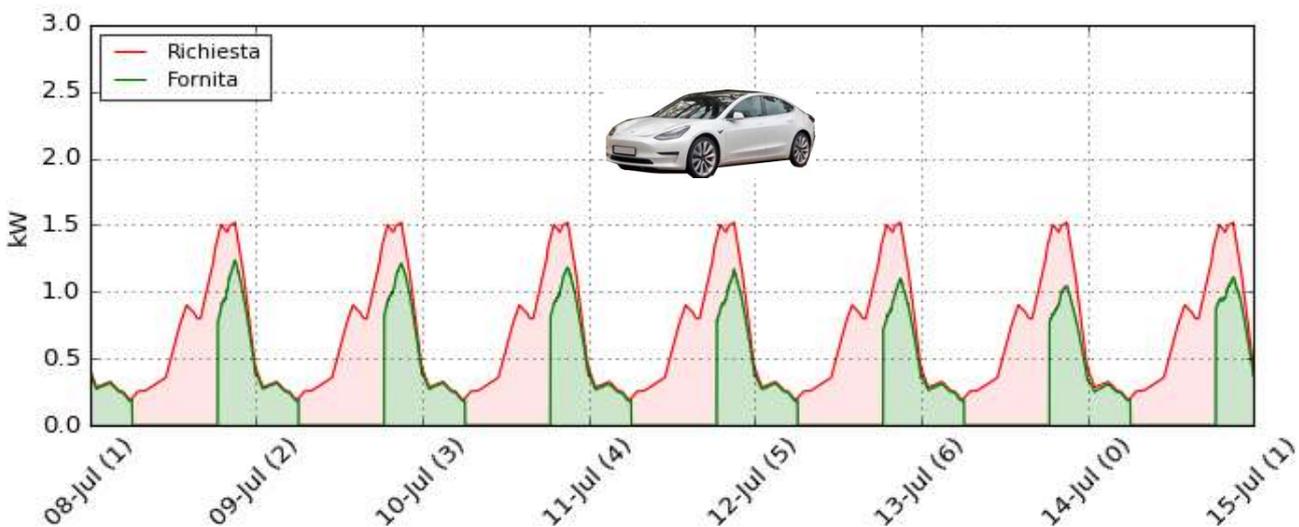


Figura 33. Andamento delle potenze settimanali relative all'energia: *richiesta* dalla casa (rosso) e *fornita* alla casa (verde) per la Tesla Model 3, nel periodo estivo.

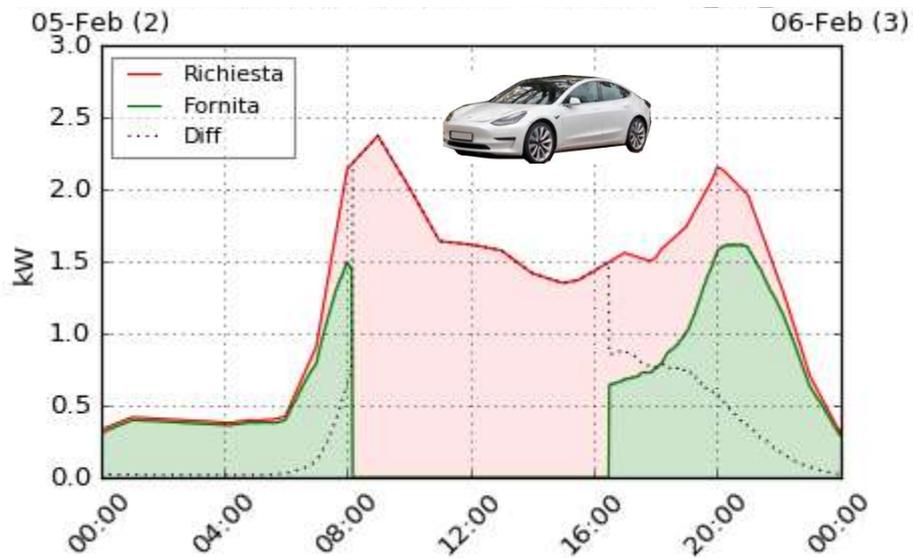


Figura 34. Andamento delle potenze giornaliere relative all'energia: *richiesta* dalla casa (rosso) e *fornita* alla casa (verde) per la Tesla Model 3, nel periodo invernale. La linea tratteggiata rappresenta la differenza tra le due potenze.

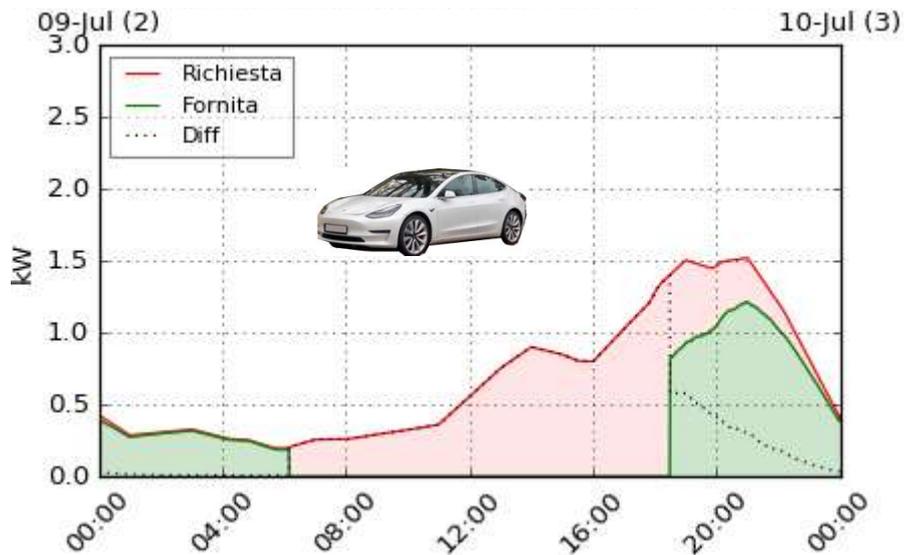


Figura 35. Andamento delle potenze giornaliere relative all'energia: *richiesta* dalla casa (rosso) e *fornita* alla casa (verde) per la Tesla Model 3, nel periodo estivo. La linea tratteggiata rappresenta la differenza tra le due potenze.

1.6.4 Sintesi dei risultati ottenuti e considerazioni finali

Nella Figura 36 è sintetizzato quanto ottenuto dalle simulazioni. Nel grafico di sinistra in celeste è riportata l'energia richiesta mentre in rosso è quella fornita. Nell'ordinata di sinistra è riportata l'energia, in quella di destra la percentuale dell'energia fornita rispetto a quella richiesta. Nel grafico di destra sono riportate le stesse cose per il periodo invernale.

Un'informazione, non prevedibile a priori, che le simulazioni hanno evidenziato è che in alcune fasi della richiesta il veicolo non è in sosta a casa pertanto è impossibile pensare di soddisfare la richiesta al 100%.

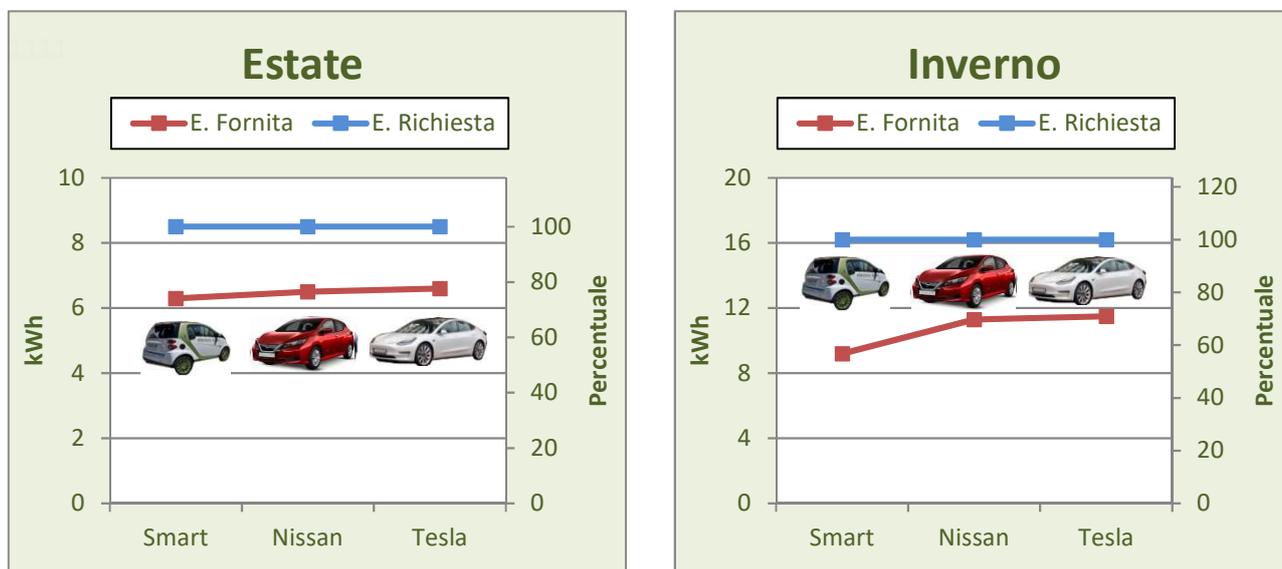


Figura 36. Andamento delle Energie Fornite in Estate (a sinistra) ed in Inverno (a destra) per i 3 VE. La percentuale sull'asse delle ordinate a destra si riferisce all'energia richiesta rispetto a quella fornita.

Nel grafico di sinistra, relativo all'estate, si ottengono buoni risultati perché la richiesta giornaliera è di 8,5 kWh. L'unico VE ad aver una modestissima difficoltà è la Smart.

Gli altri due veicoli riescono a sfiorare l'80% delle richieste, ma ottenere di più non è possibile.

In inverno la richiesta arriva a 16,2 kWh e quindi in questa stagione la capacità netta della batteria della Smart è sotto il valore della richiesta, mentre le capacità delle altre due vetture sono adeguate.

Dal grafico di destra si vede che per il periodo invernale la percentuale di richieste evase vanno dal 57% della Smart al 71% della Tesla.

Comunque il risultato della Tesla è molto buono perché il massimo ottenibile è intorno all'80%.

In sostanza già con una vettura di piccola taglia come la Smart si ottiene un comportamento molto buone in estate e discreto in inverno. Però questo discreto comportamento invernale deriva dall'aver voluto considerare anche l'impianto termico.

2 Conclusioni

Il V2H oltre ad avere degli interessi personali (minor dipendenza dalla rete, vantaggi economici) potrà avere anche interessanti ricadute sulla rete migliorandone le prestazioni e riducendo i costi del dispacciamento.

Si è visto che con i risultati migliori si arriva a soddisfare l'80% della richiesta stabilita. Questi risultati ottenuti sono però riferiti al comportamento medio dell'intera flotta e quindi ci sono casi specifici in cui l'alimentazione alla casa, da parte del VE può avvicinarsi al 100%.

Nel caso che il possessore del VE è l'unico residente nella casa, i suoi consumi, oltre ad essere più bassi, sarebbero prevalentemente richiesti *quando il veicolo è in sosta a casa*.

Come note critiche va comunque evidenziato che l'impianto di carica a casa deve essere bidirezionale. Va ancora sottolineato una cosa in parte fastidiosa che tutte le volte che il veicolo ha un sosta lunga, come quelle di casa o del lavoro, deve sempre connettersi, oltre a *ricordarsi di farlo*. Se è vero che può avvantaggiarsi dei sistemi di ricarica wireless, è anche vero che questi hanno perdite maggiori.

Infine una cosa un po' critica è il maggior degrado della batteria. Nei tre veicoli esaminati il fattore Rib introdotto dice che questo degrado può andare da un valore del 2,57 della Smart fino ad un valore di 2,39 per la Tesla.

Questa criticità non è però particolarmente grave visto che delle odierne batterie, quelle con capacità come la Tesla [25], sono in grado di assicurare delle percorrenze più che doppie rispetto alla vita del veicolo.

Per gli altri veicoli dalle batterie più modeste si può *alleggerire* il V2H concentrando l'alimentazione della casa solo negli istanti quando il costo del kWh raggiunge il massimo della curva o vi è molto prossimo.

Un'altra alternativa è quella di ridurre al V2H, il carico invernale. Infatti il problema della redistribuzione dell'energia è molto forte in estate dove la produzione solare è molto elevata. In inverno il problema della redistribuzione è meno sentito.

Va anche considerato che la capacità delle batterie in dotazione ai VE è in continuo aumento e che si prevede un aumento anche del numero di ricariche massimo che il VE può effettuare nell'arco della sua vita. Quindi le batterie di domani potranno alimentare la casa senza la preoccupazione di doverle sostituire prima del fine vita del VE.

In questo lavoro, avendo operato *su comportamenti reali* del veicolo, si è dimostrato che il veicolo è in grado di mettere a disposizione per altre utenze (in questo caso la Casa) molta energia, senza penalizzare le sue percorrenze.

I risultati hanno mostrato che, senza ricorrere a ricariche veloci e con le attuali batterie, il veicolo riesce a fornire anche qualcosa in più dell'energia che lui stesso consuma per viaggiare.

La ricarica eseguite nelle ore solari favorisce, nell'ipotesi di autoconsumo reale o trasferito tra casa e sede di lavoro, anche un ritorno per l'utente. Nel caso di assenza di autoconsumo il beneficio della tariffa notturna applicata alla ricarica diurna vedrebbe il vantaggio limitato ma assimilabile alla differenza tra ricarica notturna e diurna da aggiungere alla riduzione dei consumi domestici.

In conclusione si può affermare che i risultati ottenuti sono complessivamente incoraggianti visto che già con un VE di piccola taglia si riescono ad ottenere risultati più che accettabili senza ridurre la percorrenza del veicolo.

3 Riferimenti bibliografici

- [1] <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/statistiche/pubblicazioni-statistiche>
- [2] https://download.terna.it/terna/PRODUZIONE-5_8d714f74ef6f6b8.pdf
- [3] <http://dataenergia.altervista.org/portale/?q=taxonomy/term/9>
- [4]<https://www.fueleconomy.gov/feg/PowerSearch.do?action=noform&path=1&year1=2014&year2=2019&vtype=Electric&srctype=newAfv&sortBy=Comb&rowLimit=10&pageno=4&tabView=0>
- [5] <http://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/>
- [6] <https://www.vaielettrico.it/novembre-elettrico-nel-segno-della-smart/>
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_electric_drive
- [8] <https://www.motorionline.com/2018/10/15/smart-eq-fortwo-il-bello-e-il-brutto-dellessere-pionieri-prova-su-strada/>
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/Nissan_Leaf
- [10] https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_3
- [11] G. Giuli, M. Mancini, “Elettromobilità e sistemi di ricarica multi-sorgente”, Report RdS/PAR2014/105 (2015), pp. 17-19
- [12] <http://www.octotelematics.com/it>
- [13] P. Lazzeroni, S. Olivero, M. Repetto, F. Stirano, M. Vallet, “Optimal battery management for vehicle-to-home and vehicle-to-grid operations in a residential case study”, Energy, Volume 175, 15 May 2019, Pages 704-721, Elsevier
- [14] <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.113>
- [15] M. Gallanti, W. Grattieri, S. Maggiore. A. Marino, “Analisi ed evoluzione negli anni delle curve di carico dei clienti domestici”, Energia Elettrica, Novembre 2012
- [16] Ministero dello Sviluppo Economico , “Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici”, Decreto Ministeriale 26/6/2009.
- [17] M. Bianchi, A.D. Pascale, F. Melino, “Performance analysis of an integrated CHP system with thermal and electric energy storage for residential application”, Appl Energy, 112 (2013), pp. 928-938
- [18] P.D. Liddo, P. Lazzeroni, S. Olivero, M. Repetto, V.A. Ricci, “Application of optimization procedure to the management of renewable based household heating & cooling systems”, Energy Procedia, 62 (2014), pp. 329-336
- [19] E. Macchi, S. Campanari, P. Silva, “La microcogenerazione a gas naturale”, (2006), Polipress
- [20] M. Vio, “Impianti di cogenerazione”, Editoriale Delfino (2007)

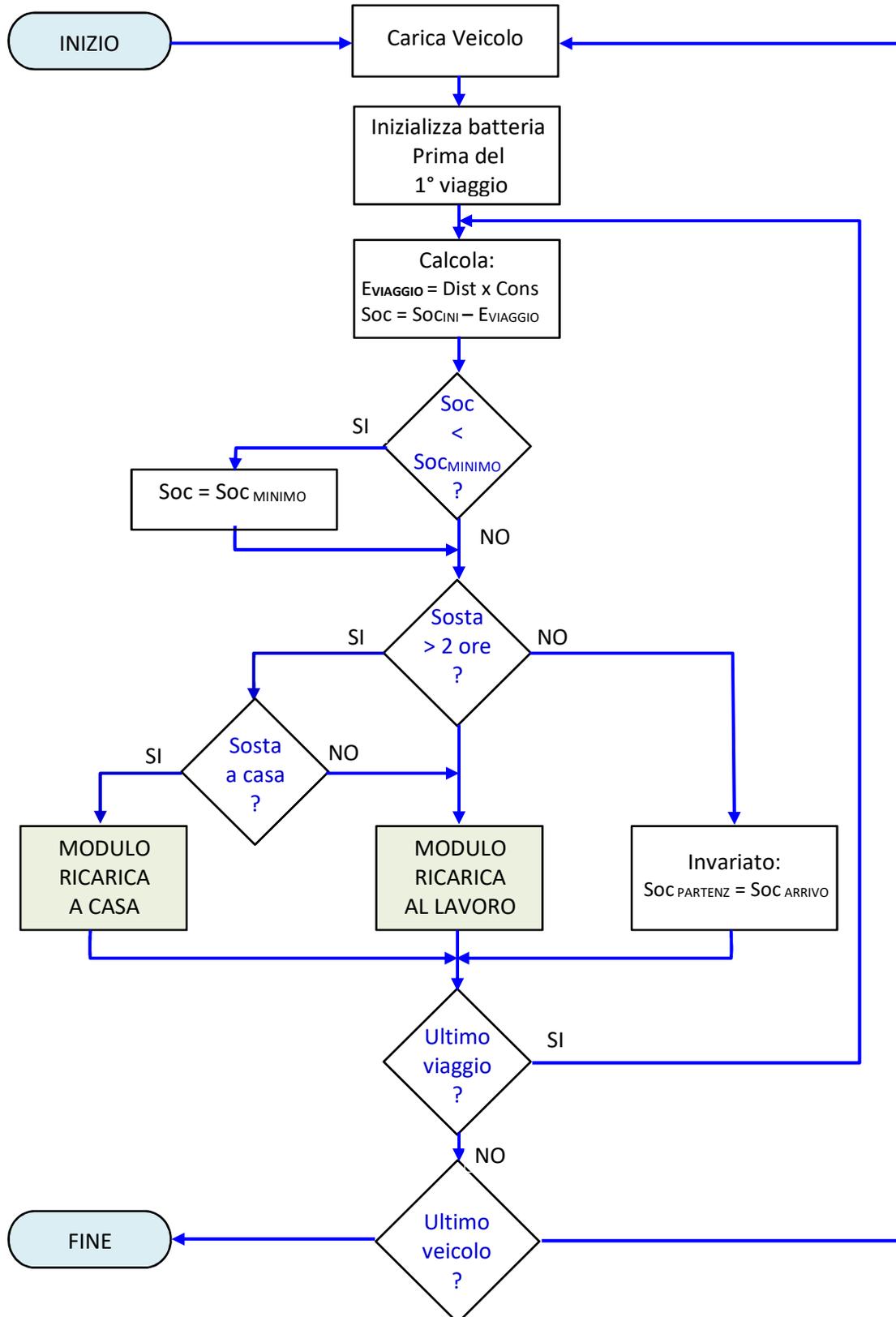
- [21] S. Sibilio, A. D'Agostino, M. Fatigati, M. Citterio, "Valutazione dei consumi nell'edilizia esistente e benchmark mediante codici semplificati: analisi di edifici residenziali", RT ENEA (2009)
- [22] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics#Electricity_prices_for_household_consumers
- [23] <https://insideevs.com/news/326466/100000-mile-nissan-leaf-taxi-shows-only-125-battery-degradation/>
- [24] <https://fullycharged.show/blog/surprisingly-positive-news-on-electric-vehicle-depreciation/>
- [25] <https://www.hdmotori.it/tesla/articoli/n516213/elon-musk-tesla-model-s-maggiore-autonomia/>

4 Abbreviazioni ed acronimi

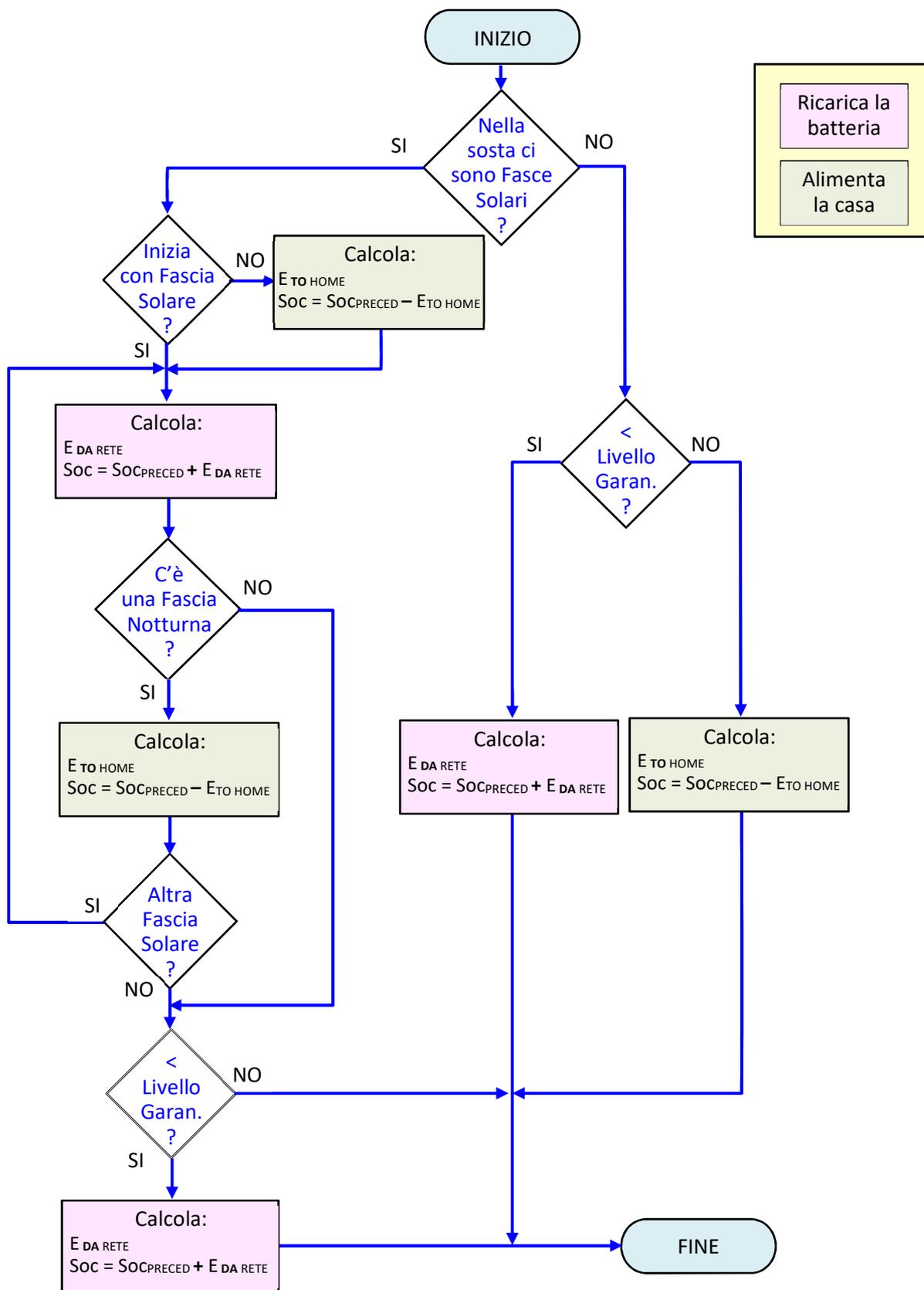
AC	Impianto di Aria Condizionata
EL	Energia Elettrica
FV	Foto Voltaico
PdR	Punti di Ricarica
PV	Pannello foto Voltaico
RI	Impianto di Riscaldamento
Rib	Rapporto Incrementale utilizzo Batteria. Indica quanta energia in più eroga la batteria nel V2H, rispetto alla sola alimentazione del VE
VE	Veicolo Elettrico
V2H	Vehicle To Home

5 Appendice

Grafo di flusso: Programma Principale



Grafo di flusso per la RICARICA a CASA



Grafo di flusso: RICARICA al LAVORO

