



Ricerca di Sistema elettrico

Specifiche per il dimensionamento ottimo del sistema
V2H e algoritmi di gestione ottima in termini energetici
ed economici

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

SPECIFICHE PER IL DIMENSIONAMENTO OTTIMO DEL SISTEMA V2H E ALGORITMI DI GESTIONE OTTIMA IN TERMINI ENERGETICI ED ECONOMICI

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

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità 2021

Obiettivo: Tecnologie

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

Work package: Mobilità

Linea di attività: la 2.18 Modellistica energetica di sistemi V2H: dimensionamento ottimo del sistema ed algoritmi di gestione ottima in termini energetico-economici

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 CARATTERIZZAZIONE TIPOLOGIE DI UTENZE DESTINATARIE DI SISTEMI V2H	7
1.1 CLASSIFICAZIONE DELLE TIPOLOGIE DI UTENZA	7
1.2 CARATTERIZZAZIONE DEI “COMPORTAMENTI ELETTRICI” DI OGNI TIPOLOGIA DI UTENZA	9
2 DIMENSIONAMENTO DI MASSIMA DEL SISTEMA V2H, INDICATORI DI PERFORMANCE ED ALGORITMI DI GESTIONE.....	14
3 IL CODICE DI SIMULAZIONE DINAMICO IN AMBIENTE MATLAB-SIMULINK.....	17
4 PERFORMANCE ATTESE PER SISTEMI V2H AUTONOMI	20
5 PERFORMANCE ATTESE PER SISTEMI V2H INTERCONNESSI A LIVELLO CONDOMINIALE (V2B)	30
CONCLUSIONI	47
APPENDICE A - CURRICULUM VITAE DEL RESPONSABILE SCIENTIFICO PER L’UNIVERSITÀ DELL’AQUILA - CITRAMS	48

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 sull'interazione "Vehicle-To-Home": sistemi V2H). Queste applicazioni però, seppur certamente più semplici in termini realizzativi ed installabili senza particolarità necessità di opere infrastrutturali a livello urbano, hanno margini di efficacia ed applicabilità più ristretti, sia in termini energetici, sia in termini economici. Ciò è dovuto alla tendenziale coincidenza della connessione del veicolo alla stazione di ricarica con periodi di ridotto consumo, scarsa producibilità da fonte rinnovabile e scarsa valorizzazione economica della energia elettrica messa a disposizione dai sistemi di accumulo veicolari.

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

Tutto ciò premesso, in questa relazione si riportano in maniera sintetica i risultati relativi ad una ampia attività di ricerca volta alla identificazione degli ambiti più promettenti (tipologie di utenti e di "comportamenti elettrici" domestici), al dimensionamento di massima di sistemi V2H (anche in ambito condominiale: V2B, Vehicle-To Building) e dei relativi algoritmi di gestione.

Per tutti questi obiettivi, come descritto nella relazione, è stato realizzato uno strumento di simulazione in ambiente Matlab-Simulink che potrà essere anche in seguito utilizzato efficacemente in una pluralità di situazione e per numerosi obiettivi di ricerca. Tale strumento è esso stesso un deliverable di valore di questa linea di Ricerca.

Introduzione

Gli attuali sistemi di trasporto e le relative infrastrutture di servizio sono basati principalmente sui motori termici e sulle fonti fossili. Ciò li rende certamente non sostenibile nel medio-lungo termine, specie in ambito urbano, 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 infatti solamente ad un allontanamento sull'orizzonte temporale del punto di non ritorno da un punto di vista ambientale. Si rende pertanto indispensabile 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, in primo luogo per abbattere l'inquinamento prodotto dai trasporti in ambito urbano, ed, in secondo luogo, per identificare nuovi utilizzi sostenibili per le fonti rinnovabili elettriche (Fotovoltaico, Eolico, Idraulico, Biomasse) aumentando la sostenibilità del nostro intero sistema energetico.

Una mobilità basata esclusivamente sull'energia elettrica, unita allo sviluppo ed affermazione in parallelo della produzione energetica da fonti rinnovabili, garantirebbe infatti un netto miglioramento da un punto di vista ambientale e annullerebbe i problemi derivanti dall'utilizzo massivo delle fonti fossili. L'utilizzo di queste ultimi potrebbe quindi essere limitato alle esigenze che il vettore energia elettrica ha più difficoltà a soddisfare, ad esempio al trasporto persone e merci su gomma per la lunga percorrenza (settore la cui sostenibilità è ad oggi certamente migliorabile più efficacemente tramite altri vettori energetici, quali ad esempio i bio-combustibili).

Il passaggio massivo alla nuova mobilità elettrica presenta ad ogni modo notevoli criticità e problematiche inedite da affrontare. Perché essa risulti da subito efficace ed abbia maggior credito presso l'utenza è necessario perciò approntare fin da subito accorgimenti che massimizzino la convenienza del prodotto per il cliente, contribuendo nel contempo a mitigare le insorgenti problematiche di sistema a livello di rete elettrica Nazionale.

In particolare, 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 cosiddette Smart Electric Grids, reti elettriche interconnesse ed intelligenti. In linea di principio, queste ultime sono formate da diversi nodi, rappresentanti le abitazioni dotate di sistemi di produzione elettrica basati su fonti rinnovabili, come il fotovoltaico, ma anche di utenze elettriche via via crescenti (Riscaldamento, climatizzazione, ricarica di veicoli elettrici). 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.

In questo scenario, le tecnologie V2H prevedono l'utilizzabilità del veicolo elettrico come temporaneo sistema di accumulato, sia in modo MOD-DIREZIONALE, stoccando l'energia prodotta localmente in eccesso, sia, auspicabilmente, con funzionalità pienamente BI-DIREZIONALI, permettendo anche la messa a disposizione di energia per il soddisfacimento di una domanda domestica locale (specie in caso di non prevedibilità di un rapido utilizzo del veicolo).

Queste azioni possono risolvere buona parte dei problemi attuali che la rete elettrica Nazionale deve fronteggiare per permettere l'immissione in consumo di enormi (e sempre crescenti) quantità di Energia Elettrica Rinnovabile Non Programmabile. Questi aiuti locali che l'intero Sistema Elettrico può ricevere in tal modo dalla Mobilità Elettrica e dalle sue infrastrutture potranno limitare fortemente gli enormi investimenti altrimenti inevitabili per l'installazione di sistemi di accumulo locali o centralizzati dedicati ai servizi di rete.

E' quindi certo che qualunque soluzione locale che permetta l'incremento della concentrazione temporale e della prevedibilità temporale dei piani di prelievo di energia elettrica da parte delle utenze domestiche

riceverà forti incentivi economici, direttamente in bolletta o in altre forme ancora da definire dal mercato e/o tramite la finanza pubblica.

A partire da tali considerazioni, e sulla base anche delle attività dei primi due anni di questa linea di ricerca, in questa relazione si riportano in maniera sintetica i risultati relativi ad una ampia attività di ricerca volta alla identificazione degli ambiti più promettenti (tipologie di utenti e di “comportamenti elettrici” domestici), al dimensionamento di massima di sistemi V2H (anche in ambito condominiale: V2B, Vehicle-To Building) e dei relativi algoritmi di gestione.

Pur tutti questi obiettivi, come descritto nella relazione, è stato realizzato uno strumento di simulazione in ambiente Matlab-Simulink che potrà essere anche in seguito utilizzato efficacemente in una pluralità di situazione e per numerosi obiettivi di ricerca. Tale strumento è esso stesso un deliverable di valore di questa linea di Ricerca.

1 Caratterizzazione tipologie di utenze destinarie di sistemi V2H

1.1 Classificazione delle tipologie di utenza

In continuità con quanto già fatto nelle precedenti annualità di progetto, anche in questa attività di ricerca le possibili utenze sono state categorizzate in 5 gruppi distinti, ai quali vengono dati i nomi di:

- **#1 - “Office-Workers”**: nella categoria rientrano tutte quelle utenze e nuclei familiari che fanno dell’abitazione un uso prevalente assimilabile a quello che ne farebbe un lavoratore d’ufficio. In questo caso non è prevedibile che l’abitazione sia abitata tra le 8 e le 17 di ogni giorno feriale e che quindi una eventuale auto elettrica di proprietà possa essere connessa alla rete nella stessa fascia oraria (come rappresentato in Figura 1);
- **#2 - “Smart-Workers”**: nella categoria rientrano tutte quelle utenze e nuclei familiari che fanno dell’abitazione un uso prevalente assimilabile a quello che ne farebbe uno Smart-Worker. In questo caso è prevedibile che l’abitazione sia abitata quasi con continuità, e che quindi si possa immaginare che una eventuale auto elettrica di proprietà sia connettibile alla rete quasi per la totalità della giornata (Figura 1);
- **#3 – Turnisti “Morning-Workers”**: nella categoria rientrano tutte quelle utenze e nuclei familiari che fanno dell’abitazione un uso prevalente assimilabile a quello che ne farebbe un lavoratore turnista mattutino. In questo caso non è prevedibile che l’abitazione sia abitata tra le 6 e le 14 di ogni giorno feriale, né che un auto possa essere immaginata connessa alla rete in quella fascia oraria (Figura 1);
- **#4 – Turnisti “Afternoon-Workers”**: nella categoria rientrano tutte quelle utenze e nuclei familiari che fanno dell’abitazione un uso prevalente assimilabile a quello che ne farebbe un lavoratore turnista pomeridiano. In questo caso non è prevedibile che l’abitazione sia abitata tra le 14 e le 22 di ogni giorno feriale, né che un auto possa essere immaginata connessa alla rete in quella fascia oraria (Figura 1);
- **#5 – Turnisti “Nocturne-Workers”**: nella categoria rientrano tutte quelle utenze e nuclei familiari che fanno dell’abitazione un uso prevalente assimilabile a quello che ne farebbe un lavoratore turnista notturno. In questo caso non è prevedibile che l’abitazione sia abitata tra le 22 e le 8 di ogni giorno feriale, né che un auto possa essere immaginata connessa alla rete in quella fascia oraria (Figura 1).

Questi comportamenti tipici delle cinque tipologie di utenze descritte si interrompono durante i giorni pre-festivi e festivi, nei quali i comportamenti delle utenze tendono ad essere tutti simili. In particolare, a puro titolo esemplificativo, in queste simulazioni si è immaginato che le famiglie lascino prevalentemente le loro abitazioni nelle giornate pre-festive, mentre tendano ad essere più presenti nelle abitazioni nei giorni festivi.

Unendo questa ipotesi alle caratteristiche già descritte per le singole tipologie di utenza è possibile ottenere un piano settimanale (e poi annuale) ipotetico di connessione alla rete di auto elettriche eventualmente nelle loro disponibilità. Tale piano settimanale è riportato in Figura 2.

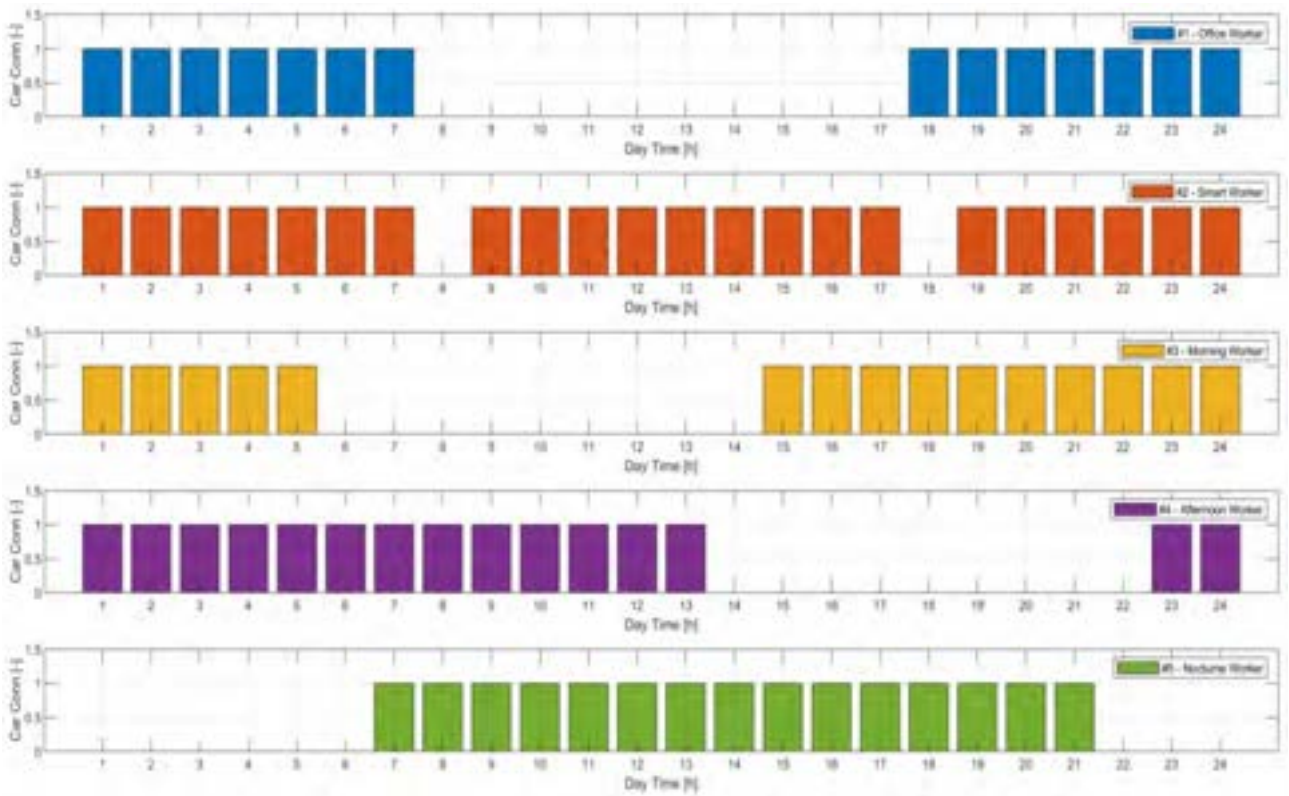


Figura 1: Orario Giornaliero di Connessione alle apparecchiature di ricarica per le varie tipologie di utenza

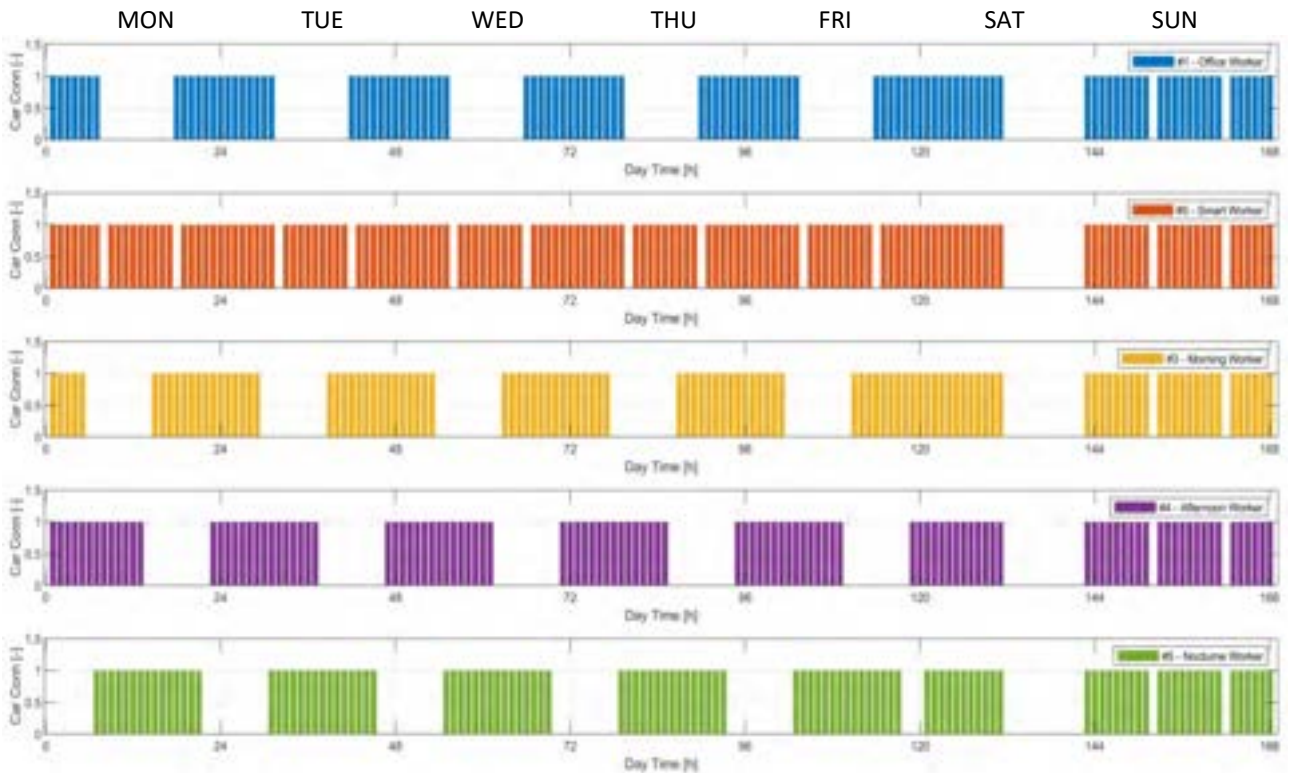


Figura 2: Orario Settimanale di Connessione alle apparecchiature di ricarica per le varie tipologie di utenza

1.2 Caratterizzazione dei “comportamenti elettrici” di ogni tipologia di utenza

A ciascuna delle tipologie di utenza identificate si è proceduto ad associare un “Comportamento elettrico” atteso, rappresentato dalla somma dei consumi e delle produzioni elettriche attribuibili all’utenza stessa.

A livello di consumi domestici è conveniente distinguere tra quella parte di consumi che, almeno in una ipotesi di prima approssimazione, siano attivati in funzione della presenza degli individui nell’abitazione (come elettrodomestici ed apparecchiature elettriche/elettroniche) e quelli che invece, sempre in prima approssimazione, si possano ritenere indipendenti dall’occupazione stessa dell’abitazione (ad esempio le necessità di energia elettrica connesse all’utilizzo di sistemi di riscaldamento e refrigerazione elettrica delle abitazioni).

Limitando per ora l’attenzione alla prima categoria di utenze domestiche, si è costruito il piano di consumo elettrico giornalieri feriale per le varie utenze riportato in Figura 3.

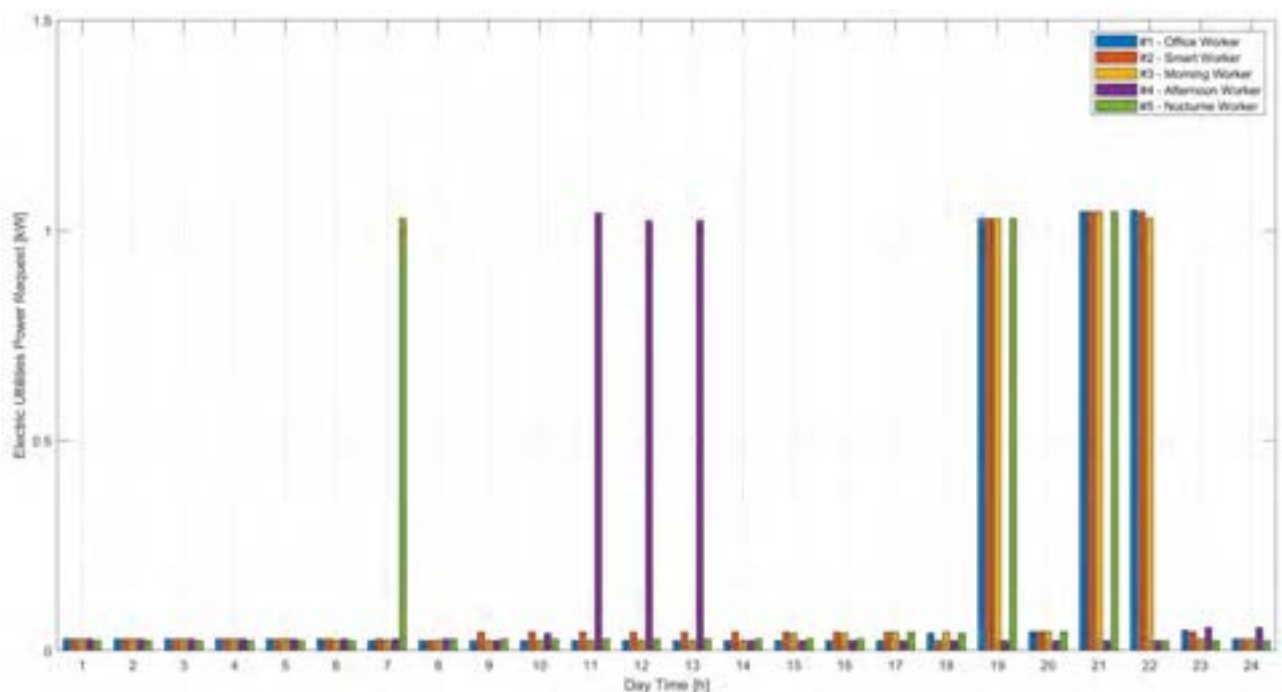


Figura 3: Potenza giornaliera richiesta per gli apparecchi elettrici domestici per le varie tipologie di utenze

Per un maggior dettaglio di come sia stato ricostruito questo piano di prelievo si rimanda alla relazione di attività relativa alla scorsa annualità.

Venendo invece alle utenze medie necessarie per l’implementazione di sistemi di riscaldamento e refrigerazione elettrica delle abitazioni si è fatto qui riferimento a dati medi reperibili in letteratura per una abitazione di media dimensione. Per semplicità e per integrabilità dei risultati qui ottenuti con altre analisi fatte da altri partner di progetto, si è fatto in particolare riferimento a prospetti di consumo già utilizzati anche dall’ENEA nelle attività della scorsa annualità di progetto.

In Figura 4 vengono riportati su base oraria i consumi elettrici necessari per il riscaldamento invernale tramite sistemi a Pompa di Calore (PC), in BLU, ovvero quelli necessari per la refrigerazione abitativa estiva (AC).

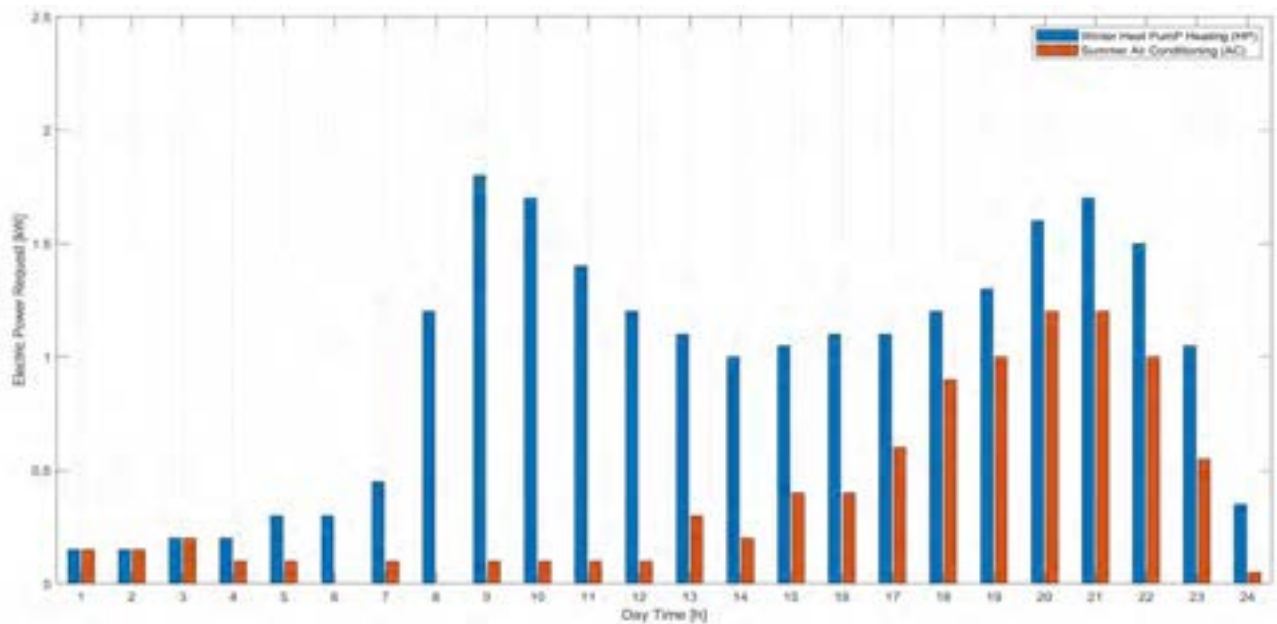


Figura 4: Potenza richiesta per il riscaldamento invernale ed il condizionamento estivo

Questi consumi possono essere sommati a quelli dovuti agli elettrodomestici ed alle apparecchiature elettriche/elettroniche per ottenere un piano di consumo annuale. In Figura 5 questo piano viene dettagliato con riferimento a 4 settimane tipo nelle differenti stagioni dell'anno in funzione della presenza dei carichi di riscaldamento e refrigerazione.

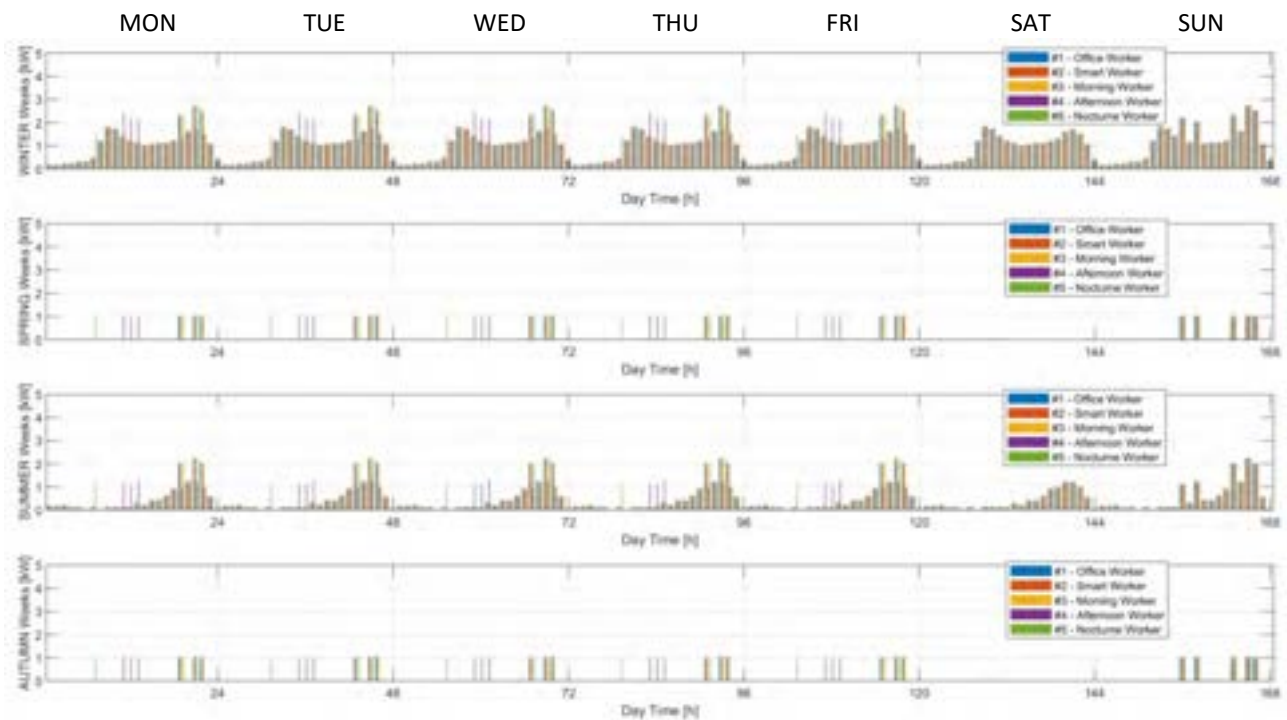


Figura 5: Potenza elettrica Settimanale totale richiesta nelle varie stagioni e per le varie tipologie di utenze

In tutte le analisi che seguiranno relativi alla valutazione di applicabilità di sistemi V2H si farà riferimento ad abitazioni in cui i consumi complessivi siano quelli riportati in Figura 5. Ciò poiché, come già mostrato nella attività dello scorso anno, in assenza di consumi elettrici locali significativi, l'appetibilità di sistemi V2H diviene senz'altro molto meno rilevante.

Allo stesso modo si farà riferimento esclusivo ad abitazioni che possano contare su una produzione di energia elettrica locale da fotovoltaico (PV) di media entità. Anche questa ipotesi di studio è ampiamente supportata dalle analisi preliminari dello scorsa annualità di progetto. Per ogni abitazioni si ipotizza in particolare l'installazione di un impianto fotovoltaico con una potenza nominale di 4kW. In Figura 6 viene riportata una stima dell'energia producibile da un simile impianto in un anno medio in località L'Aquila (sufficientemente rappresentativa del contesto medio Nazionale).

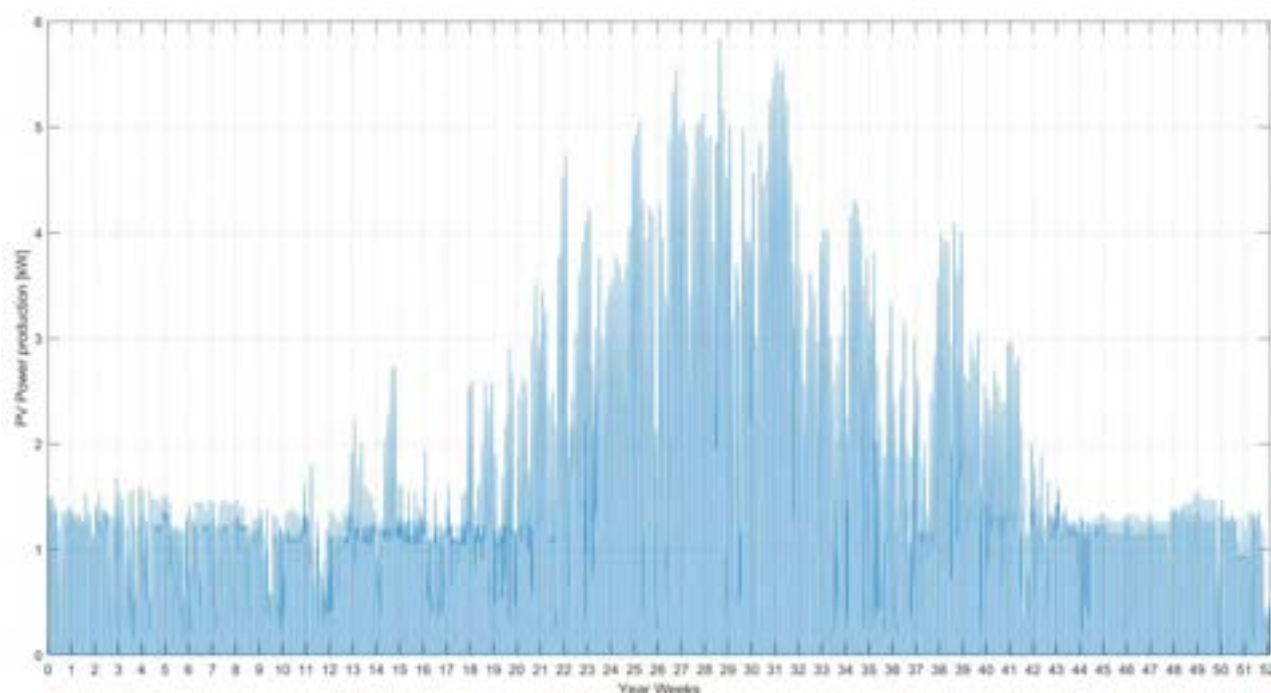


Figura 6: Potenza producibile da un impianto PV residenziale durante l'anno

In maggiore dettaglio, nella seguente Figura 7 vengono riportati in diversi colori gli andamenti orari tipici riscontrabili in quattro giornate tipo delle quattro stagioni.

Confrontando questi andamenti con quelli di Figura 4 si può dedurre come solo parzialmente (specie in estate) la produzione da PV possa essere messa a servizio locale delle utenze locali connessi ai sistemi HVAC elettrici (favorendo quindi l'autoconsumo della energia da PV).

Analogamente, specie in inverno, in molte ore della giornata le necessità impiantistiche possano risultare sensibilmente maggiori delle disponibilità locali da PV.

E' noto che per ovviare a questi problemi e favorire la concentrazione temporale e della prevedibilità temporale dei piani di prelievo di energia elettrica da parte delle utenze domestiche (senza gravare sulla Rete elettrica Nazionale) diviene infatti oggi quasi imprescindibile l'installazione parallela di sistemi di accumulo di adeguata energia insieme agli impianti PV (a tal fine sono già previsti anche notevoli incentivi fiscali da parte dello Stato). In questa analisi però non è stata prevista l'installazione di tali sistemi per due evidenti ragioni: la prima è che esistono numerosissimi impianti PV ad oggi installati in Italia (prevalentemente nel periodo 2010-2015) che non sono provvisti di sistemi di accumulo; la seconda ragione è che tali tecnologie sono, nei fatti, quasi alternative ai sistemi V2H oggetto della presente analisi. L'obiettivo di questa analisi è, anzi, proprio la valutazione della possibilità di limitare l'installazione di tali sistemi in ragione dell'utilizzo di allo stesso fine di sistemi di accumulo mobili già disponibili per finalità di mobilità veicolare.

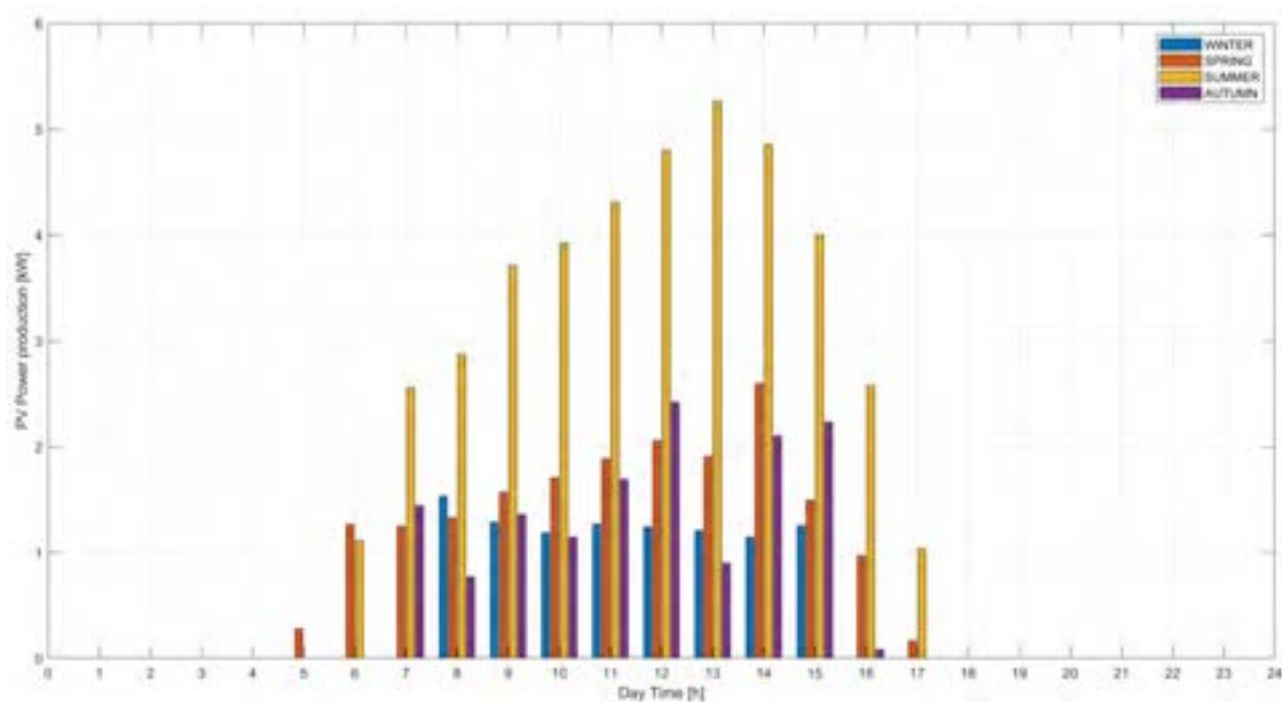


Figura 7: Potenza producibile da un impianto PV residenziale in un giorno medio al variare delle stagioni

2 Dimensionamento di massima del Sistema V2H, indicatori di performance ed algoritmi di gestione

Una volta definita completamente l'utenza di riferimento ed ipotizzata la disponibilità di un sistema di accumulo di una certa capacità connesso temporaneamente alla rete locale, è necessario stabilire un algoritmo di controllo della infrastruttura di connessione finalizzato all'ottimizzazione prestazionale del sistema nel suo complesso.

Da questo punto di vista sarebbe davvero numerosissime le ipotesi di lavoro, dalle più semplici alle più avveniristiche. Tutte però devono confrontarsi con i vincoli connessi alla loro realizzabili in dispositivi che, essendo destinati ad una piccola utenza domestica, dovranno essere a basso costo e di semplice utilizzabilità. Si ricorda inoltre che l'intera linea di attività in cui questa relazione progettuale viene ad inserirsi è destinata alla realizzazione di una infrastruttura di ricarica Wireless induttiva con funzionalità V2H, ipotesi che limita ulteriormente l'applicabilità di algoritmi dinamici avanzati (ed anche il potenziale beneficio connesso al loro utilizzo), anche per le limitate potenze in gioco in sistemi induttivi.

Per fissare le idee a questo riguardo, si riportano qui alcune ipotesi di fondo che sono state utilizzate nelle analisi che seguiranno:

- Si è ipotizzato che il sistema a bordo dei veicoli sia di **40 kWh**;
- Si è ipotizzato che il veicolo abbia un consumo medio giornaliero di circa **12,8 kWh**, come conseguenza di circa 50 km di percorrenza giornaliera su un veicolo di media taglia;
- Si è ipotizzato che la massima potenza erogabile (in entrambi i versi) dal sistema V2H sia di **4kW**;

Prima di analizzare in maggiore dettaglio il funzionamento dell'algoritmo proposto, riteniamo utile ricordare quale sia l'obiettivo primario che il sistema di gestione dovrà perseguire e quindi quali saranno gli indicatori energetici sui quali potremo definire le performance operative del sistema.

Anche a questo riguardo merita di essere sottolineato che, anche se dal punto di vista squisitamente teorico, sarebbe possibile utilizzare approcci molto avanzati con funzionali di ottimizzazione del sistema comunque complessi, molti di questi sarebbe oggi (ma anche nel medio futuro) non implementabili con successo nella pratica, non solo per vincoli tecnologici, ma anche contrattuali e di fornitura locale.

Riteniamo, ad esempio, improprio pensare di utilizzare negli algoritmi dei funzionali che pesino i flussi energetici puntuali in dare/avere con la rete in funzione del valore medio atteso di quella energia in ogni ora del giorno (ma anche giorno della settimana e mese dell'anno), perché non esistono (anche per vincoli legali e contrattuali) contratti di utenza attivabili da utenti domestici che possano tenere in conto di questi aspetti in questo dettaglio.

E' invece possibile (e nella realtà già praticato da tutti i fornitori locali) prevedere forti sconti (da contrattare in funzione dei casi) a fronte di una concentrazione del prelievo di energia in fasce orarie ristrette. Ciò poiché la prevedibilità del prelievo assume, dal punto di vista del distributore locale, un valore economico molto forte in maniera ad oggi quasi indipendente (o dipendente solo in seconda istanza) dalle fasce orarie nelle quali l'utente si impegna a concentrare i propri prelievi.

Tutto ciò considerato si ritiene che l'obiettivo principale di un qualunque sistema di gestione possa essere l'ottimizzazione, se possibile combinata dei due seguenti indicatori di performance:

- **PV Auto-Consumption Ratio:** rappresenta la frazione di produzione PV che non deve essere riversata sulla rete, perché trova un consumo locale disponibile. Questo rapporto parte da un valore “base” conseguente all’incrocio locale tra offerta da PV e domanda locale di energia, ma può essere incrementato implementando funzionalità di ricarica V2H del veicolo elettrico. In questo caso, un beneficio può essere ottenuto anche tramite la sola implementazione di funzionalità V2H MONO-DIREZIONALI, che guardino cioè alla sola possibilità di modulazione temporale delle operazioni di ricarica.
- **Home Auto-Feeding Ratio:** rappresenta la frazione di consumo domestico complessivo (esclusa la ricarica del sistema di accumulo) che viene alimentato da sistemi locali (PV e/o Sistema di accumulo in fase di scarica). Anche in questo caso, il rapporto parte da un valore “base” conseguente all’incrocio locale tra offerta da PV e domanda locale di energia, ma può essere incrementato solo implementando funzionalità di scarica V2H del veicolo elettrico, e quindi richiede l’utilizzo di tecnologie V2H più avanzate, pienamente BI-DIREZIONALI.

Tutto ciò premesso e considerato si propone qui un algoritmo di controllo che si ritiene possa contemperare in maniera ottimale le esigenze di complessità (e quindi performance attese) e realizzabilità sul prototipo in realizzazione (nonché sulle future prossime tecnologie sul mercato).

Tale algoritmo è sinteticamente schematizzato nella seguente Figura 8.

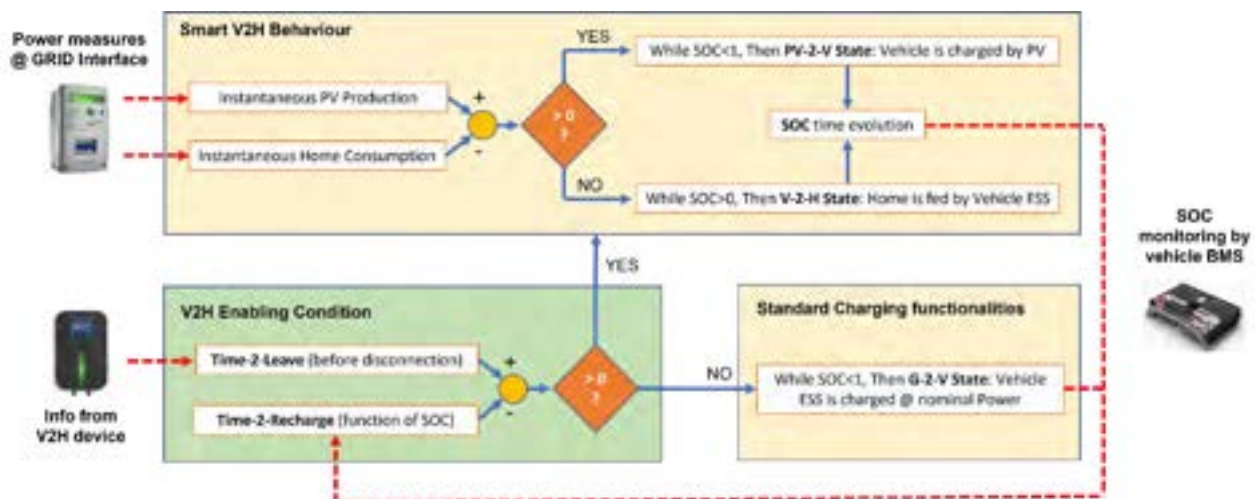


Figura 8: Algoritmo proposto per la gestione ottima del sistema

La logica principe di gestione che è alla base di questo algoritmo è il soddisfacimento di una pre-condizione per la quale il dispositivo possa abilitare le funzionalità V2H disponibili (Mono o BI-DIREZIONALI).

Questa condizione si basa sul confronto tra due intervalli di tempi, costantemente calcolati e monitorati dall’algoritmo di controllo.

- **Time-2-Leave:** rappresenta l’intervallo di tempo rimanente prima del distacco previsto del veicolo dall’infrastruttura. Ovviamente il calcolo di questo dato presuppone una “collaborazione” tra l’infrastruttura e l’utente che deve in pratica comunicare alla infrastruttura di ricarica l’orario atteso per il successivo prelievo del veicolo. E’ evidente che qualora l’utente prelevi prima il veicolo potrebbe non trovarlo pienamente carico, mentre lasciarlo connesso dopo l’orario di prelievo impedirà l’utilizzo in quelle ore di funzionalità V2H che avrebbero potuto invece essere implementate, e quindi non permetterà al sistema di ottimizzare le sue prestazioni.

- **Time-2-Recharge:** rappresenta l'intervallo di tempo necessario stimato dal sistema (stante lo SOC misurato in quel momento per il sistema) per la ricarica completa del sistema stesso.

In pratica, l'algoritmo permetterà l'implementazione di funzionalità V2H solo nelle fasi temporali in cui **Time-2-Leave > Time-2-Recharge**. In caso contrario, entrerà in modalità standard caricando il veicolo alla potenza nominale prevista.

Se invece le funzionalità V2H risultino realizzabili, il sistema, tramite un dialogo con i contatori relativi all'impianto PV ed all'utenza residenziale, effettuerà un confronto tra i due valori istantanei e provvederà a seconda dei casi e delle funzionalità V2H implementate:

- Alla ricarica dell'accumulo tramite energia solare, fino al massimo della sua potenza nominale in ricarica, **(Stato PV-2-V del sistema)**, finché l'accumulo non raggiunga la piena carica.
- Alla scarica dell'accumulo per alimentare carichi locali residui, fino al massimo della sua potenza nominale in scarica, **(Stato PV-2-V del sistema)**, finché l'accumulo non sia completamente scarico o non raggiunga uno stato di carica minimo definibile dall'utente.

Per implementare la sopra descritta strategia di controllo sul sistema di ricarica è necessario un sistema "embedded" su un chip con una opportuna scheda di I/O. Nel caso del prototipo in realizzazione invece si dovrà preliminarmente sperimentare e testare tutte le funzionalità del sistema tenendo anche eventualmente sotto controllo altri parametri operativi relativi al monitoraggio dei convertitori realizzati.

Si fa qui presente a tal fine che l'unità dell'Aquila in questo anno di attività, aldilà di quanto fosse previsto nel piano di realizzazione ha provveduto ad acquisire con fondi propri una strumentazione (detta "Speed-Goat Baseline real-time target Machine" e rappresentata nella Figura 9) assolutamente idonea a tal fine, equipaggiata con un Sistema operativo Real-Time (totalmente programmabile in ambiente Matlab-Simulink su un generico Host-PC), scheda di acquisizione dati in analogici dal campo, e due schede CAN per il dialogo con altre centraline di sistema già presente sui singoli dispositivi della rete.

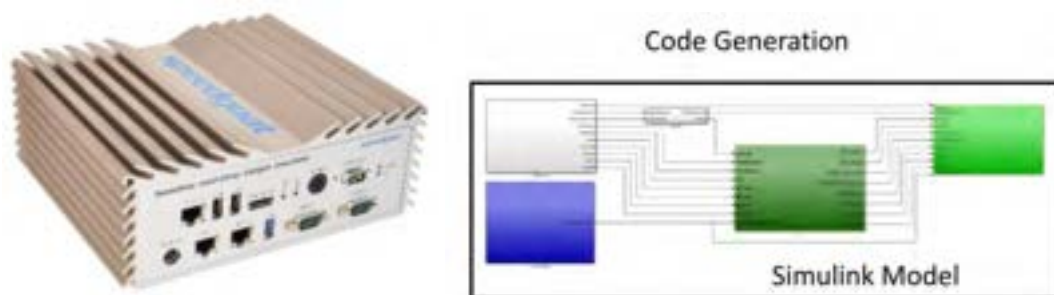


Figura 9: Strumentazione acquisita per l'implementazione sul prototipo dell'algoritmo di gestione proposto

3 Il Codice di simulazione dinamico in ambiente Matlab-Simulink

A partire da tutte le ipotesi progettuali sopra descritte, come previsto dal PAR (Piano Annuale di Realizzazione) delle attività oggetto di questa relazione, si è quindi proceduto alla realizzazione di un SW per la stima dei benefici attesi nell'utilizzo di sistemi V2H opportunamente dimensionati.

Lo strumento di simulazione è stato realizzato in ambiente Matlab-Simulink con un approccio modulare ed assolutamente intuitivo e user-friendly, dovendo esso stesso un deliverable di valore di questa linea di Ricerca. Stanti le sue caratteristiche, esso potrà essere anche in seguito utilizzato efficacemente in una pluralità di situazione e per numerosi obiettivi di ricerca.

Nella seguente Figura 10, è riportata la schermata iniziale del SW. Come si vede esso presenta tre sezioni distinte in cui definire le caratteristiche dell'utenza, dell'impianto fotovoltaico e del sistema V2H in progetto

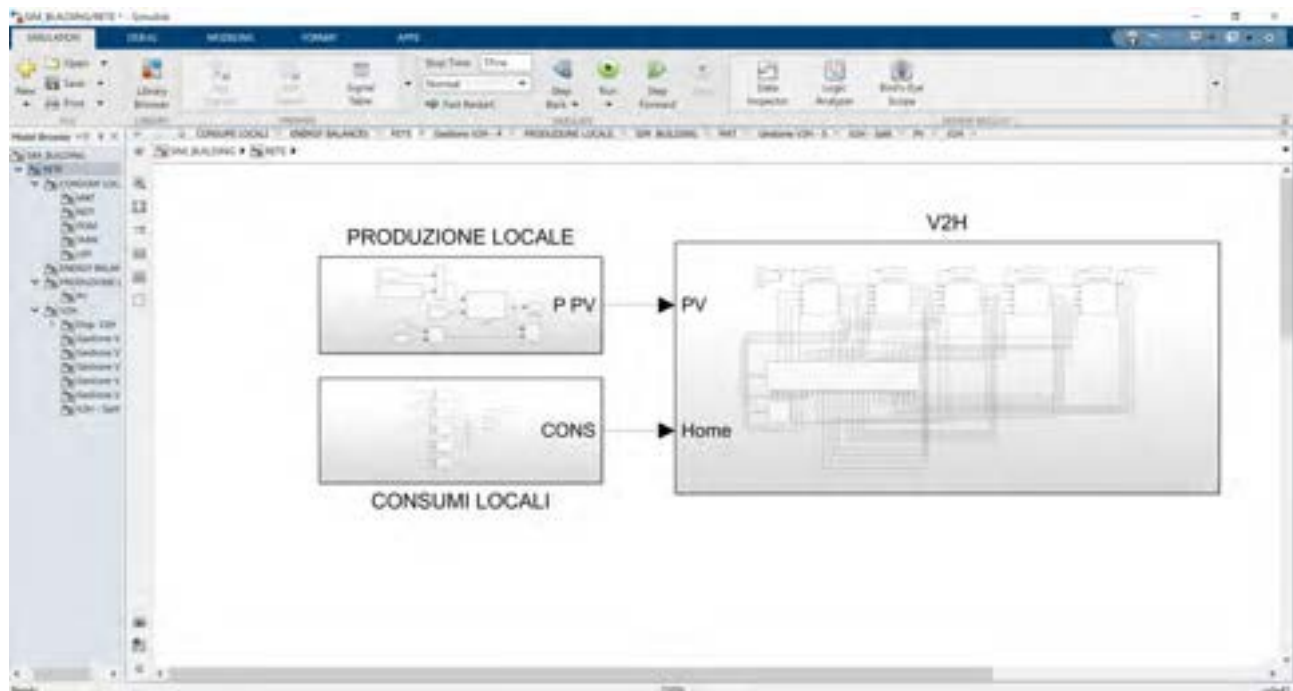


Figura 10: Schermata complessiva del SW di simulazione realizzato in ambiente Simulink

Come riportato nelle seguente Figura 11, è stato inoltre realizzato un pratico pannello di controllo del SW che permette in un'unica schermata, di visualizzare e/o modificare i principali parametri operativi necessari nella definizione del caso da simulare, ma anche di monitorare, durante la simulazione, i principali risultati dinamici o integrali, della simulazione stessa.

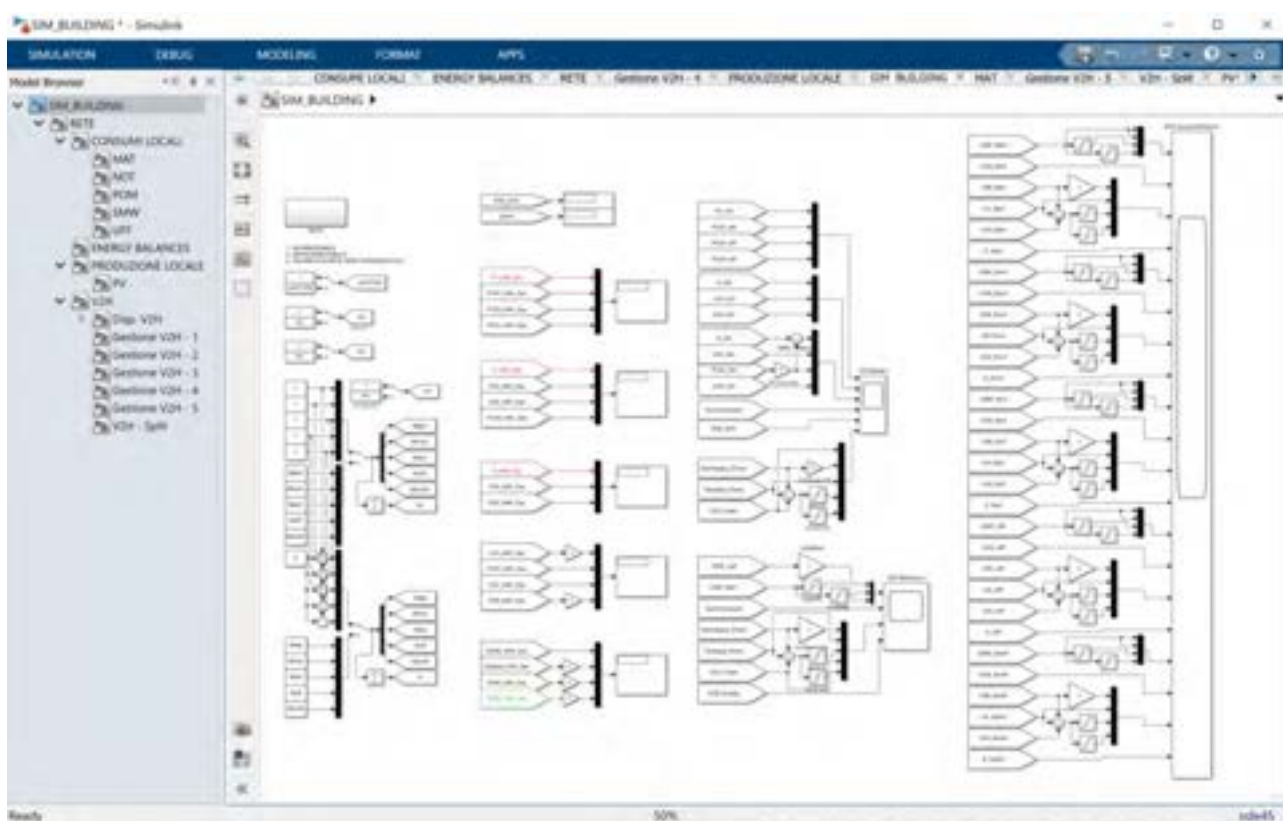


Figura 11: Pannello di controllo generale del SW di simulazione per la ricostruzione degli scenari e la valutazione in essi delle performance operative di sistemi di accumulo singoli gestiti tramite flussi bi-direzionali modulabili (V2H), o multipli e interconnessi al servizio di una utenza multipla condominiale (V2B)

All'interno del SW, ovviamente, tramite un approccio a blocchi tipico della programmazione in ambiente Simulink, sono state definiti tutti i legami funzionali tra i vari elementi della rete. A tal fine si è dovuta modellare anche la strategia di gestione del sistema V2H descritta nel paragrafo precedente in modo da valutarne l'efficacia in un ampio numero di situazioni simulate, diverse per tipologia di utenza e funzionalità implementate nella stazione V2H. La Figura 12, in particolare, riporta lo schema a blocchi relativo alla programmazione tramite oggetti della strategia di controllo ipotizzata.

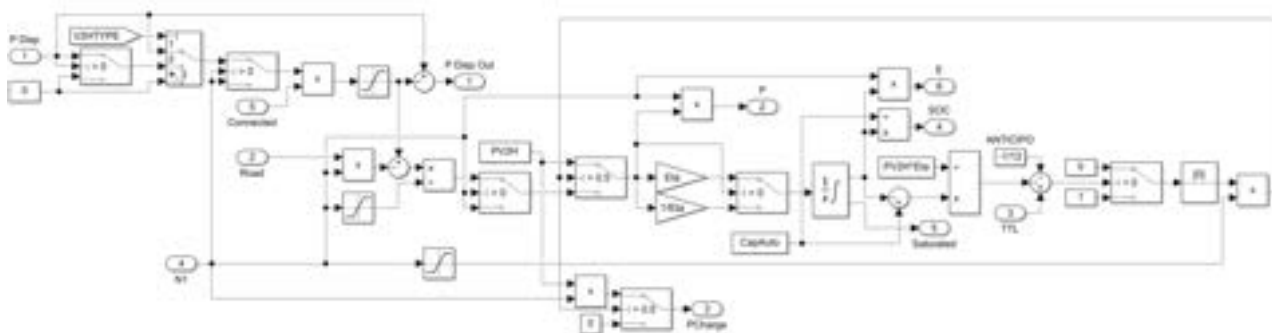


Figura 12: Simulatore della connessione alla rete dei sistemi di accumulo e del comportamento dell'algoritmo di gestione per l'implementazione di approcci V2H e V2B.

Le funzionalità dell'intero SW, in maniera per la verità tutt'altro che semplici, sono state estese, in parte anche aldilà di quanto originariamente previsto dal progetto di ricerca oggetto di questa relazione, per la simulazione di una molteplicità di utenze interconnesse, in un approccio non più V2B (Vehicle-2-Building) con la messa a disposizione di più sistemi di accumulo, impianti PV e consumi residenziali locali finalizzati ad un beneficio collettivo maggiore di quello ottenibile separatamente dalle singole utenze.

La simulazione è finalizzata al solo calcolo dei benefici complessivi ottenibili, non anche alla ripartizione di questi benefici tra le singole utenze. A questo fine si è previsto di raggruppare le utenze in cinque gruppi (relative alle cinque tipologie di utenze già descritte) e non è stata introdotta alcuna legge finalizzata alla omogeneità di utilizzo di per funzionalità V2H dei vari sistemi di accumulo eventualmente contemporaneamente presenti sulla rete.

Come invece rappresentato nella seguente Figura 13, si è stabilito che ogni sistema V2H gestisca l'accumulo ad esso connesso secondo lo stesso algoritmo locale di controllo precedentemente definito, stabilendo, per semplicità una gerarchia predefinita tra le varie tipologie di utenza nell'utilizzabilità "in cascata" dei sistemi di accumulo ad essi connessi.

In pratica il sistema analizza prima una tipologia di utenza (e di sistemi di accumulo), verifica per essi la attuabilità di funzionalità V2H, eventualmente le implementa, e poi "in cascata", decurtata l'energia in dare/avere dalla rete della aliquota già allocata, provvede a valutare "in cascata" le disponibilità di funzionalità V2H eventualmente messe a disposizione dalle altre categorie di utenti.

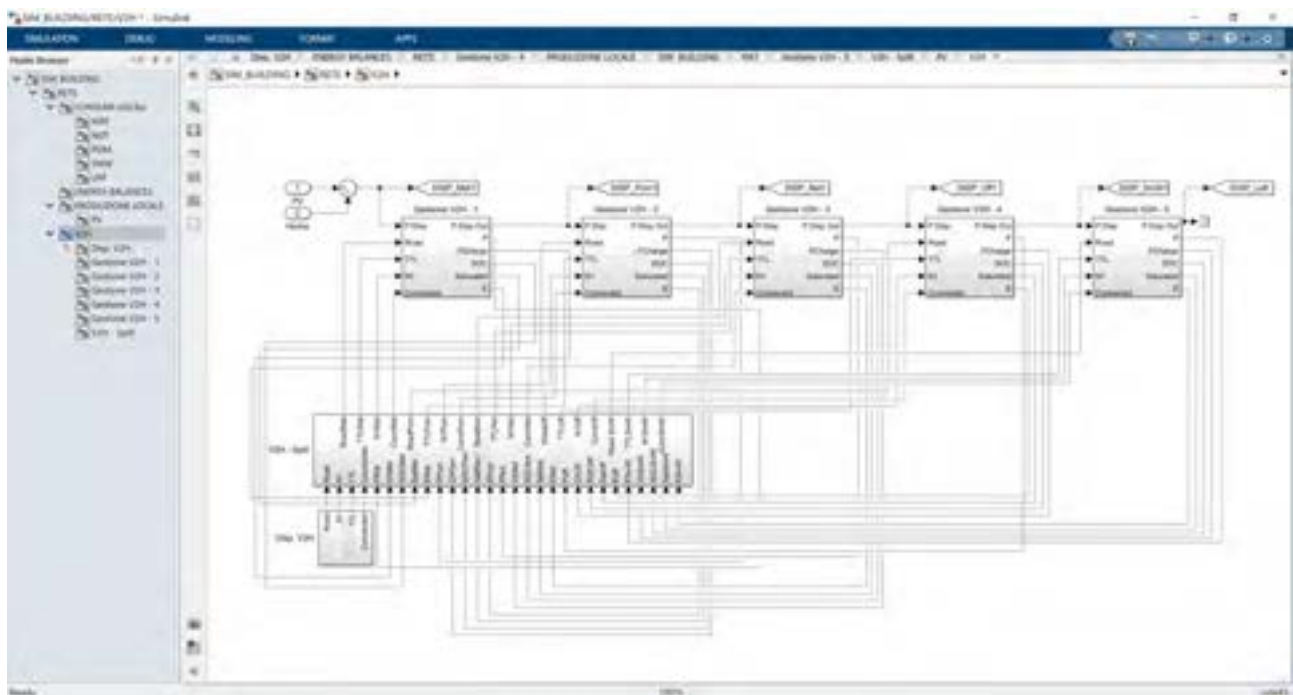


Figura 13: Simulatore della connessione alla rete di uno (V2H) o più sistemi di accumulo (V2B) per utenze con caratteristiche differenziate. Gli accumuli sono resi contemporaneamente disponibili sulla stessa rete (V2B), e gestiti "in cascata" tramite lo stesso algoritmo generale di gestione.

All'interno del SW come si vedrà anche nel seguito, sono stati realizzati anche utili strumenti grafici che permette di visualizzare nel dettaglio sia il funzionamento della Rete Condominiale nel suo complesso, sia il dettaglio dei servizi V2H dinamicamente forniti dalle singole categorie di utenza simulate.

4 Performance attese per sistemi V2H autonomi

Nei successivi capitoli di questa relazione sono presentati i risultati delle simulazioni dell'utilizzo di sistemi V2H con funzionalità MONO-DIREZIONALI (ossia con la sola possibilità di modulazione temporale della ricarica), oppure pienamente BI-DIREZIONALI, con la possibilità di utilizzare l'energia presente nei sistemi di accumulo anche per alimentare le utenze domestiche in assenza di potenza disponibile da PV.

In questo capitolo si analizzeranno singole utenze isolate. Nel successivo le funzionalità del SW saranno invece utilizzare per valutare i benefici attesi per una utenza condominiale complessa ed interconnessa.

In ognuno dei due casi le prestazioni dei sistemi V2H vanno valutate con riferimento alla analisi di un caso base in cui le funzionalità V2H non siano implementate.

Per quanto riguarda le utenze isolate, le simulazioni effettuate hanno mostrato (come da attese) che i possibili Casi Base di riferimento (per le cinque categorie di utenza senza implementazione di sistemi V2H) non differiscono molto tra di loro.

Ciò constatato, per necessità di sintesi e semplicità nella trattazione, in questo rapporto sarà illustrata come Caso Base di Riferimento esclusivamente quello relativo ad una utenza di tipo "Office Worker".

CASO BASE DI RIFERIMENTO: Utenza "Office Worker" senza funzionalità V2H

Nel seguito si riportano le schermate relative ad alcuni dei tools grafici di valutazione delle prestazioni messi a disposizione all'interno del SW. In particolare la seguenti Figure 13-15 sono relative al pannello grafico "V2H System" che mostra l'evoluzione temporale degli andamenti della maggior parte delle variabili in gioco nella definizione del comportamento dei singoli nodi della rete.

La prime tre righe mostrano i flussi di potenza istantanea. In particolare:

- La prima riga riporta la produzione complessiva (**PV** -curva più spessa) e la sua ripartizione tra i flussi secondari: in direzione delle utenze domestiche (**PV-2-H**); in direzione del sistema di accumulo veicolare eventualmente connesso alla rete (**PV-2-V**); ceduto alla rete (**PV-2-G**);
- La seconda riga riporta il consumo domestico complessivo (**H**, curva più spessa) e la sua ripartizione tra due dei tre flussi secondari che lo alimentano: dalla rete (**G-2-H**); dall'accumulo veicolare eventualmente connesso alla rete (**V-2-H**). Il terzo flusso possibile che alimenta il consumo domestico tramite la produzione PV era già graficato nella riga superiore (**PV-2-H**).
- La terza riga riporta il prelievo netto complessivo dalla rete (**G**, curva più spessa) e la sua ripartizione tra flussi secondari: verso il veicolo per la sua ricarica dalla rete (**G-2-V**); verso l'abitazione (**G-2-H**); dall'impianto PV in cessione alla rete (<0) (**PV-2-G**).

La quarta riga mostra il numero di veicoli connessi all'infrastruttura (1 se connesso; 0 se non connesso). Come vedremo poi, nelle simulazioni condominiali questo numero assume di norma valori maggiori di uno, dovendo tenere conto di tutti i possibili veicoli contemporaneamente connessi alla rete.

La quinta riga mostra l'evoluzione dello stato di carica del sistema di accumulo. Nelle simulazioni condominiali mostrerà lo stato di carica complessivo di tutti i sistemi di accumulo coinvolti nella rete condominiale.

L'ultima riga mostra infine i flussi di potenza in ingresso ed in uscita al sistema di accumulo. La curva più spessa (**ESS**) riporta la somma di tutti i flussi istantanei che coinvolgono il sistema di accumulo. Le curve in altri colori mostrano invece la ripartizione tra: consumi stradali (**V-2-Road**, <0); Ricarica da rete (**G-2-V**); ; Ricarica da PV (**PV-2-V**); alimentazione di utenze domestiche (**V-2-H**, <0).

La rappresentazione qui riportata può sembrare troppo densa di informazioni e poco leggibile, ma si tenga presente che le funzionalità del SW permettono una gestione totalmente interattiva dei grafici riportati, con la possibilità di “accendere” e “spegnere” le varie curve con menu contestuali, nonché zoomare nel tempo e nelle ordinate per analizzare nel dettaglio singoli fenomeni.

Tutte le simulazioni effettuate hanno riguardato sempre l'intero anno di esercizio dell'impianto per valutarne le prestazioni cumulate in tutte le possibili condizioni di esercizio e pesarne l'accadimento con delle frequenze di accadimento più che verosimili, secondo le ipotesi riportate nei precedenti paragrafi. Nel seguito però, ritenendolo interessante, viene riportata spesso anche il dettaglio settimanale degli andamenti (dal lunedì alla domenica). Questo verrà fatto in particolare nelle settimane Estive ed Invernali, nelle quali, grazie alla combinazione di produzione PV e Consumi rilevanti, i sistemi V2H hanno la potenzialità (come vedremo non sempre espressa, a seconda dei casi di studio) di mostrare maggiore benefici, assorbendo la produzione PV e/o alimentando carichi di qualche rilievo.

Scendendo nel dettaglio delle Figure relative al CASO BASE DI RIFERIMENTO, in particolare, le Figure 13, 14 e 15 sono rispettivamente relative a: una settimana Invernale; una settimana estiva; agli andamenti complessivi lungo tutto l'anno.

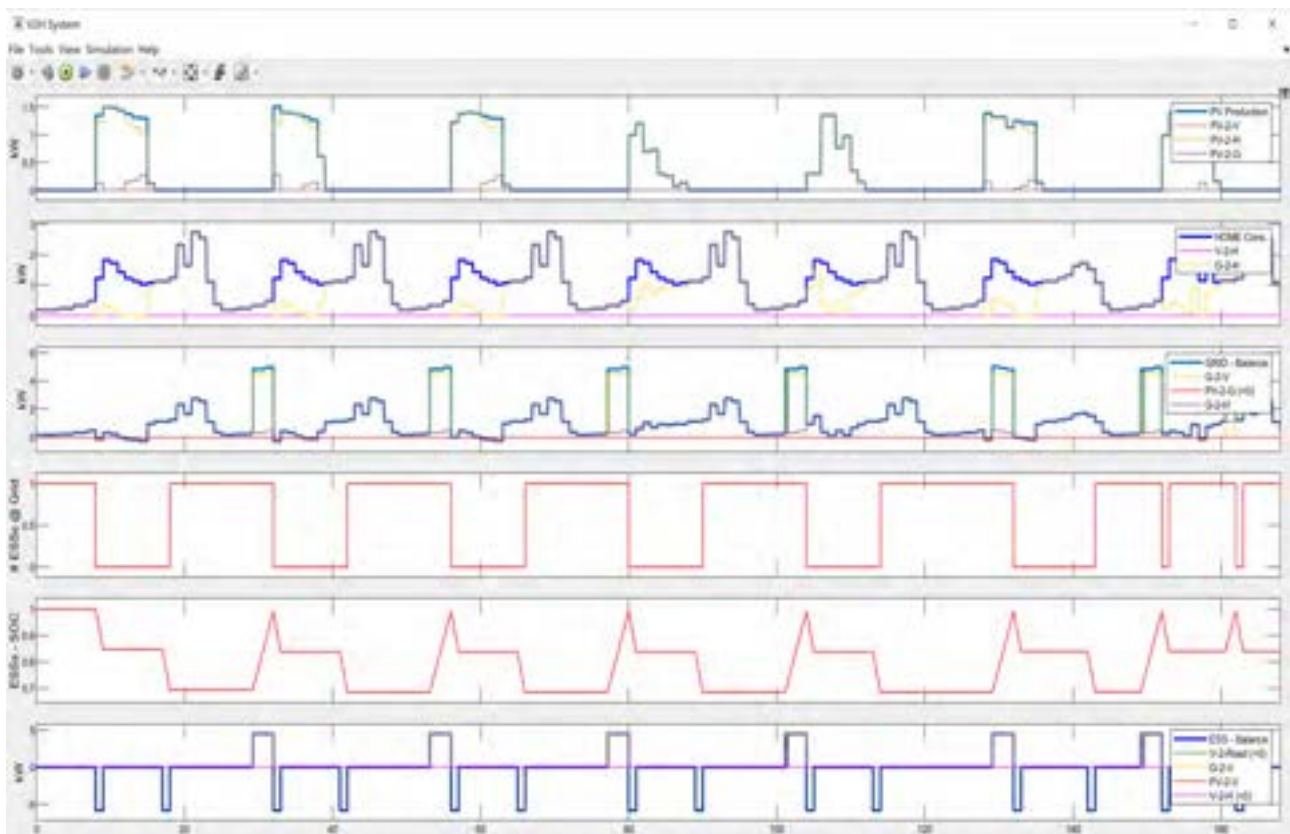


Figura 13: RETE DOMESTICA - SETTIMANA INVERNALE. CASO BASE: “Office Worker” senza V2H.

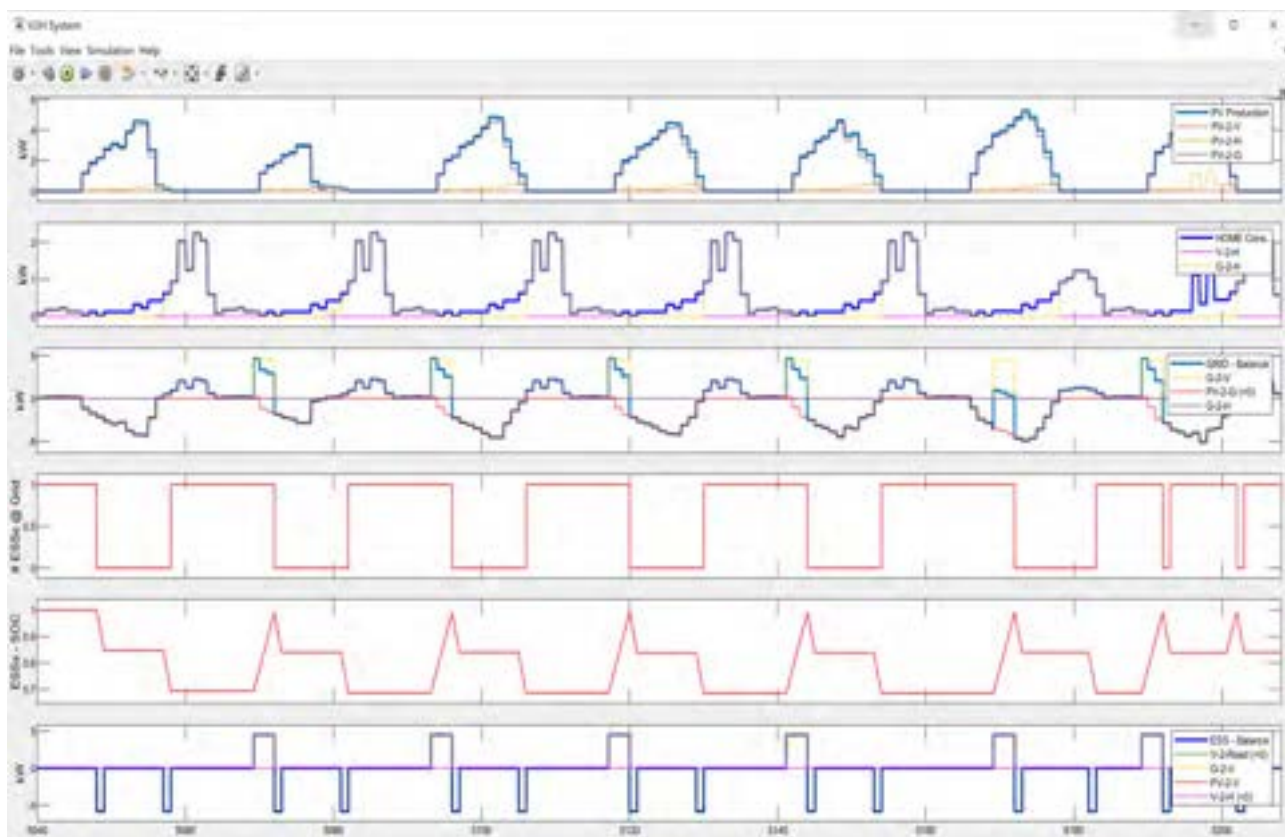


Figura 14: RETE DOMESTICA - SETTIMANA ESTIVA. CASO BASE: "Office Worker" senza V2H.

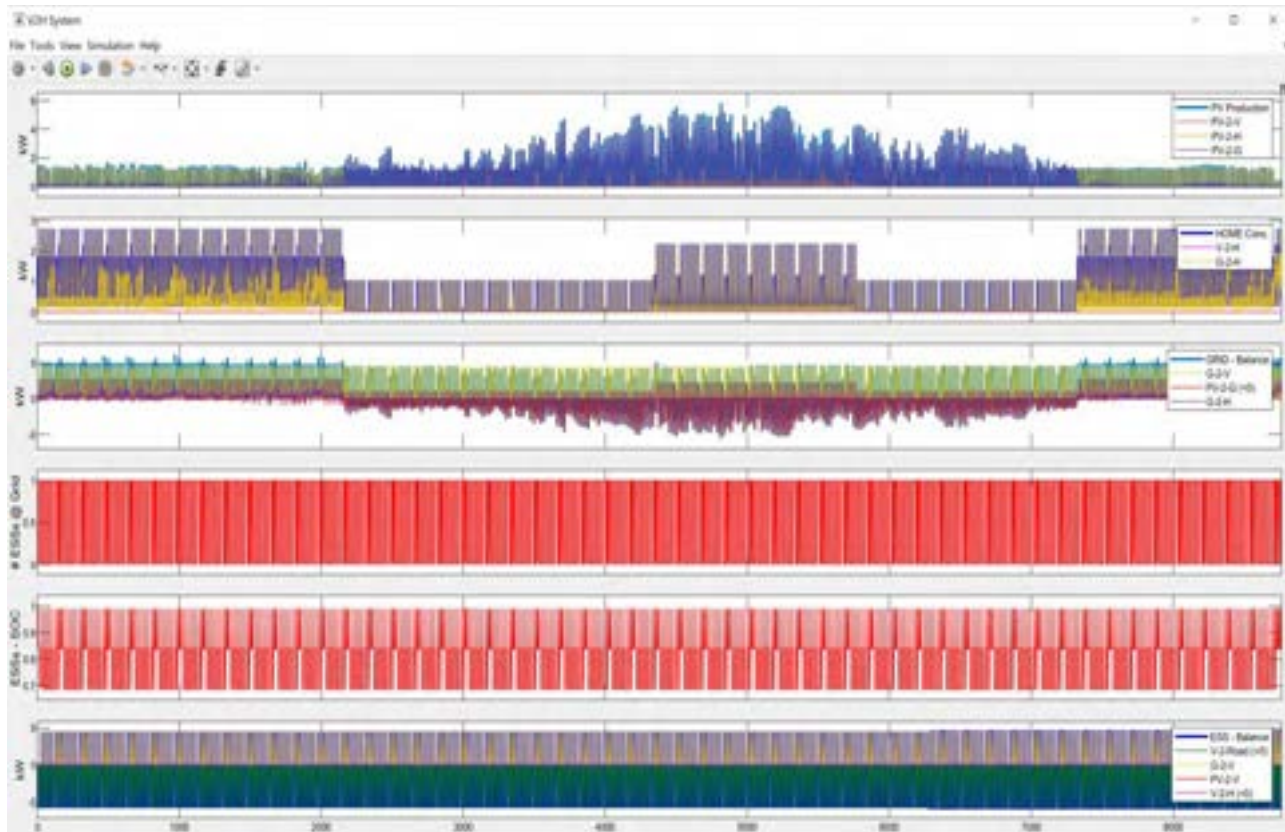


Figura 15: RETE DOMESTICA - INTERO ANNO. CASO BASE: "Office Worker" senza V2H.

La seguente Figura 16 è invece relativa ad una ulteriore sezione del SW che riporta alcuni prospetti di sintesi relativi ai bilanci energetici annui ai nodi principali della RETE (sulla parte sinistra, con valori espressi in kWh/giorno), nonché al valore misura calcolato per i due indici di performance della rete precedentemente introdotti e commentati (**PV Auto-Consumption Ratio** e **Home Auto-feeding Ratio**).

Il valori mostrano in particolare, come l'auto-consumo dell'energia da PV sia del 25% circa, ed alimenti circa il 27% dei carichi domestici (ivi esclusa la ricarica del veicolo).

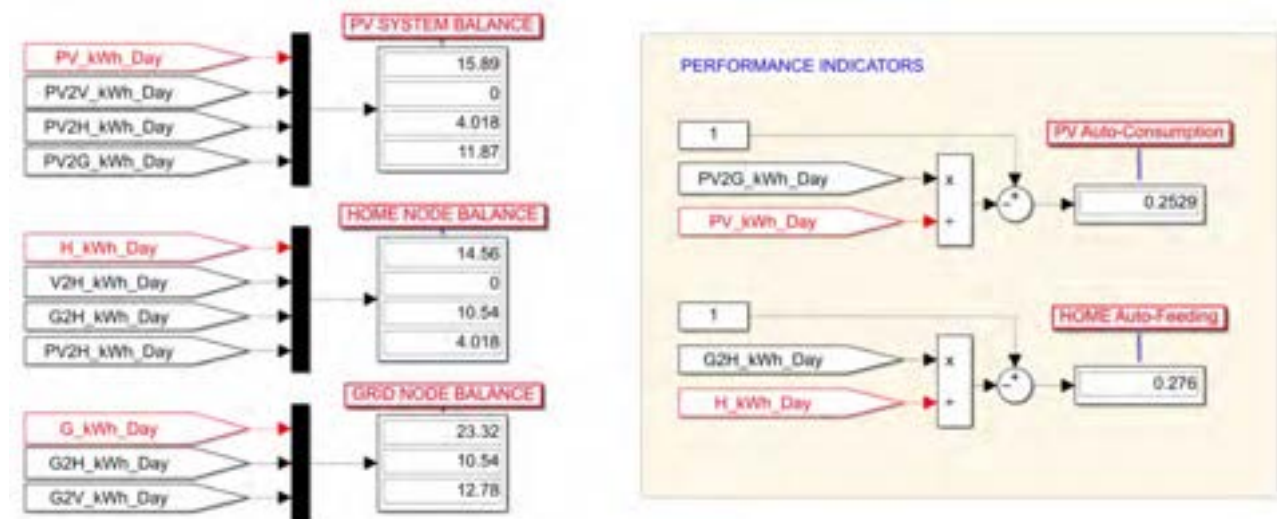


Figura 16: RETE DOMESTICA – INTERO ANNO. CASO BASE: "Office Worker" senza V2H.

CASO 1A -Utenza "Office Worker" con funzionalità V2H MONO-DIREZIONALI

Passiamo ora all'analisi dello stesso caso in cui vengano implementate funzionalità V2H esclusivamente MONO-DIREZIONALI (ossia vi sia la sola possibilità di modulare nel tempo la ricarica del veicolo pe massimizzare l'autoconsumo di energia da PV). La Figura 17 seguente mostra gli indici prestazionali in questo caso.

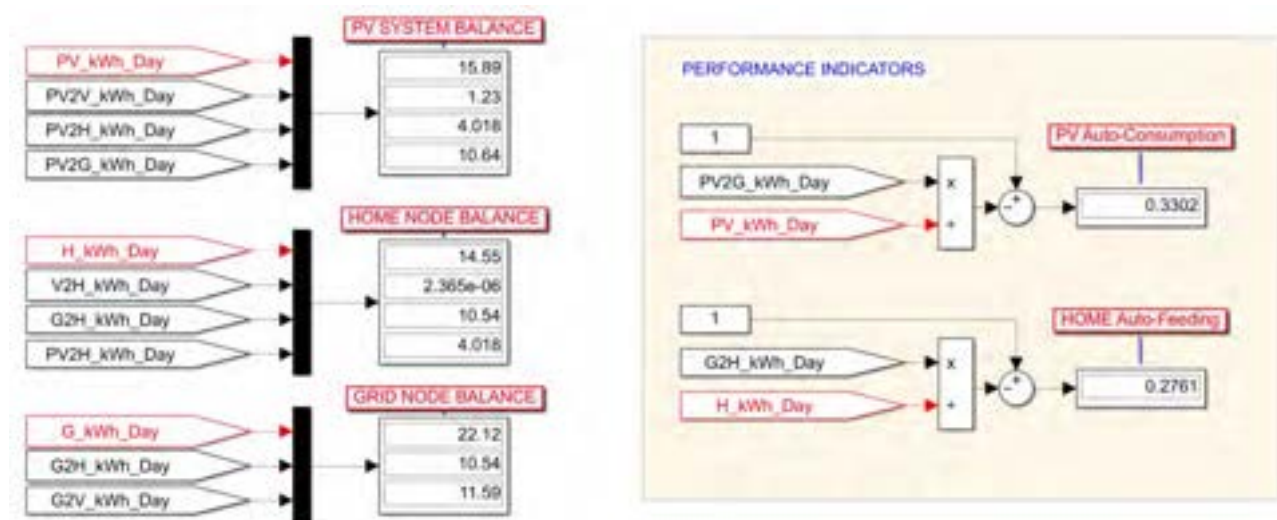


Figura 17: RETE DOMESTICA – INTERO ANNO. CASO 1A: "Office Worker" con V2H MONO-DIREZIONALE.

Il miglioramento degli indici prestazionali è abbastanza limitato. In particolare, l'autoconsumo della produzione PV sale solamente al 33% (dal 25% del caso base).

Ciò è dovuto alla particolare categoria di utente considerata "Office-Worker", che mantiene il veicolo disconnesso dalla rete domestica nella maggior parte delle ore a massima insolazione. Questo è abbastanza evidente guardando più in dettaglio la situazione dei flussi di potenza riportati nella seguente Figura 18.

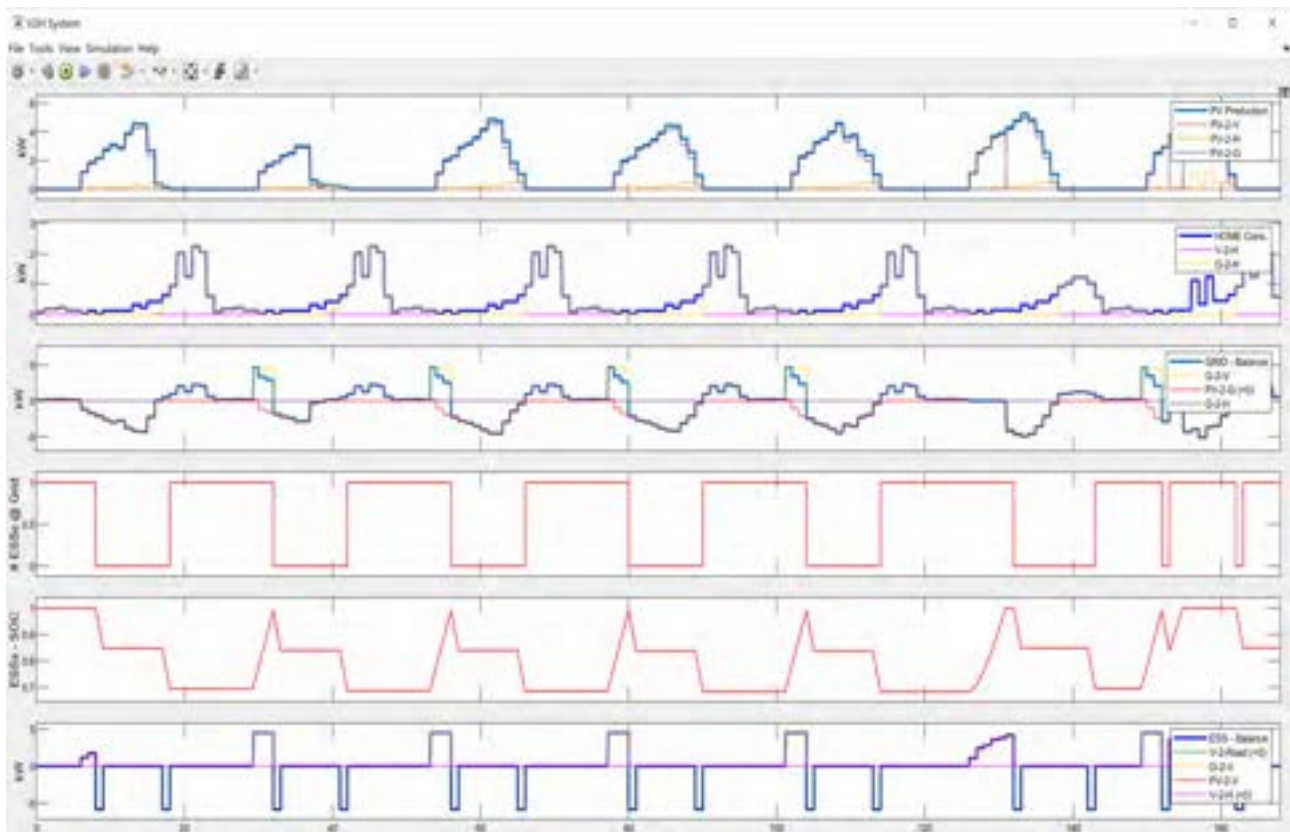


Figura 18: RETE DOMESTICA – SETTIMANA ESTIVA. CASO 1A: "Office Worker" con V2H MONO-DIREZIONALE.

CASO 1B -Utenza "Office Worker" con funzionalità V2H piene BI-DIREZIONALI

Passiamo ora all'analisi dello stesso caso in cui vengano implementate funzionalità V2H piene ossia BI-DIREZIONALI (prevedendo anche la possibilità di alimentare i carichi domestici tramite l'accumulo connesso alla rete).

L'analisi della Figura 19 mostra come le funzionalità BI-DIREZIONALI permettano l'alimentazione di una buona parte dei carichi domestici tramite il sistema di accumulo connesso a rete, che risulta anche avere anche una capacità energetica ampiamente sufficiente per tali finalità (il suo SOC non scende mai sotto lo 0.4 durante l'anno).

Come mostrato nella successiva Figura 20, l'indice di auto-consumo del PV risulta ancora piuttosto basso (anzi, come atteso, anche inferiore anche al caso precedente di utilizzo MONO-DIREZIONALE delle funzionalità V2H: 30% circa contro il 25% del caso base ed il 33% del MODO-DIREZIONALE), ma l'indice relativo alla auto-alimentazione delle utenze domestiche risulta molto incrementato (fino a quasi il 78%, contro il 27% del caso base). Questo è sicuramente un aspetto molto positivo perché permette di concentrare

nel tempo e rendere prevedibili come fascia oraria la maggior parte delle richieste di energia elettrica alla rete (per valutare questo aspetto si può efficacemente confrontare i grafici delle terze righe di Figura 14 e Figura 19).

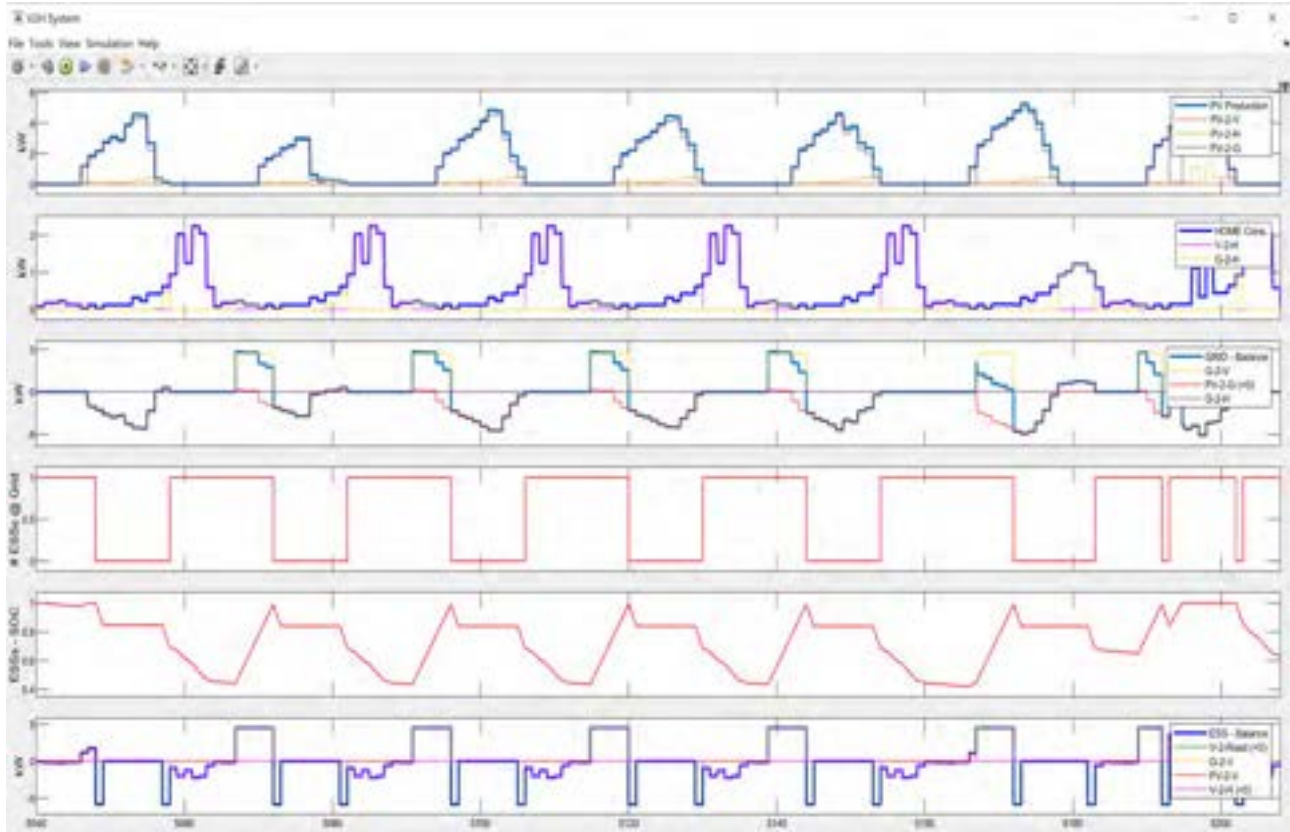


Figura 19: RETE DOMESTICA – SETTIMANA ESTIVA. CASO 1B: "Office Worker" con V2H MONO-DIREZIONALE.

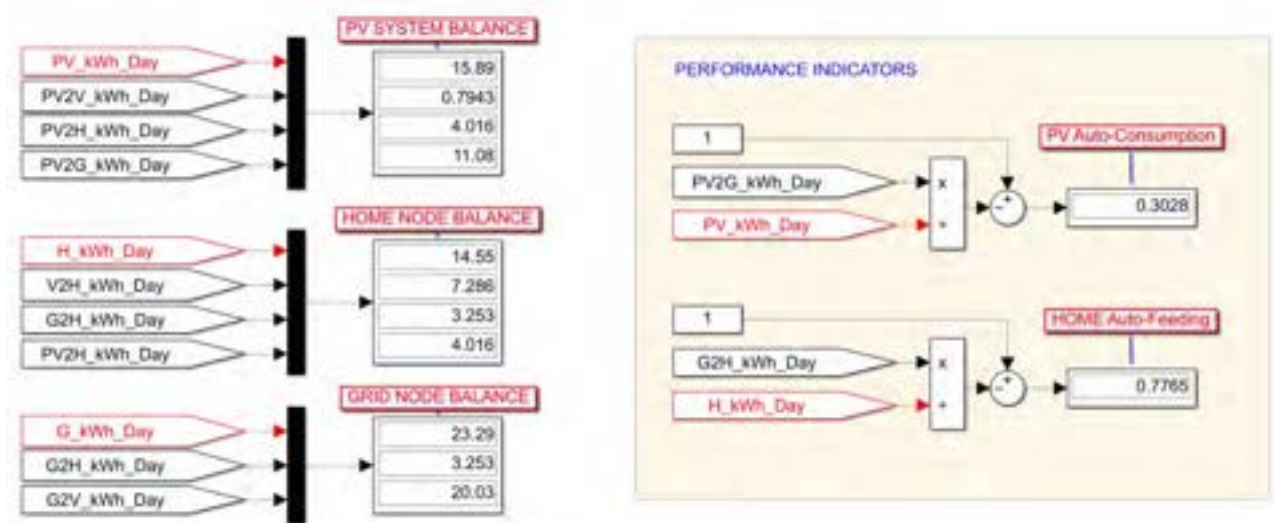


Figura 20: RETE DOMESTICA – INTERO ANNO. CASO 1B: "Office Worker" con V2H MONO-DIREZIONALE.

CASO 2A -Utenza “Smart Worker” con funzionalità V2H MONO-DIREZIONALE

Passiamo ora ad un'altra categoria di utenza, senz'altro più promettente, sulla carta, ossia le utenze “Smart-Worker”. Da questa utenza ci attendiamo le prestazioni migliori poiché il sistema di accumulo rimane connesso alla rete per larga parte della giornata. Cominciamo dall'analisi dei grafici relativi all'implementazione delle sole funzionalità V2H MONO-DIREZIONALI.

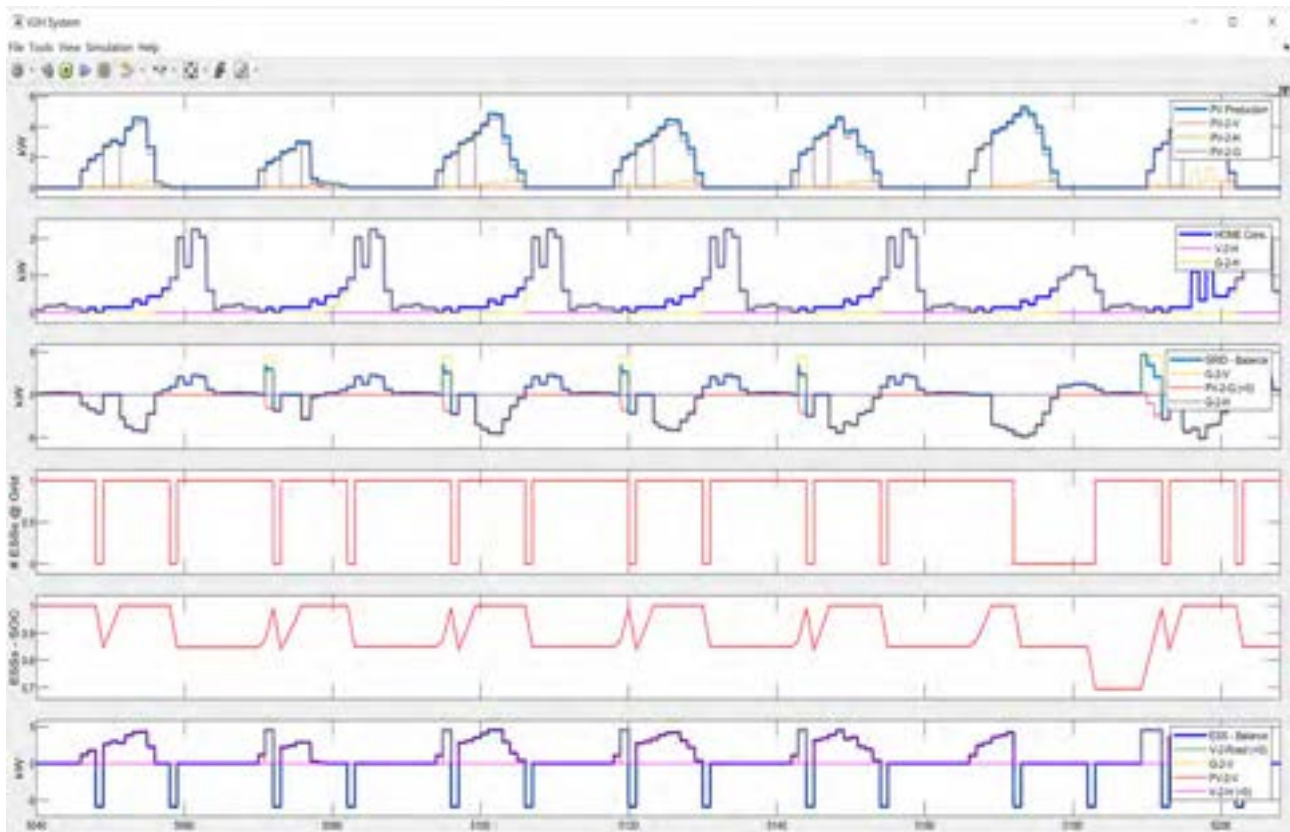


Figura 21: RETE DOMESTICA – SETTIMANA ESTIVA. CASO 2A: “Smart Worker” con V2H MONO-DIREZIONALE.



Figura 22: RETE DOMESTICA – INTERO ANNO. CASO 2A: “Smart Worker” con V2H MONO-DIREZIONALE.

I grafici riportati nelle Figure seguenti mostrano quanto atteso. La molto maggiore accoppiabilità della fonte solare con la disponibilità del veicolo connesso permette la realizzazione di una buona parte delle ricariche del veicolo tramite fonte solare, portando complessivamente su base annua l'autoconsumo delle energia da PV al 55% (dal 25 del CASO BASE di riferimento)

CASO 2B -Utenza "Smart Worker" con funzionalità V2H piene BI-DIREZIONALI

Vediamo ora cosa avviene per la stessa categoria di utenza implementando pienamente le funzionalità V2H BI-DIREZIONALI. I Grafici mostrano come in questo caso, oltre a ottenere benefici in termini di autoconsumo da PV si riesca anche a massimizzare il parametro relativo all'auto alimentazione dei consumi domestici.

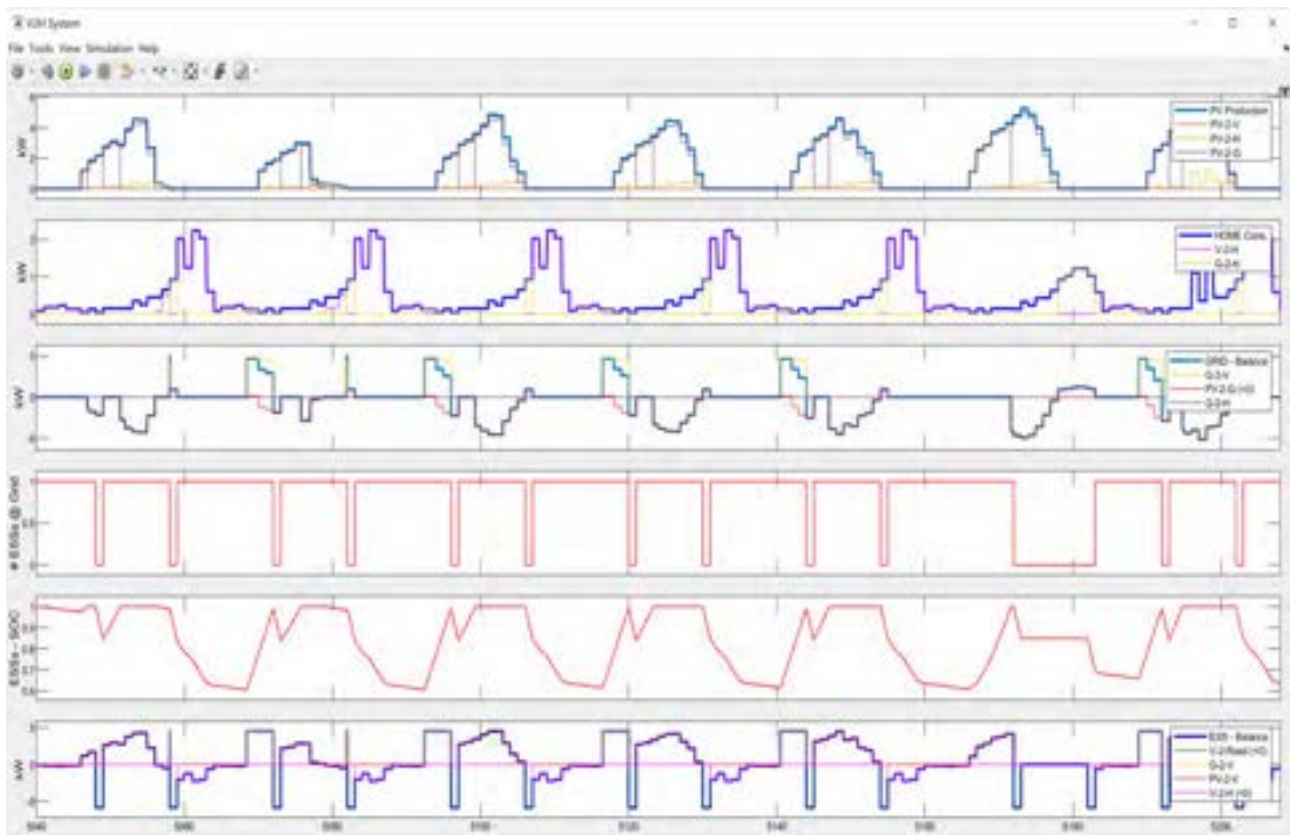


Figura 23: RETE DOMESTICA – SETTIMANA ESTIVA. CASO 2B: "Smart Worker" con V2H BI-BIREZIONALE.

In particolare, l'Auto-consumo da PV scende un poco ma resta da un ottimo 51%, mentre l'auto-alimentazione dei consumi domestici passa dal 27% del caso base all'81% del caso appena analizzato.

Veniamo ora all'analisi delle rimanenti tre categorie di utenza, dalle quali ci aspettiamo prestazioni intermedie tra quelle viste per gli "Office-Workers" e gli "Smart-Workers". In tutti e tre questi casi, per non appesantire troppo l'analisi, vedremo il solo caso con piena funzionalità V2H BI-DIREZIONALE.

Nell'ordine analizzeremo:

- **Turnisti "Morning-Workers":** connessione auto alla rete tra le 6 e le 14;
- **Turnisti "Afternoon-Workers":** connessione auto alla rete tra le 14 e le 22;
- **Turnisti "Nocturne-Workers":** connessione auto alla rete tra le 22 e le 6.

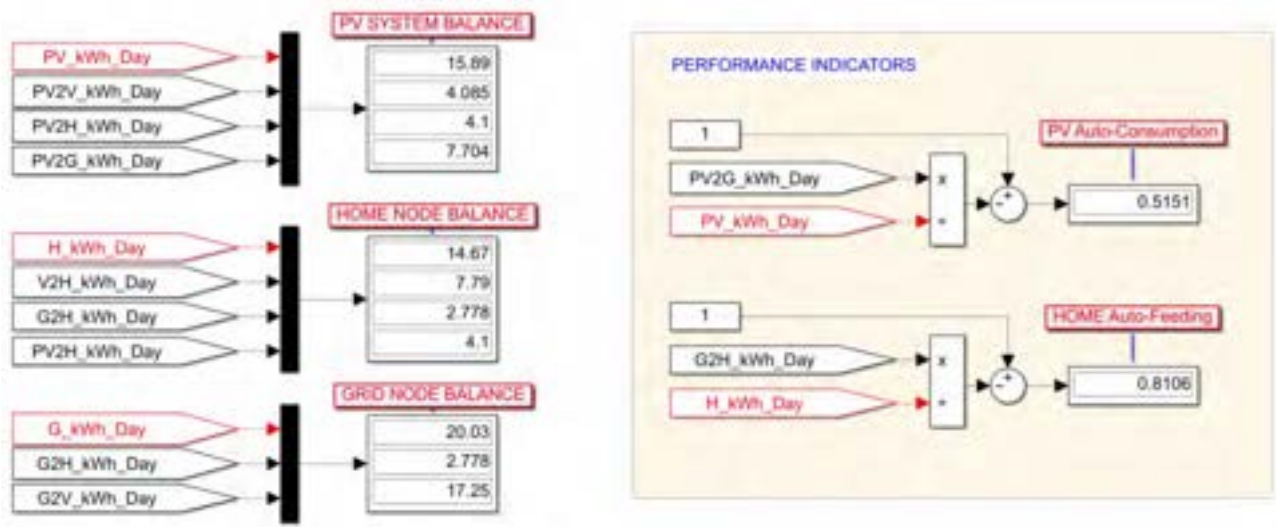


Figura 24: RETE DOMESTICA – INTERO ANNO. CASO 2B: “Smart Worker” con V2H BI-BIREZIONALE.

CASO 3A - Utenza Turnista “Morning Worker” con piene funzionalità V2H BI-DIREZIONALI

Categoria utenza: Turnista “Morning Worker”. Funzionalità V2H piene. Per semplicità si riporta il solo grafico di sintesi dei bilanci energetici ai nodi e delle prestazioni di sistema. La disponibilità della connessione del sistema di accumulo a partire dalle prime ore del pomeriggio permette buone funzionalità V2H con prestazioni quasi pari a quelle ottenibili per le utenze “Smart-Worker”. In particolare, l’autoconsumo dell’energia da PV è buono (41%, rispetto al 25% del CASO BASE), e la maggior parte dei carichi domestici sono alimentabili (81%) tramite V2H.

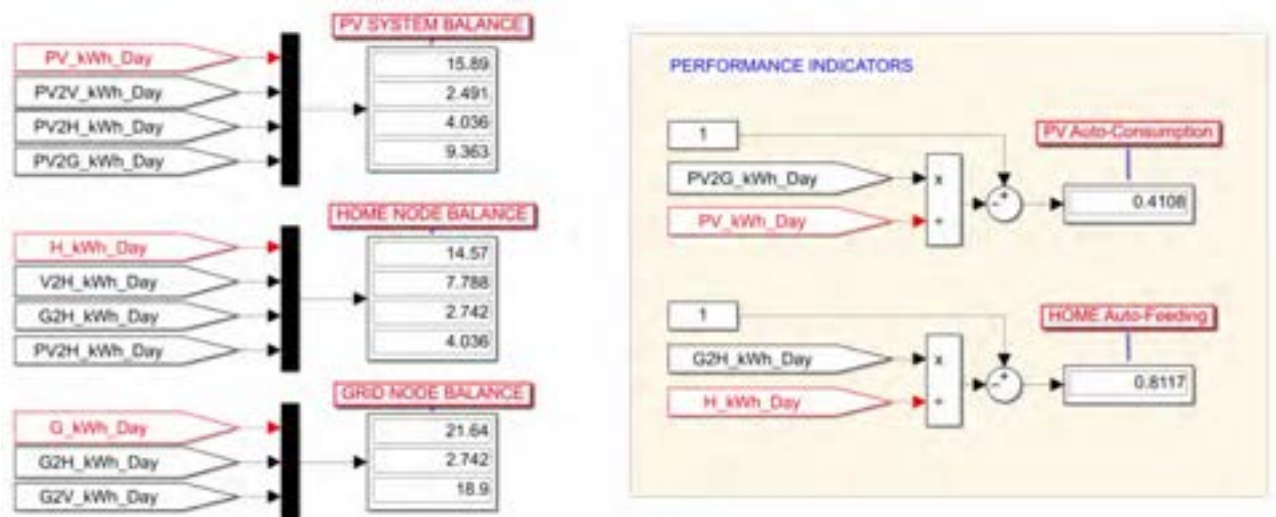


Figura 25: RETE DOMESTICA – INTERO ANNO. CASO 3A: “Morning Worker” con V2H MONO-BIREZIONALE.

CASO 3B - Utenza Turnista “Afternoon Worker” con piene funzionalità V2H BI-DIREZIONALI

Categoria utenza: Turnista “Afternoon Worker”. Funzionalità V2H piene. La disponibilità della connessione del sistema di accumulo nella maggior parte delle ore di massima insolazione permette di massimizzare

l'autoconsumo da PV (che sale fino al 65% rispetto al 25% del CASO BASE), ma pregiudica un po' le possibilità di alimentare parte dei carichi domestici, specie quelli di riscaldamento e condizionamento nelle ore pomeridiane. Il relativo indice prestazionale scende al 57%, rispetto all'81% raggiungibile da utenti "Smart" o "Morning Workers".

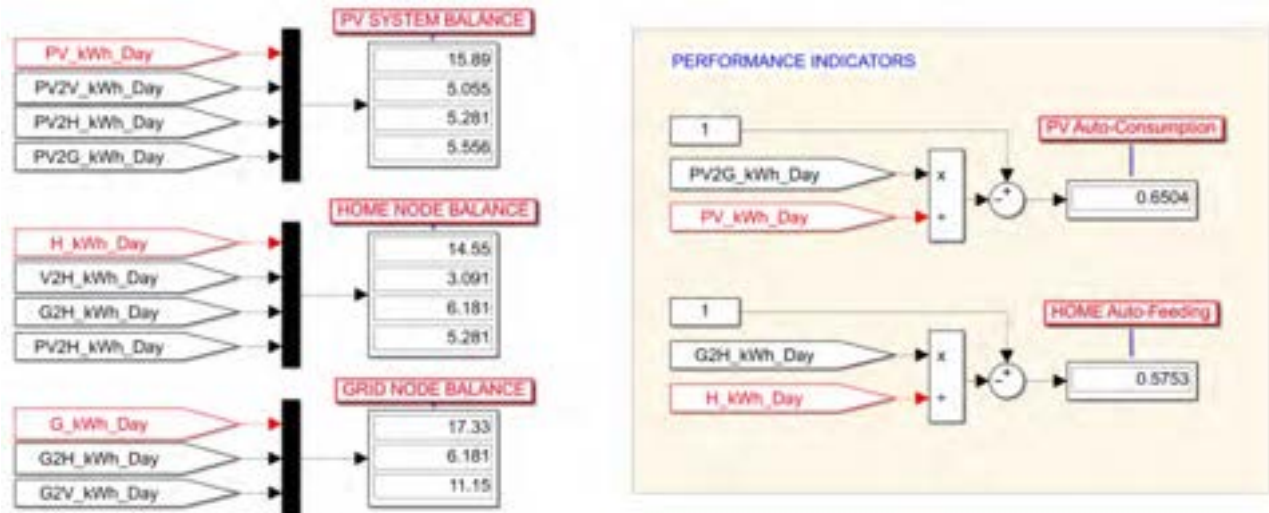


Figura 26: RETE DOMESTICA – INTERO ANNO. CASO 3B: "Afternoon Worker" con V2H MONO-BIREZIONALE.

CASO 3C - Utenza Turnista "Nocturne Worker" con piene funzionalità V2H BI-DIREZIONALI

Categoria utenza: Turnista "Afternoon Worker". Funzionalità V2H piene. La disponibilità della connessione del sistema di accumulo nella maggior parte delle ore diurne permette di massimizzare sia l'autoconsumo da PV (che sale fino al 69% rispetto al 25% del CASO BASE), sia le possibilità di alimentare molti dei carichi domestici tramite V2H. Il relativo indice prestazionale raggiunge il 60%.

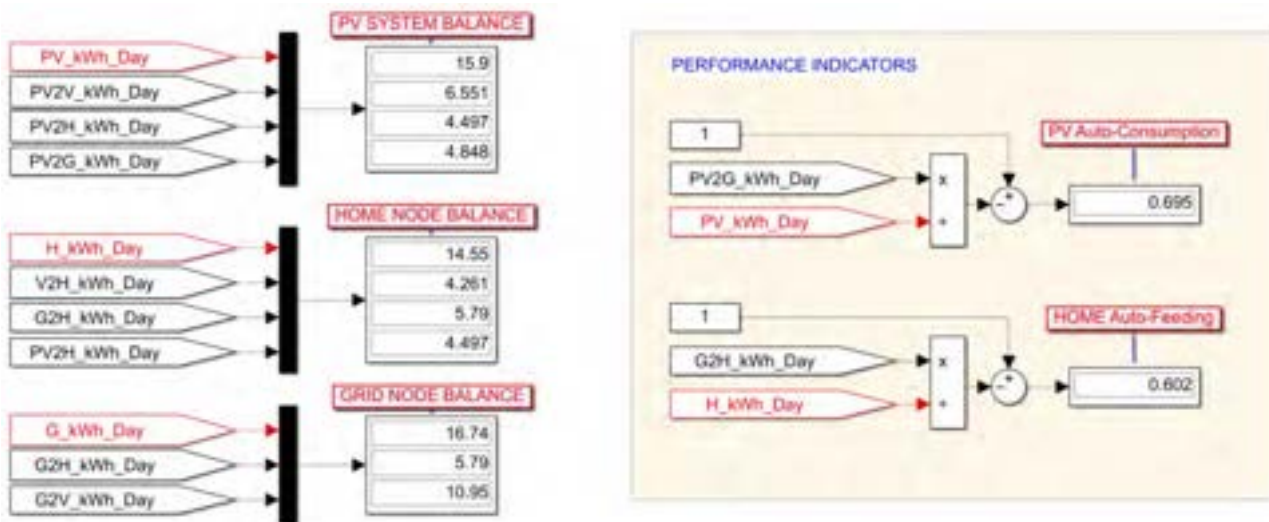


Figura 27: RETE DOMESTICA – INTERO ANNO. CASO 37: "Nocturne Worker" con V2H MONO-BIREZIONALE.

5 Performance attese per sistemi V2H interconnessi a livello condominiale (V2B)

Come già spiegato, il SW è stato strutturato per la simulazione di reti condominiali nelle quali numerosi sistemi di ricarica presenti possano essere gestiti con l'obiettivo di ottenere le massime prestazioni possibili per l'intero condominio.

Nel precedente Paragrafo 3 relativo alla descrizione del SW è stato già spiegato come questo sia possibile simulando una gestione "in cascata" di 5 gruppi di sistemi di accumulo raggruppanti le batterie veicolari messe a disposizione della rete dalle cinque possibili categorie di utenti che abitino il condominio stesso.

In questo paragrafo si mostra la funzionalità del SW nel suo complesso definendo un condominio tipo ed analizzando le prestazioni della rete: senza sistemi V2H (CASO BASE); con sistemi V2H con sole funzionalità MONO-DIREZIONALI (CASO 1); con sistemi V2H con piene funzionalità BI-DIREZIONALI.

In tutti e tre i casi il condominio è costituito da 20 utenze complessive così suddivise:

- **10 Utenze NON DISPONGONO di un'auto elettrica** e sono così ripartite:
 - 3 "Smart-Workers";
 - 2 "Office Workers";
 - 2 Turnisti "Morning-Workers";
 - 2 Turnisti "Morning-Workers";
 - 1 Turnista "Nocturne-Worker";
- **10 Utenze DISPONGONO di un'auto elettrica** e sono così ripartite:
 - 3 "Smart-Workers";
 - 2 "Office Workers";
 - 2 Turnisti "Morning-Workers";
 - 2 Turnisti "Morning-Workers";
 - 1 Turnista "Nocturne-Worker";

CASO BASE – RETE CONDOMINIALE SENZA FUNZIONALITA' V2H

Il risultato complessivo della simulazione per un anno della configurazione condominiale così descritta è riportato nelle Figure 28 e 29.

La simulazione mostra come in questo caso l'autoconsumo della produzione PV è limitato al 27% e l'auto-alimentazione dei carichi condominiali (esclusivamente da PV) è limitata al 30% circa.

Le Figure successive da 30 a 33 mostrano invece il funzionamento nel dettaglio dell'intera Rete condominiale in quattro settimane tipo, rispettivamente con riferimento all'INVERNO, la PRIMAVERA, l'ESTATE e l'AUTUNNO.

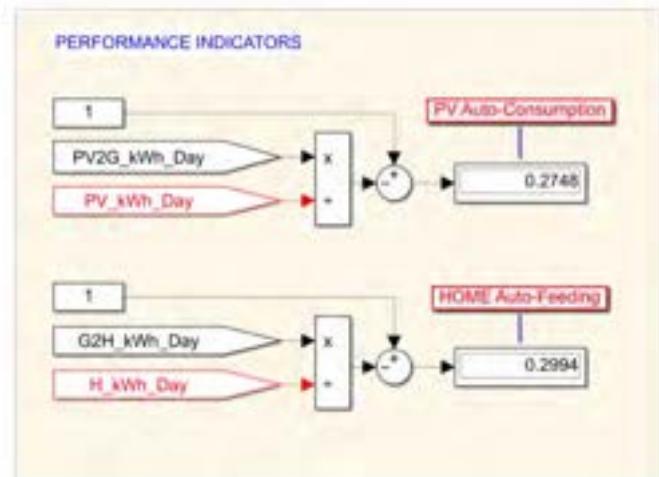
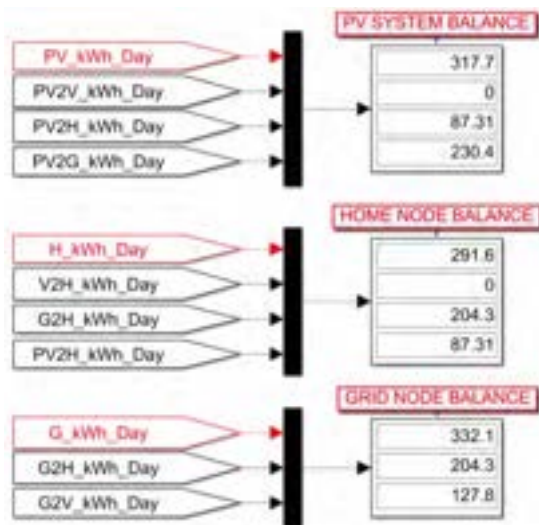


Figura 28: RETE CONDOMINIALE - INTERO ANNO. CASO BASE: Nessuna funzionalità V2H.

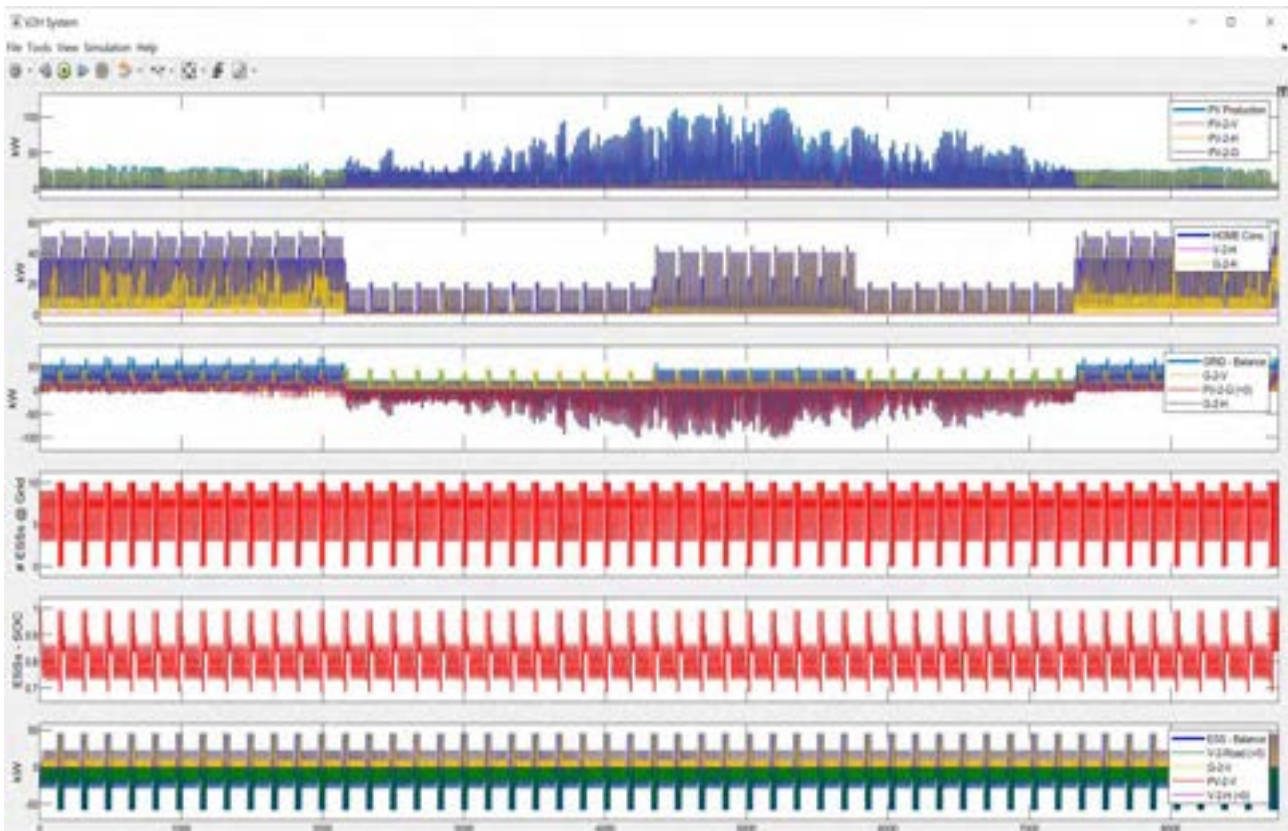


Figura 29: RETE CONDOMINIALE - INTERO ANNO. CASO BASE: Nessuna funzionalità V2H.

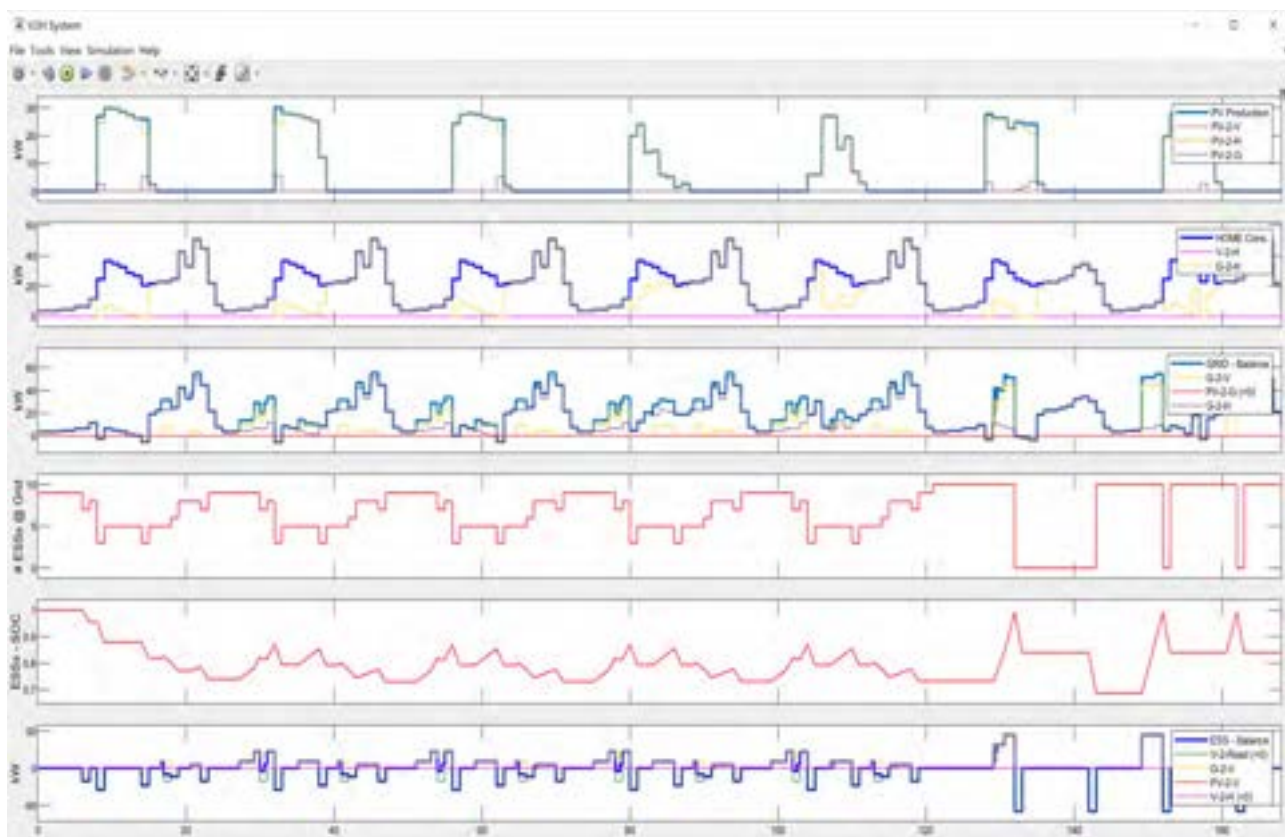


Figura 30: RETE CONDOMINIALE - INVERNO. CASO BASE: Nessuna funzionalità V2H.



Figura 31: RETE CONDOMINIALE - PRIMAVERA. CASO BASE: Nessuna funzionalità V2H.

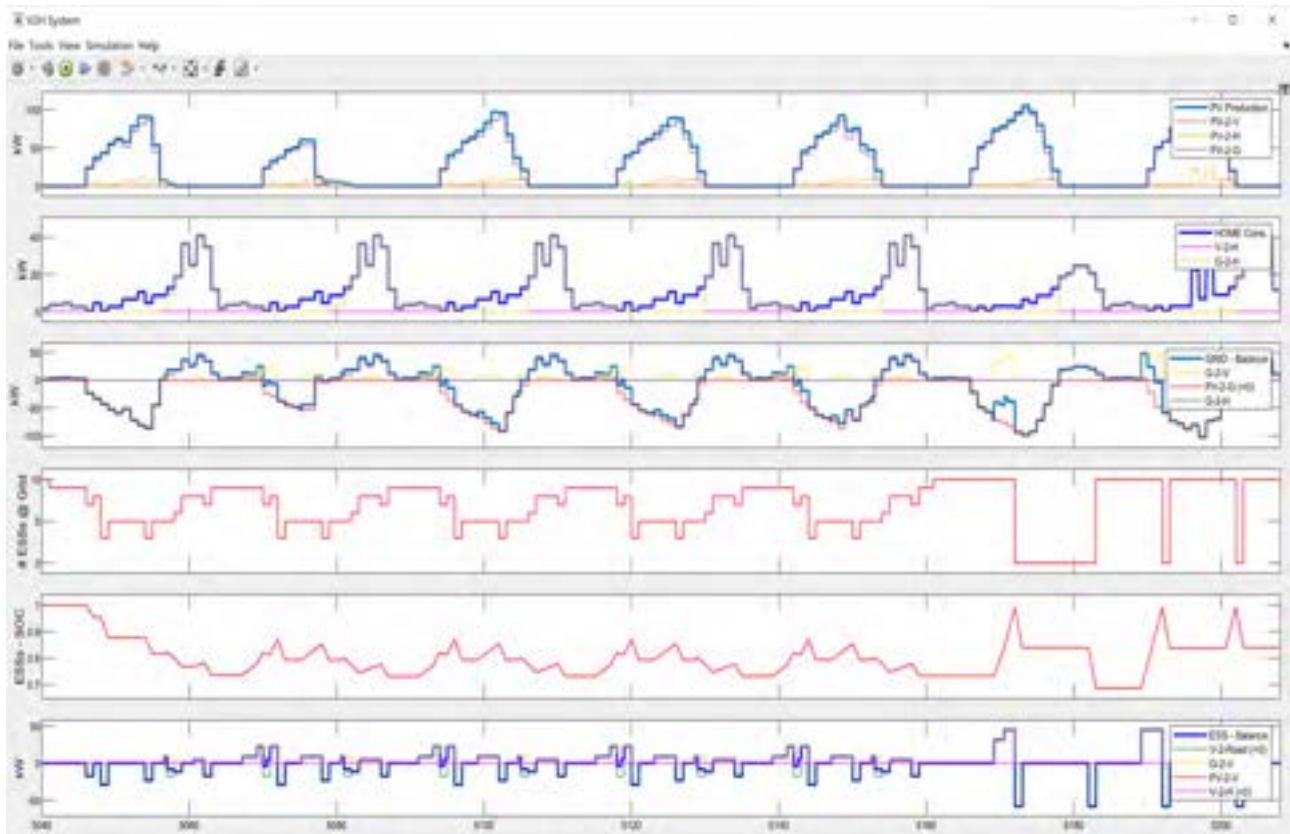


Figura 32: RETE CONDOMINIALE - ESTATE. CASO BASE: Nessuna funzionalità V2H.

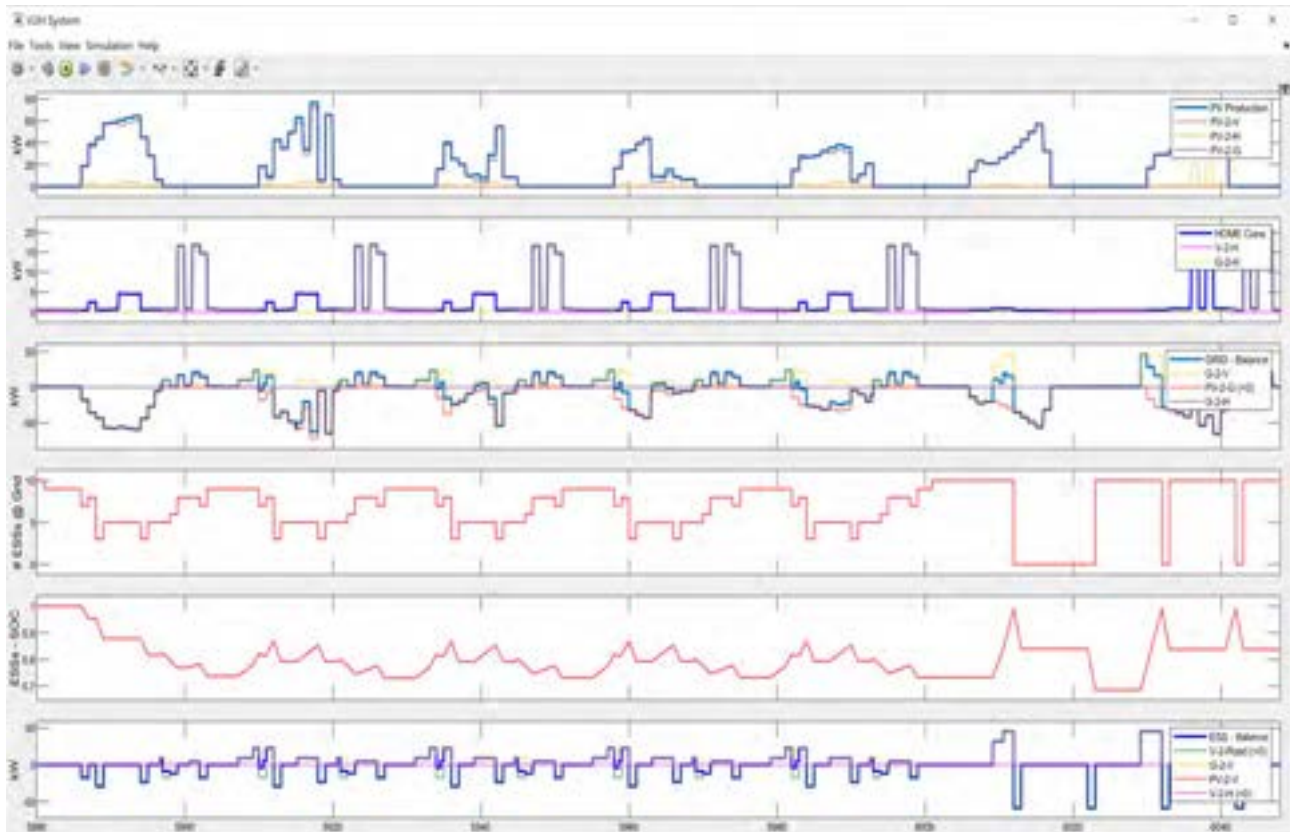


Figura 33: RETE CONDOMINIALE - AUTUNNALE. CASO BASE: Nessuna funzionalità V2H.

CASO 1 – RETE CONDOMINIALE CON FUNZIONALITA' V2H MONO-DIREZIONALI

Veniamo ora ai risultati della simulazione della stessa Rete Condominiale, ove siano implementate funzionalità V2H dalle 10 stazioni di ricarica, con funzionalità semplicemente MONO-DIREZIONALI, finalizzate alla massimizzazione dell'auto-consumo della produzione locale da PV (riferita al un totale delle 20 utenze condominiale, ivi comprese quelle che non dispongono di veicoli elettrici).

La simulazione dell'intero anno di esercizio della Rete, riportate nelle Figure 34 e 35, mostrano come l'autoconsumo da PV salga fino al 52% (incrementando fortemente le prestazioni ottenute nel caso base 27% del CASO BASE).



Figura 34: RETE CONDOMINIALE - INTERO ANNO. CASO 1: Funzionalità V2H MONO-DIREZIONALI.

In seguito, come già fatto nel caso precedente, si riportano anche le trattazioni di dettaglio degli andamenti delle principali variabili in quattro settimane tipo INVERNALE, PRIMAVERILE, ESTIVA ed AUTUNNALE (Figure 34, 36, 38 e 40).

Per ognuna delle quattro settimane però si riporta anche uno schema di dettaglio (implementato in automatico all'interno del SW) che riporta una rappresentazione grafica della gestione "in cascata", tramite lo stesso algoritmo base, dei cinque gruppi di Sistemi di accumulo connessi alla rete, relativi alle cinque differenti categorie di utenti possibili. Gli schemi relativi alle quattro differenti settimane sono rispettivamente riportati nelle Figure 37, 39 e 41, 43. In ognuna di tali rappresentazioni le categorie di utenti sono rappresentate su diverse colonne: nell'ordine di figura da sx a dx: "Morning"; "Afternoon"; "Nocturne"; "Office"; "Smart" Workers. Lo stesso ordine è seguito per definire la priorità di utilizzo dei sistemi di accumulo definita nella simulazione. Questa scelta arbitraria non pregiudica la correttezza della simulazione essendo essa finalizzata al solo calcolo dei benefici complessivi ottenibili, non anche alla ripartizione di questi benefici tra le singole utenze.

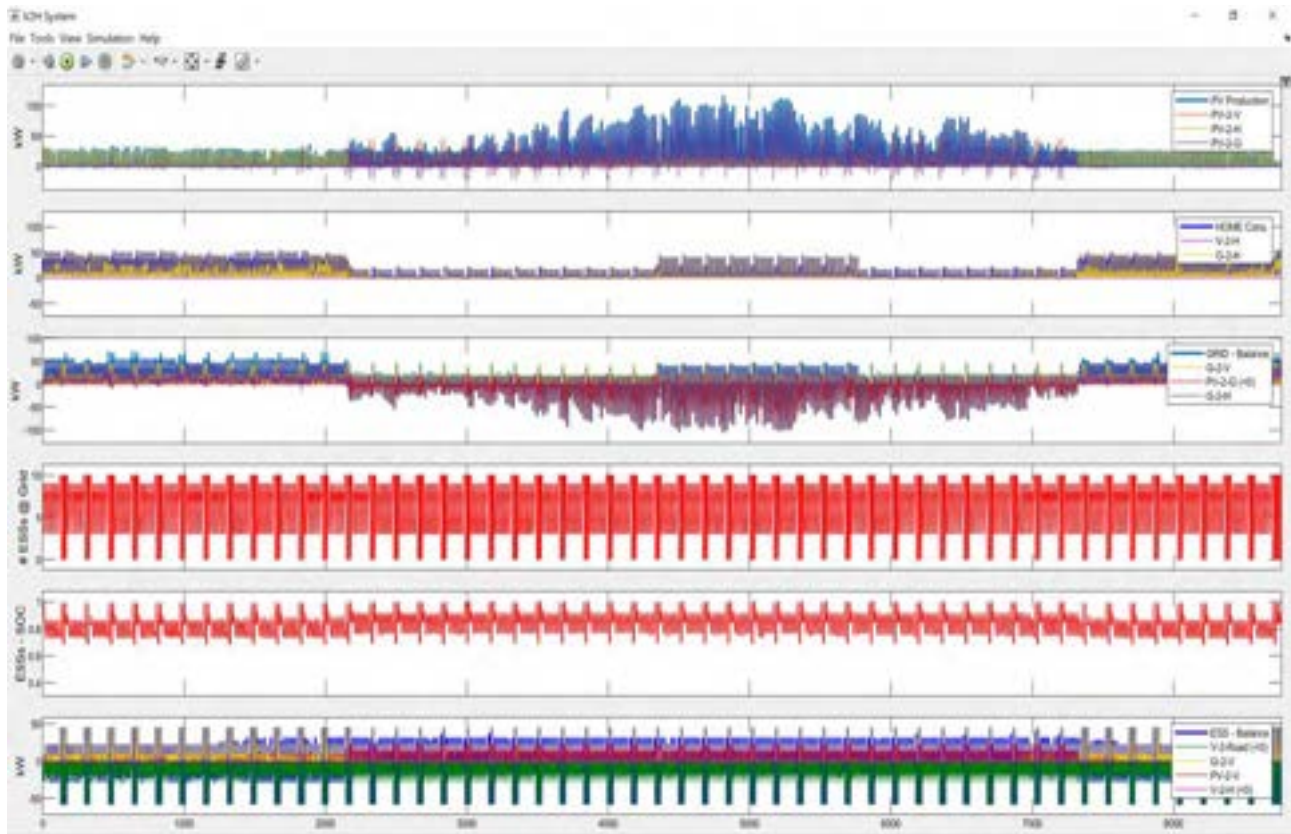


Figura 35: RETE CONDOMINIALE - INTERO ANNO. CASO 1: Funzionalità V2H MONO-DIREZIONALI.

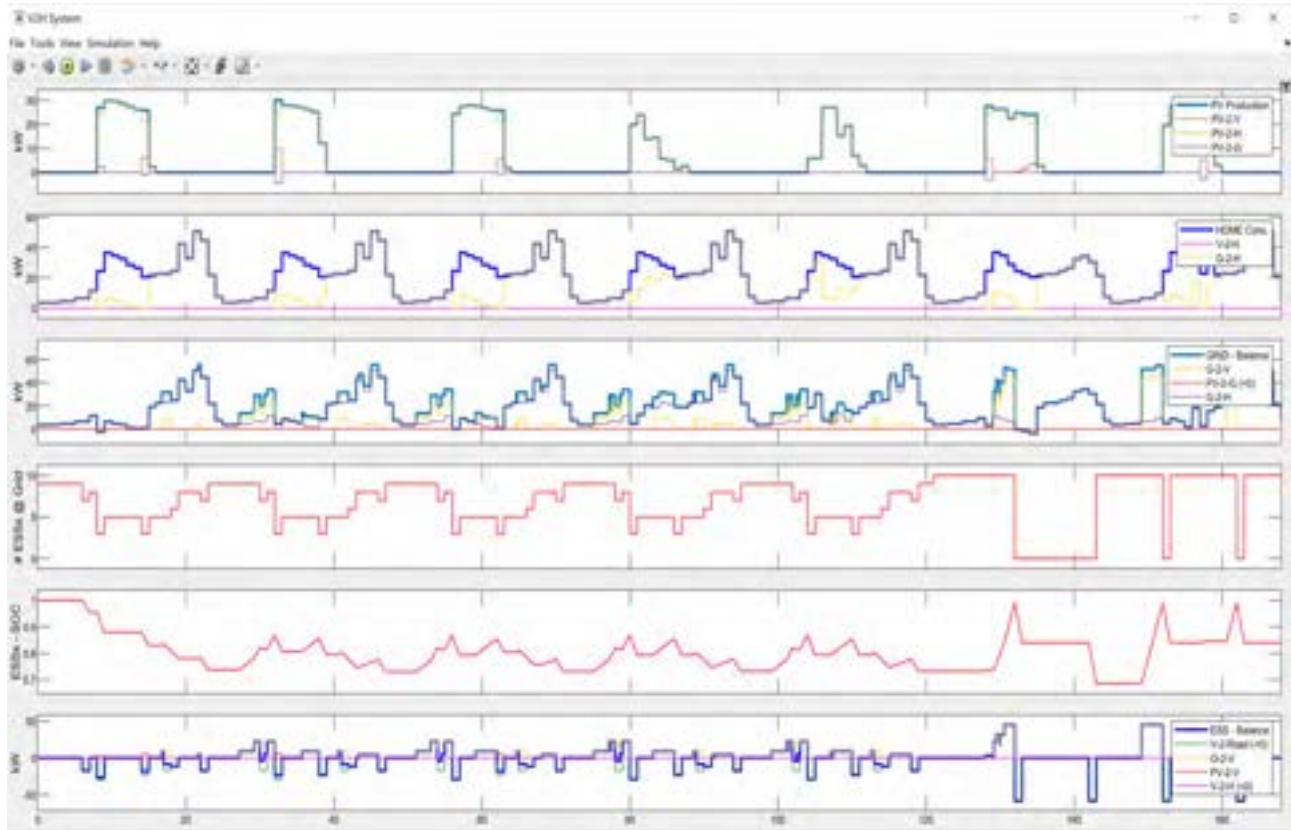


Figura 36: RETE CONDOMINIALE -INVERNO. CASO 1: Funzionalità V2H MONO-DIREZIONALI.

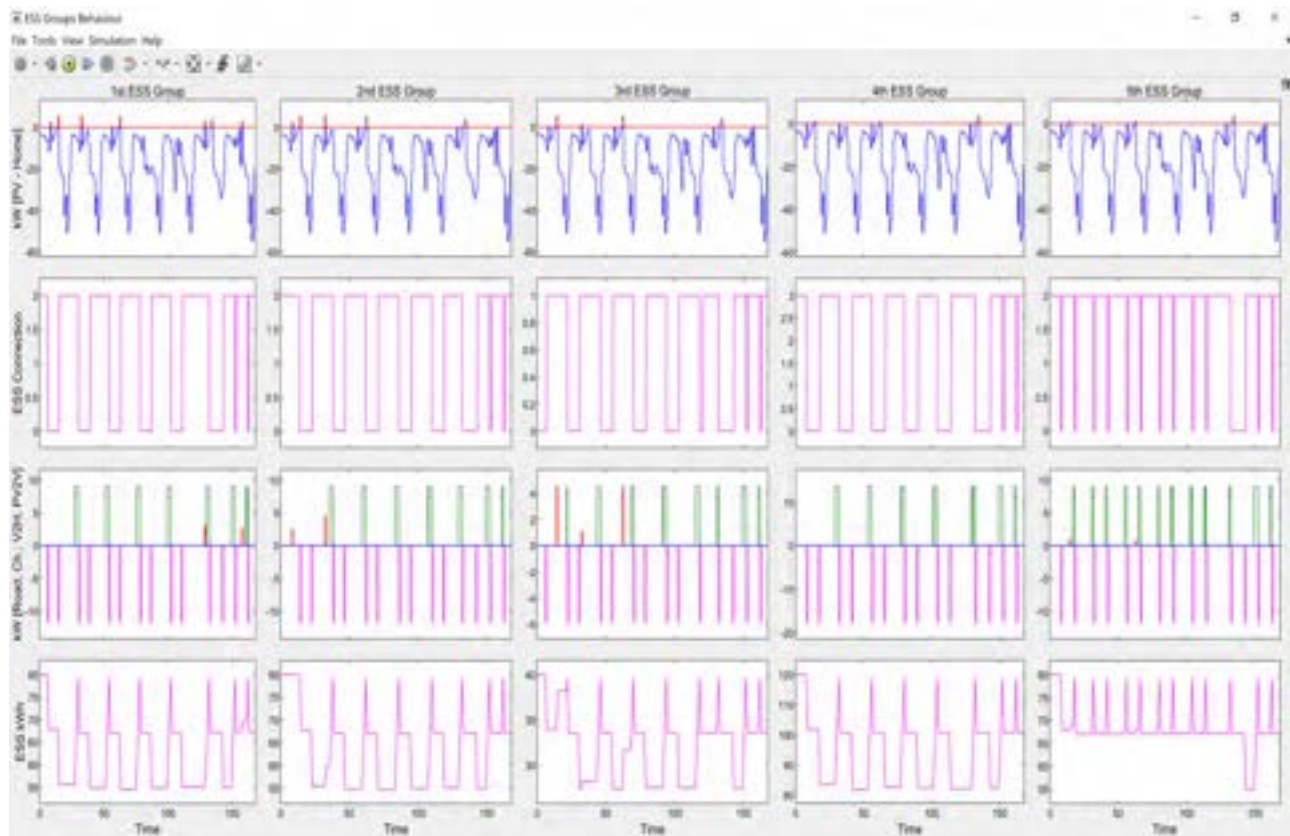


Figura 37: RETE CONDOMINIALE –INVERNO. CASO 1: Funzionalità V2H MONO-DIREZIONALI.

In figura 37, si può notare come, su base condominiale, in ESTATE buona parte della produzione estiva da PV alimenta i carichi elettrici PC per il riscaldamento. Pertanto solo poche e parziali operazioni di ricarica possono essere realizzate a spese della PV (in rosso nella terza riga dei grafici in Figura) incrementando l'autoconsumo.

Viceversa dalle figure 39 e 43 si evidenzia che, poiché, in PRIMAVERA ed in AUTUNNO non esistono carichi elettrici per riscaldamento e/o refrigerazione, molte delle operazioni di ricarica dei veicoli connessi possono essere realizzate a spese della produzione PV (in rosso nella terza riga dei grafici in Figura) incrementando l'autoconsumo.

Un comportamento intermedio tra quelli sopra descritti si può rilevare in ESTATE. Dove i carichi di refrigerazione sono alti ma non del tutto accoppiabili alle ampie disponibilità di energia da PV. Restano pertanto diverse opportunità di utilizzo di energia da PV per la ricarica dei sistemi di accumulo (curve (in rosso nella terza riga dei grafici in Figura 41).

In ultimo, in Figura 44 si riporta lo schema relativo alla gestione dei sistemi di accumulo, ma riferito all'intero anno simulato.

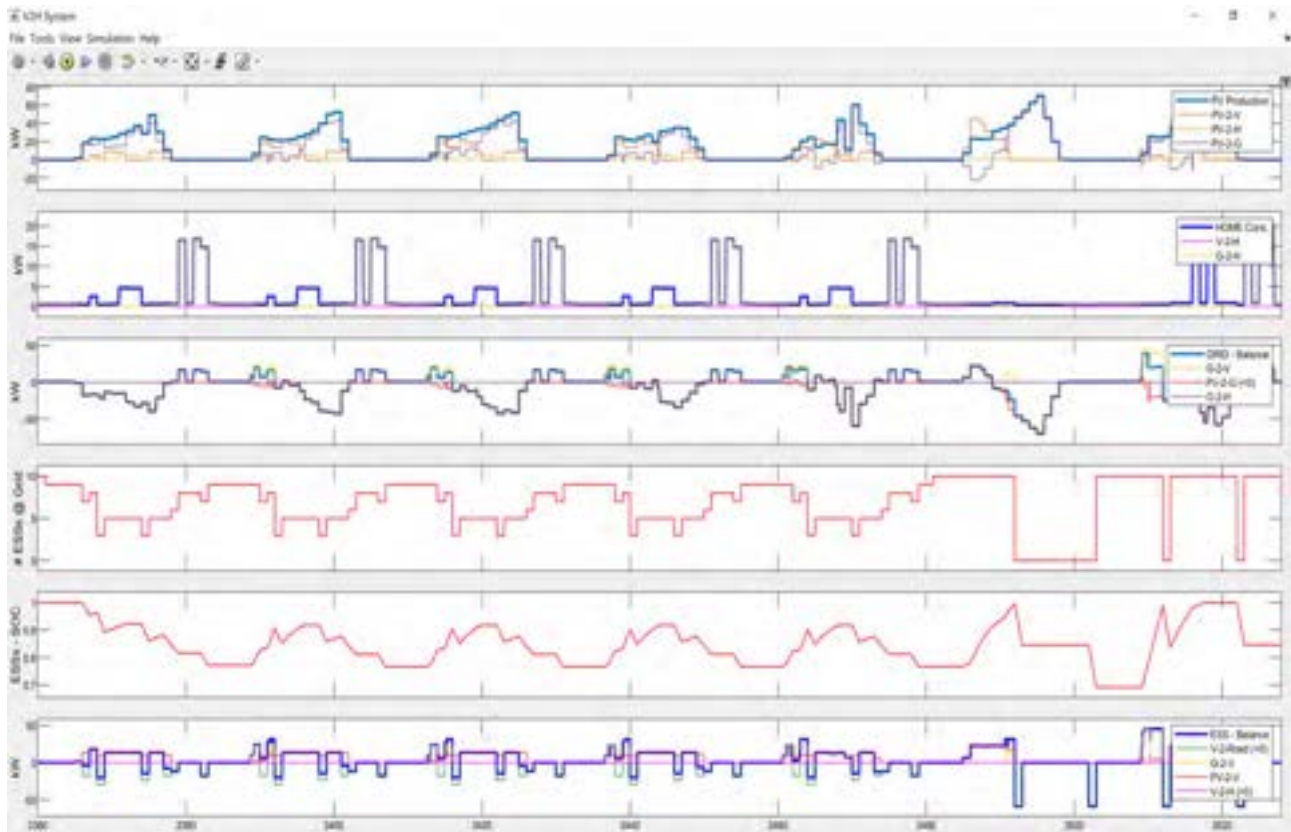


Figura 38: RETE CONDOMINIALE –PRIMAVERA. CASO 1: Funzionalità V2H MONO-DIREZIONALI.

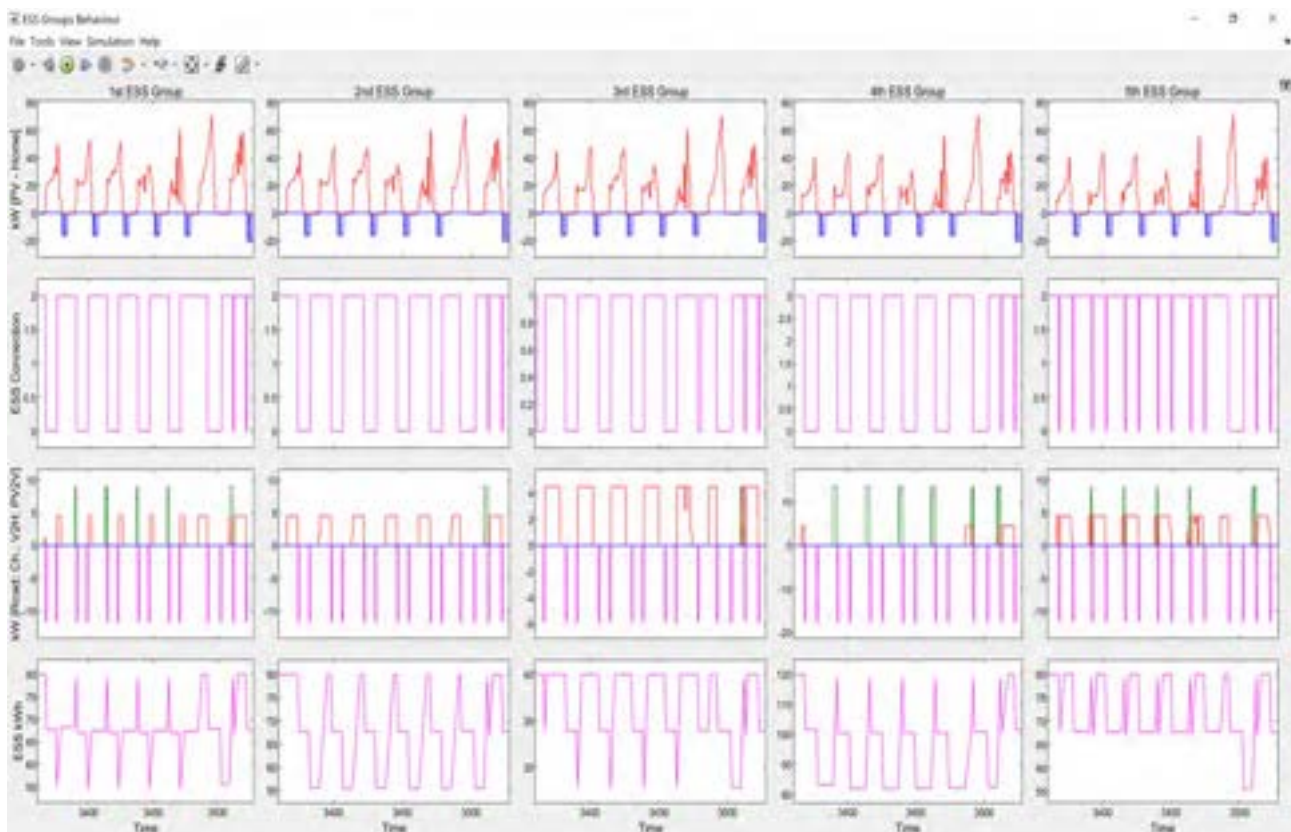


Figura 39: RETE CONDOMINIALE –PRIMAVERA. CASO 1: Funzionalità V2H MONO-DIREZIONALI.

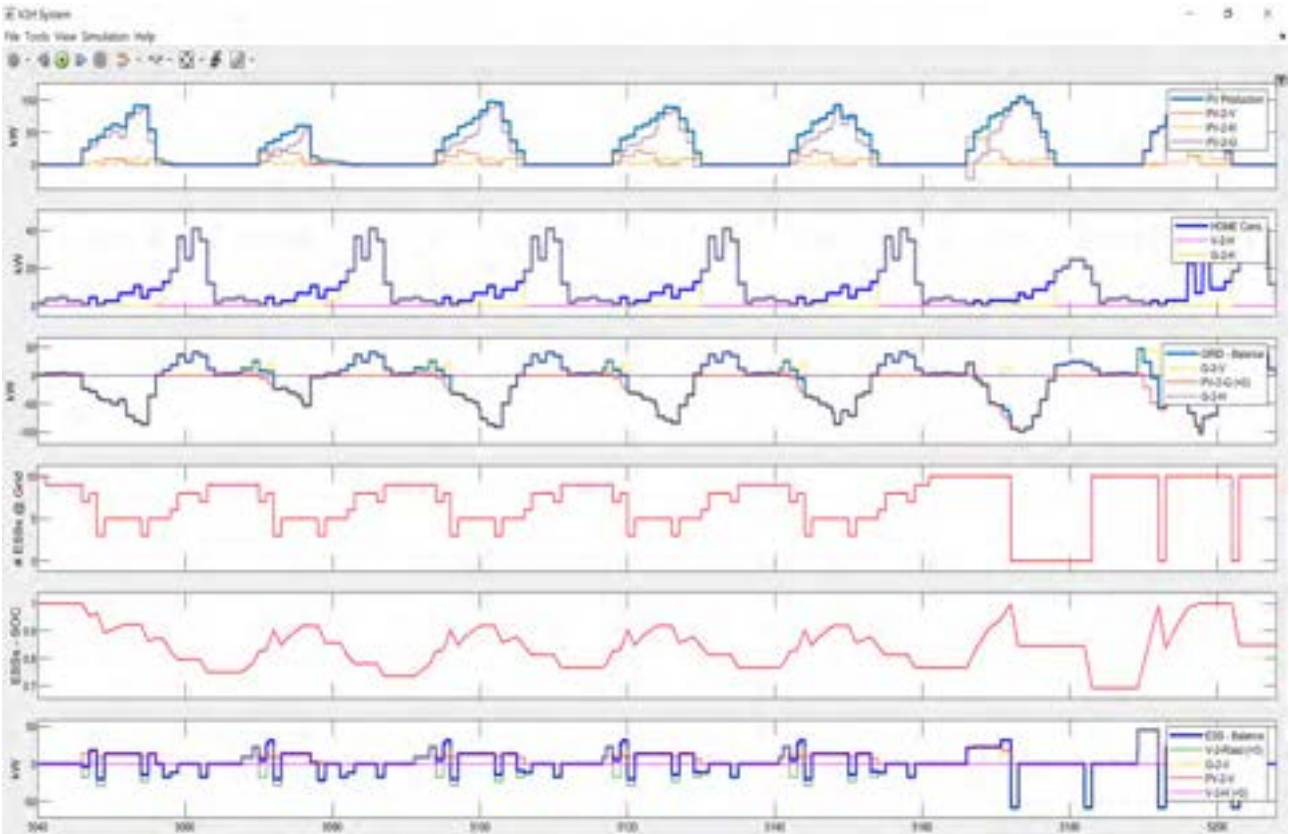


Figura 40: RETE CONDOMINIALE –ESTATE. CASO 1: Funzionalità V2H MONO-DIREZIONALI.

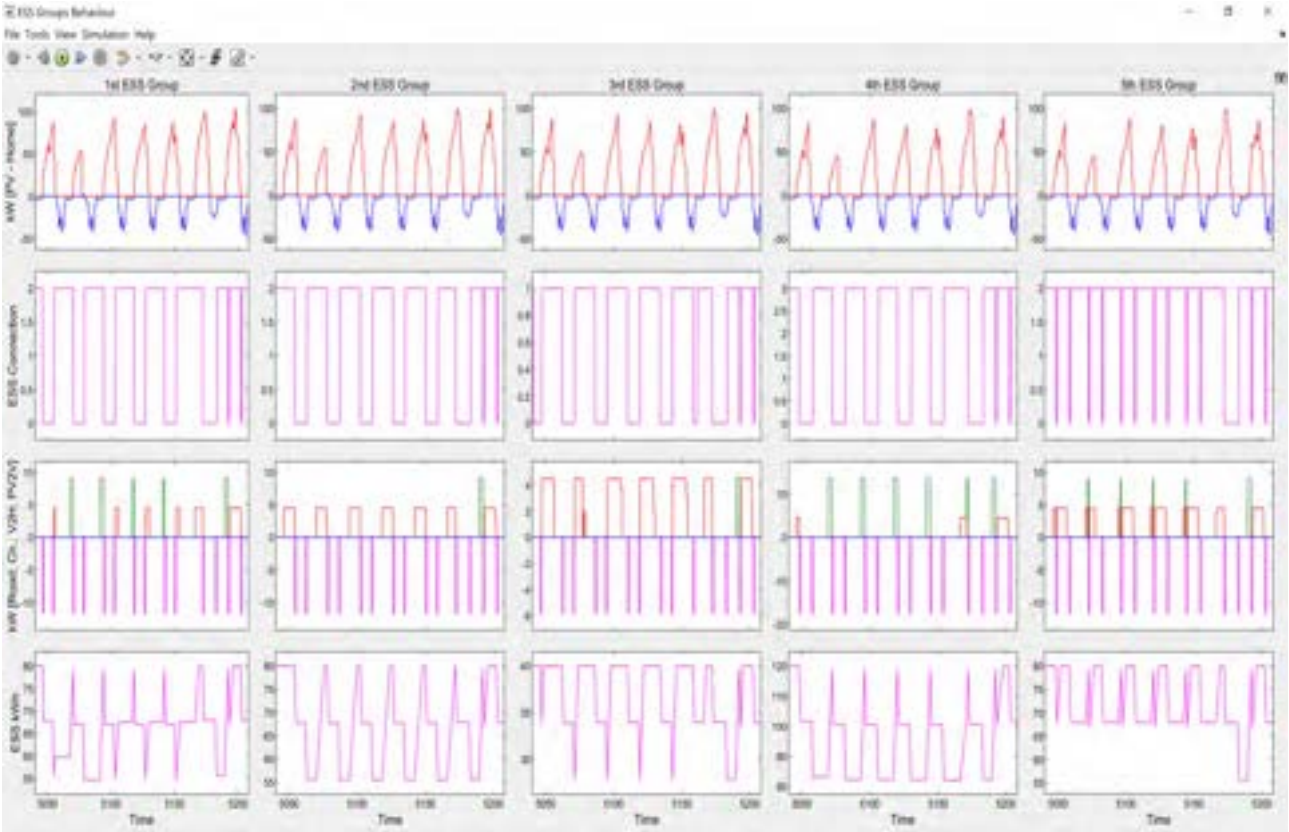


Figura 41: RETE CONDOMINIALE –ESTATE. CASO 1: Funzionalità V2H MONO-DIREZIONALI.



Figura 42: RETE CONDOMINIALE –AUTUNNO. CASO 1: Funzionalità V2H MONO-DIREZIONALI.

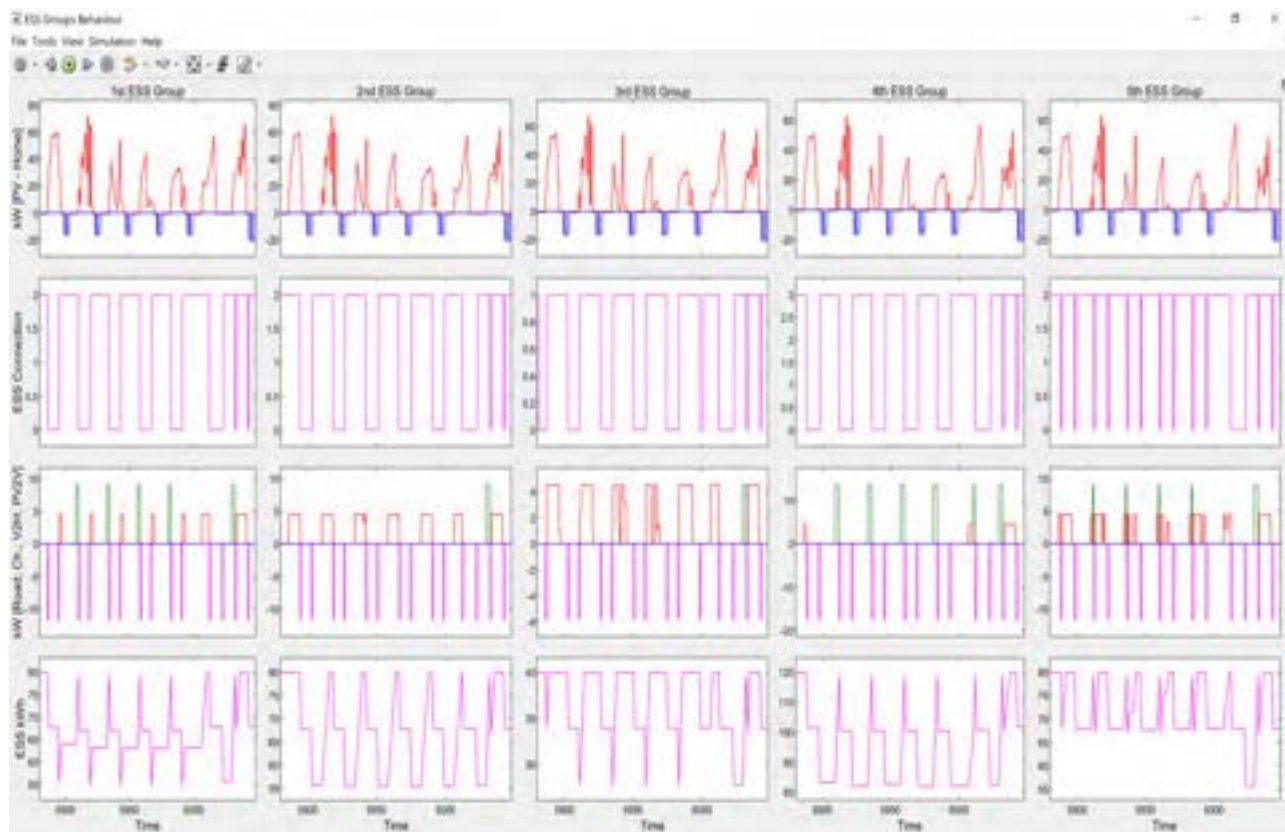


Figura 43: RETE CONDOMINIALE –AUTUNNO. CASO 1: Funzionalità V2H MONO-DIREZIONALI.

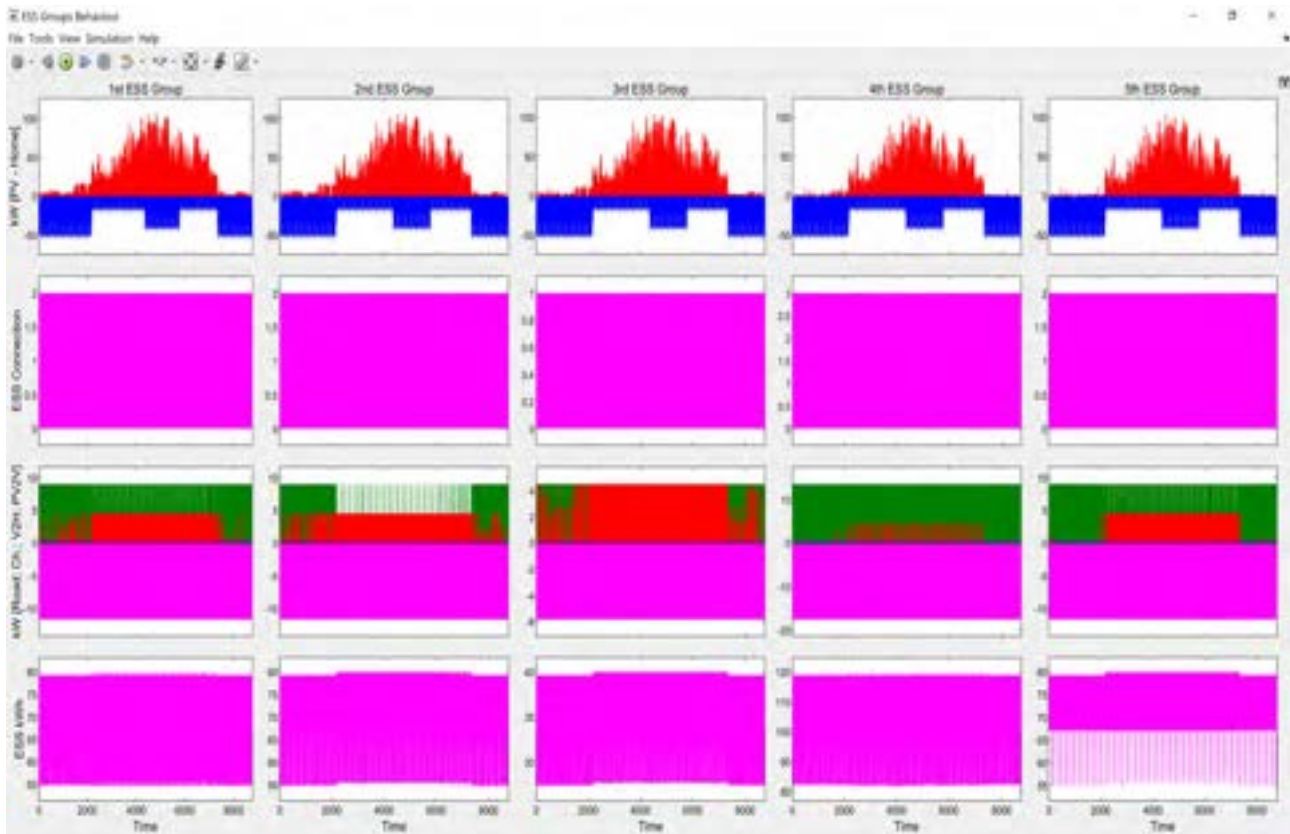


Figura 44: RETE CONDOMINIALE –INTERO ANNO. CASO 1: Funzionalità V2H MONO-DIREZIONALI.

CASO 2 – RETE CONDOMINIALE CON FUNZIONALITA' V2H BI-DIREZIONALI

In ultimo si è proceduto alla simulazione della stessa Rete Condominiale, ove siano implementate funzionalità V2H pienamente BI-DEREZIONALI dalle 10 stazioni di ricarica.

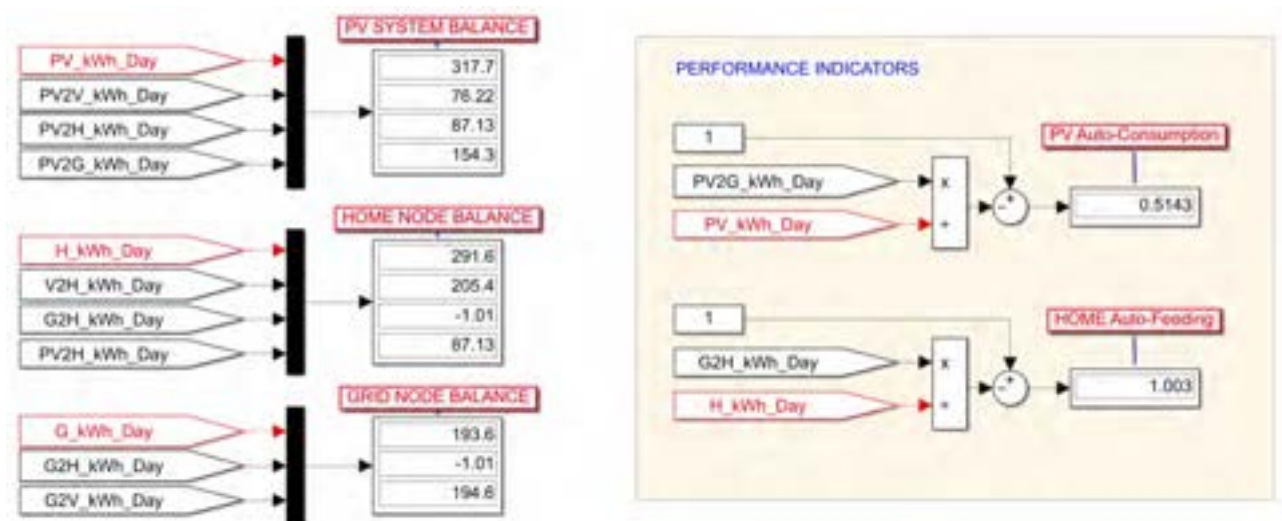


Figura 45: RETE CONDOMINIALE –INTERO ANNO. CASO 2: Funzionalità V2H BI-DIREZIONALI.

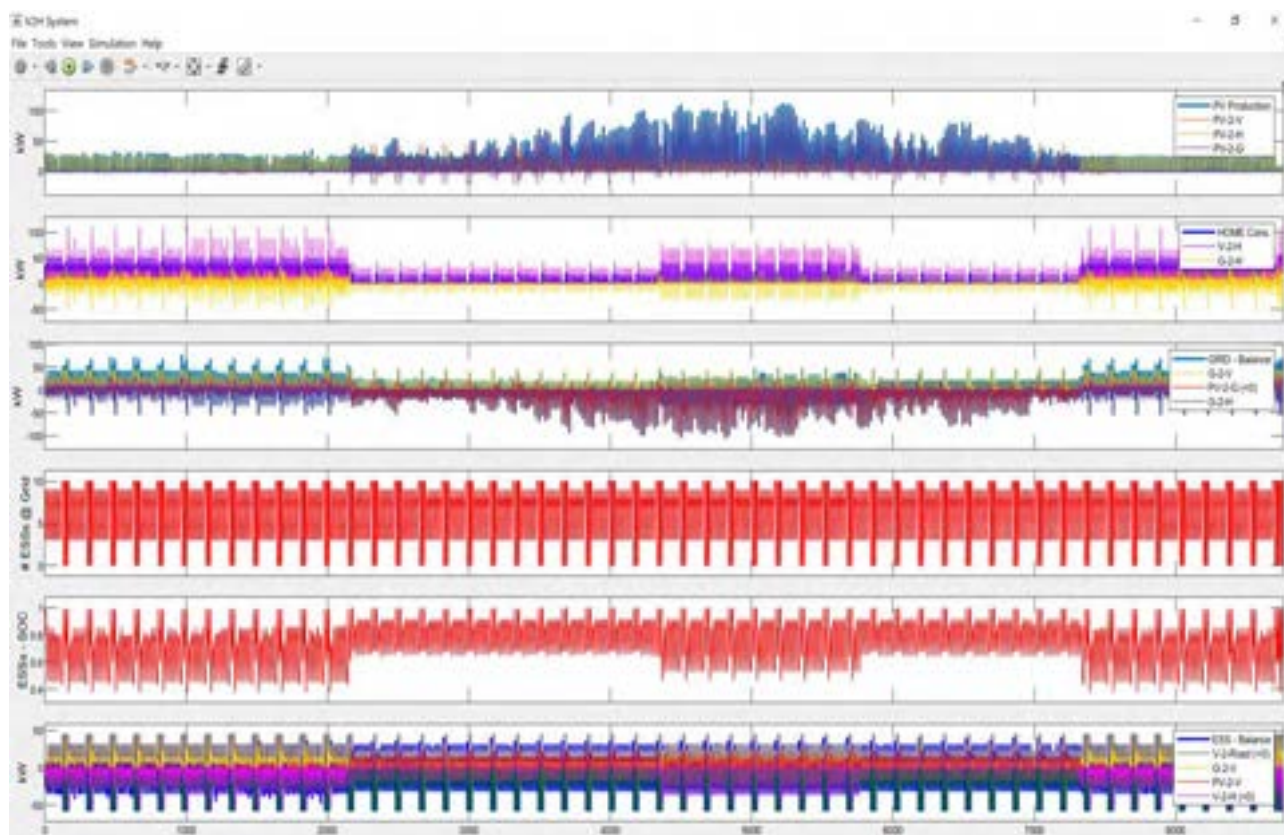


Figura 46: RETE CONDOMINIALE –INTERO ANNO. CASO 2: Funzionalità V2H BI-DIREZIONALI.

Questa configurazione è finalizzata non solamente alla massimizzazione dell’auto-consumo della produzione locale da PV (riferita al un totale delle 20 utenze condominiale, ivi comprese quelle che non dispongono di veicoli elettrici), ma anche alla auto-alimentazione della maggior parte dei consumi condominiali tramite i 10 sistemi di accumulo connessi.

La simulazione dell’intero anno di esercizio della Rete, riportata nelle Figure 45 e 46, mostra come l’autoconsumo da PV salga fino al 51% (incrementando fortemente le prestazioni ottenute nel caso base 27% del CASO BASE e non diminuendo significativamente rispetto al CASO1 di utilizzo V2H MONO-DIREZIONALI). Contemporaneamente i 10 sistemi di accumulo connessi si dimostrano sufficienti per alimentare le intere utenze condominiali che non fossero state alimentate in maniera diretta dal PV. IN questo modo si raggiunge il 100% di Auto-alimentazione dei consumi di rete e la concentrazione temporale massima possibile, nonché la massima possibile prevedibilità oraria dei piani di prelievo di energia della rete.

In seguito, come già fatto nel caso precedente, si riportano anche le trattazioni di dettaglio degli andamenti delle principali variabili in quattro settimane tipo INVERNALE, PRIMAVERILE, ESTIVA ed AUTUNNALE (Figure 47, 49, 51 e 53).

Per ognuna delle quattro settimane si riportano anche gli schemi di dettaglio relativi alla rappresentazione grafica della gestione “in cascata”, tramite lo stesso algoritmo base, dei cinque gruppi di Sistemi di accumulo connessi alla rete, relativi alle cinque differenti categorie di utenti possibili. Gli schemi relativi alle quattro differenti settimane sono rispettivamente riportati nelle Figure 48, 50, 52 e 54.

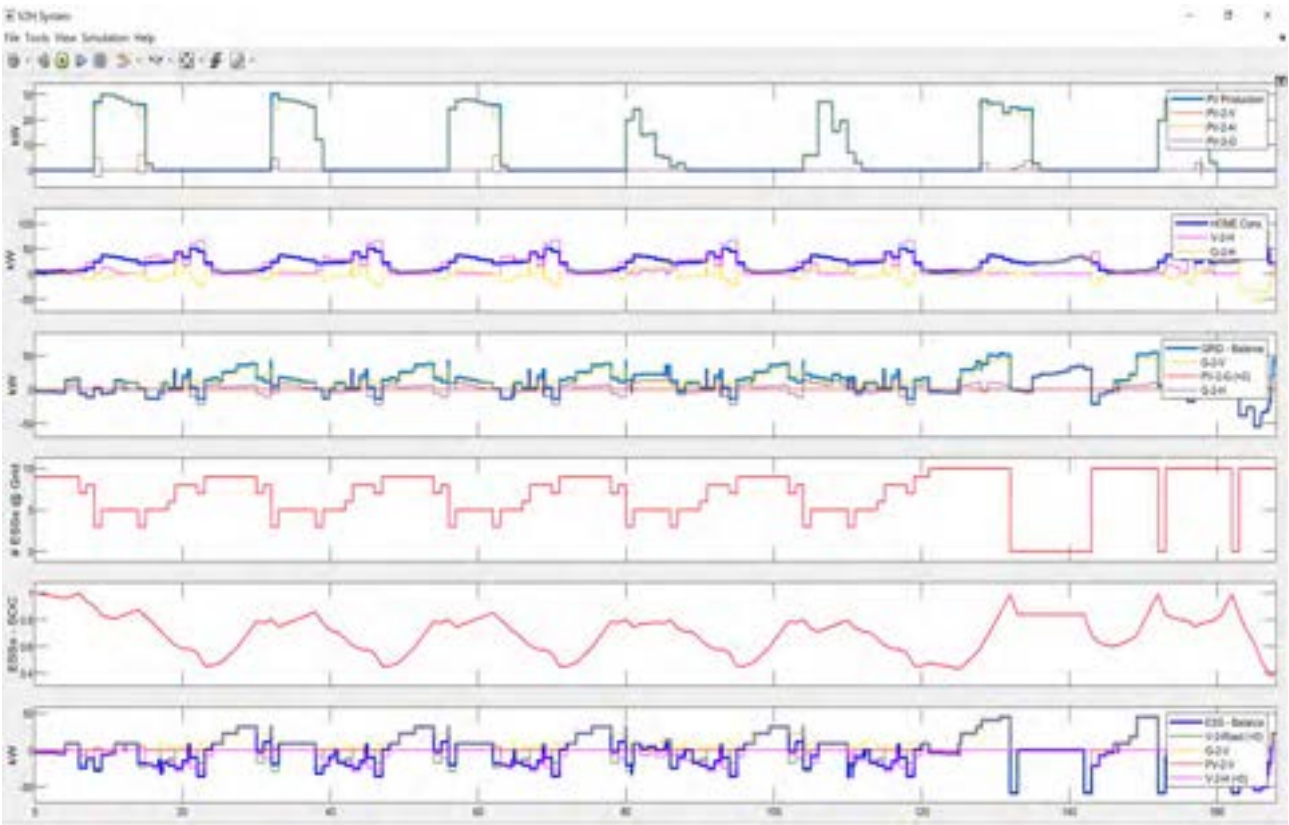


Figura 47: RETE CONDOMINIALE –INVERNO. CASO 2: Funzionalità V2H BI-DIREZIONALI.

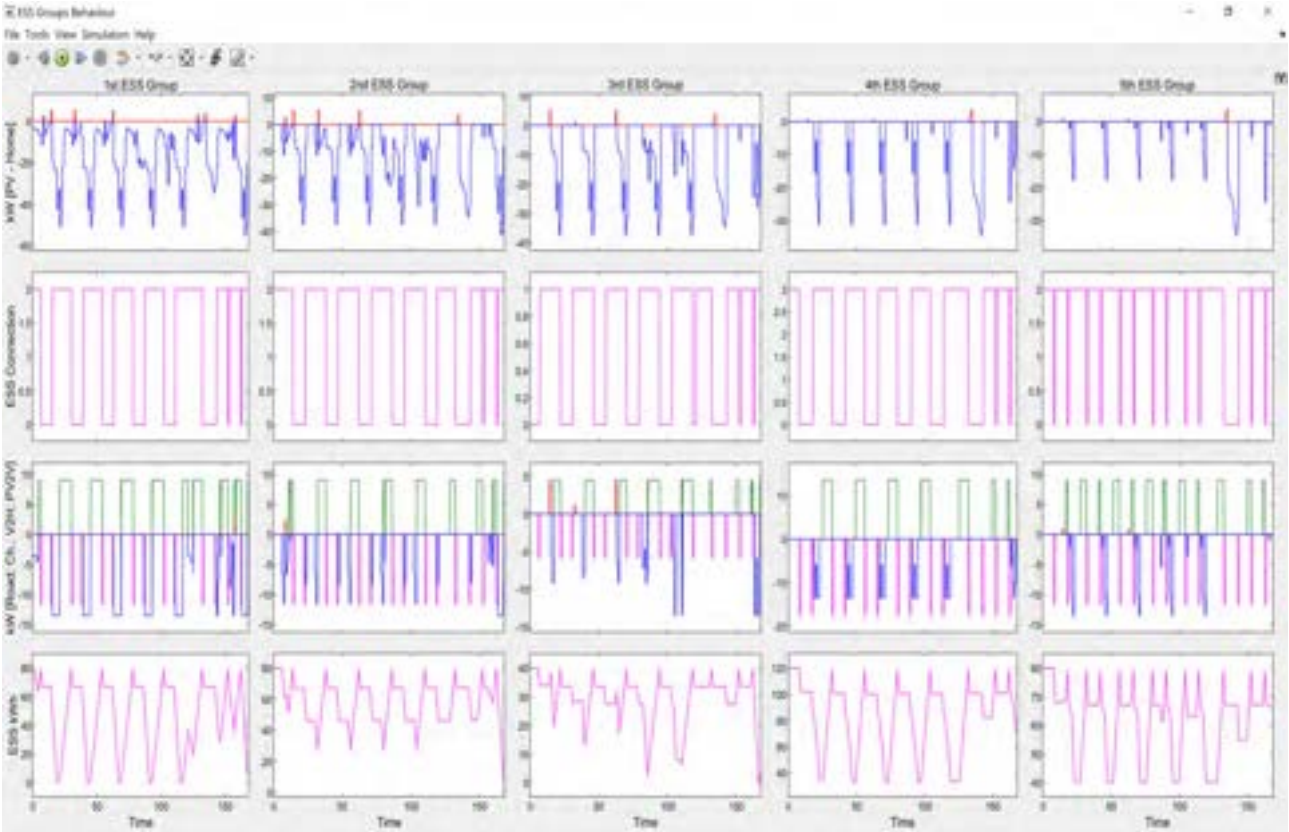


Figura 48: RETE CONDOMINIALE –INVERNO. CASO 2: Funzionalità V2H BI-DIREZIONALI.

La figura 48 mostra come, si può notare come, su base condominiale, in ESTATE buona parte della produzione estiva da PV alimenta i carichi di i carichi elettrici PC per il riscaldamento. Pertanto solo poche e parziali operazioni di ricarica possono essere realizzate a spese della PV (in rosso nella terza riga dei grafici in Figura) incrementando l'autoconsumo. Viceversa l'intero consumo condominiale per il riscaldamento può essere auto-alimentato, in parte dalla produzione e, nella parte residua dai sistemi di accumulo connessi alla rete (curve in Blu nella terza riga dei grafici in Figura).

Viceversa le figure 50 e 54 evidenziano come in PRIMAVERA ed in AUTUNNO, non esistendo carichi elettrici per riscaldamento e/o refrigerazione, molte delle operazioni di ricarica dei veicoli connessi possano essere realizzate a spese della produzione PV (in rosso nella terza riga dei grafici in Figura) incrementando l'autoconsumo.

Un comportamento intermedio tra quelli sopra descritti si può rilevare in ESTATE. Dove i carichi di refrigerazione sono alti ma non del tutto accoppiabili alle ampie disponibilità di energia da PV. Restano pertanto diverse opportunità di utilizzo di energia da PV per la ricarica dei sistemi di accumulo (curve (in rosso nella terza riga dei grafici in Figura 52).

In tutte le stagioni la totalità del consumo può essere auto-alimentato dalla combinazione tra produzione PV delle 20 utenze e dai 10 sistemi di accumulo alternativamente connessi alla rete.

In ultimo, in Figura 55 si riporta lo schema relativo alla gestione dei sistemi di accumulo, ma riferito all'intero anno simulato.



Figura 49: RETE CONDOMINIALE –PRIMAVERA. CASO 2: Funzionalità V2H BI-DIREZIONALI.

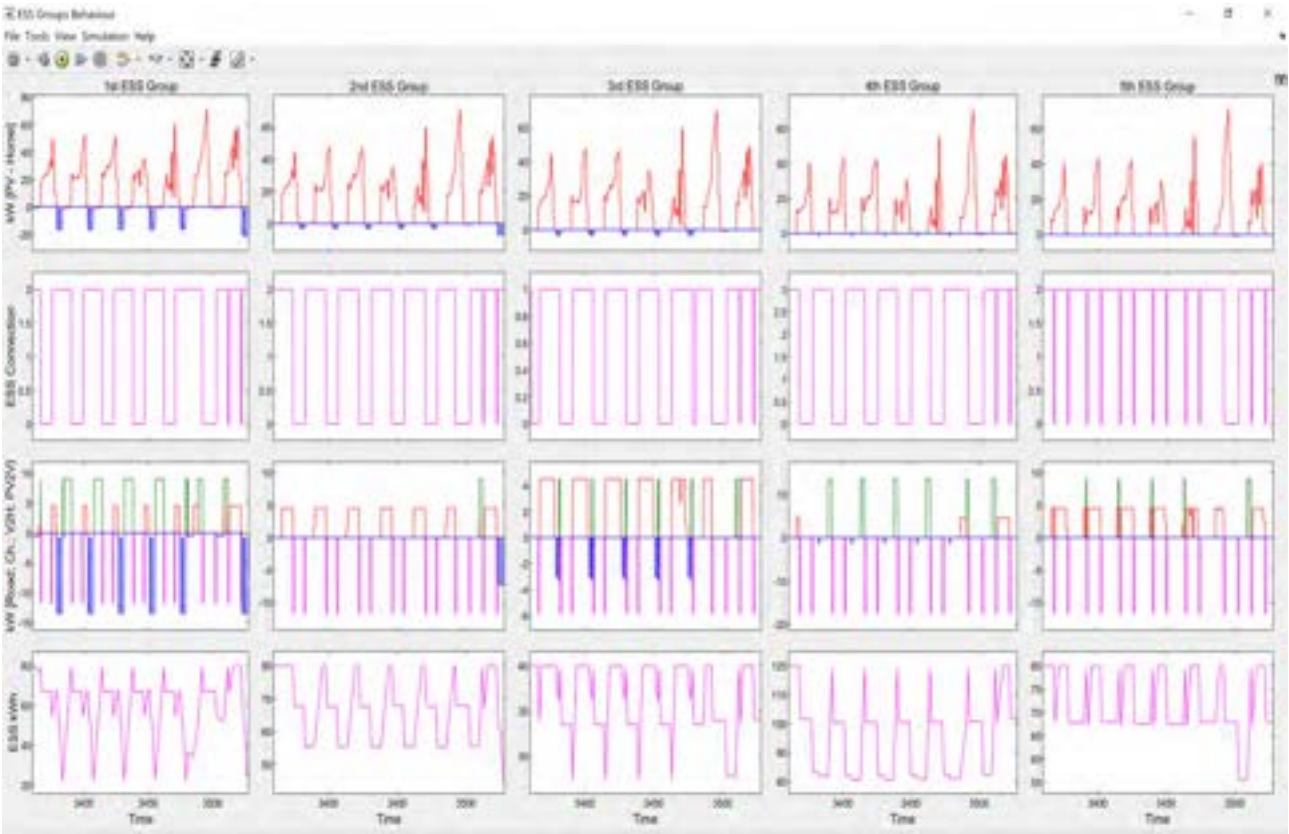


Figura 50: RETE CONDOMINIALE –PRIMAVERA. CASO 2: Funzionalità V2H BI-DIREZIONALI.

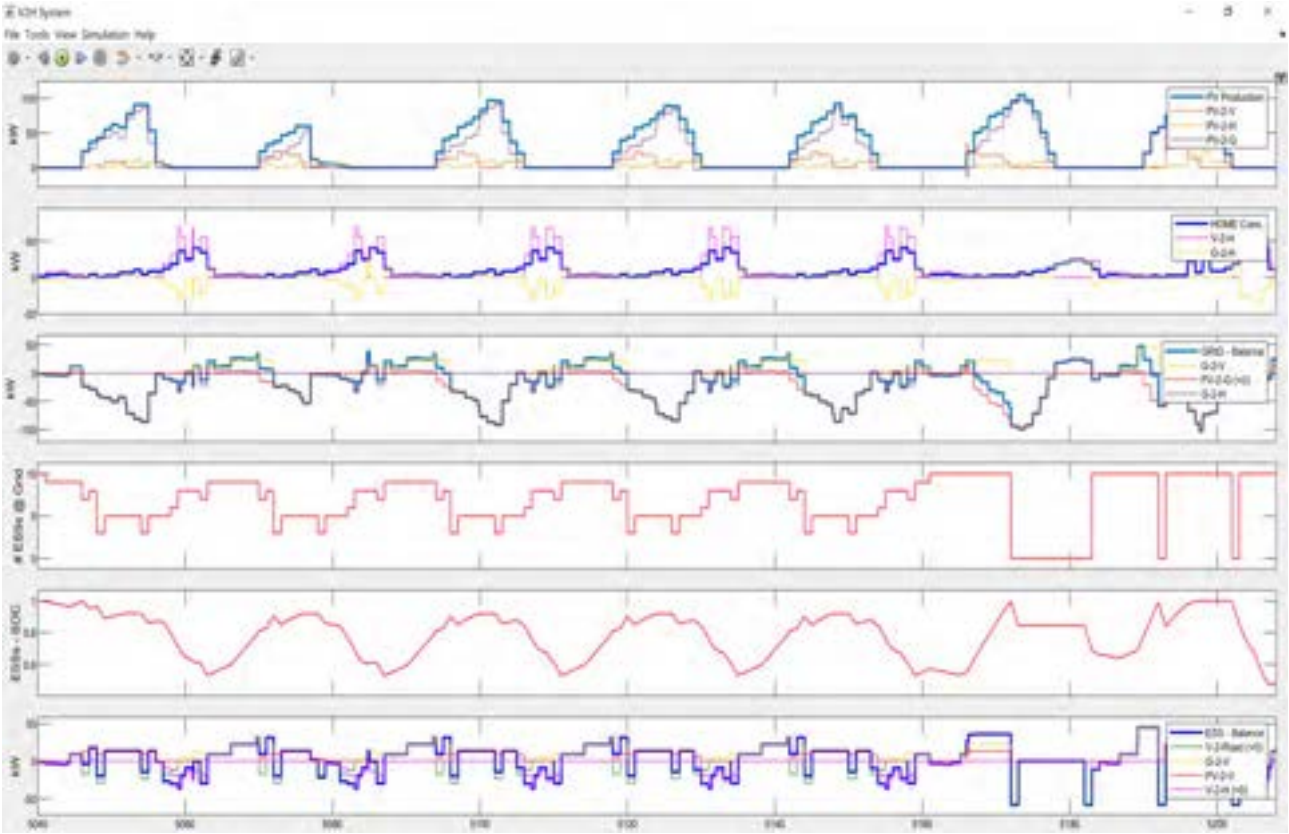


Figura 51: RETE CONDOMINIALE –ESTATE. CASO 2: Funzionalità V2H BI-DIREZIONALI.

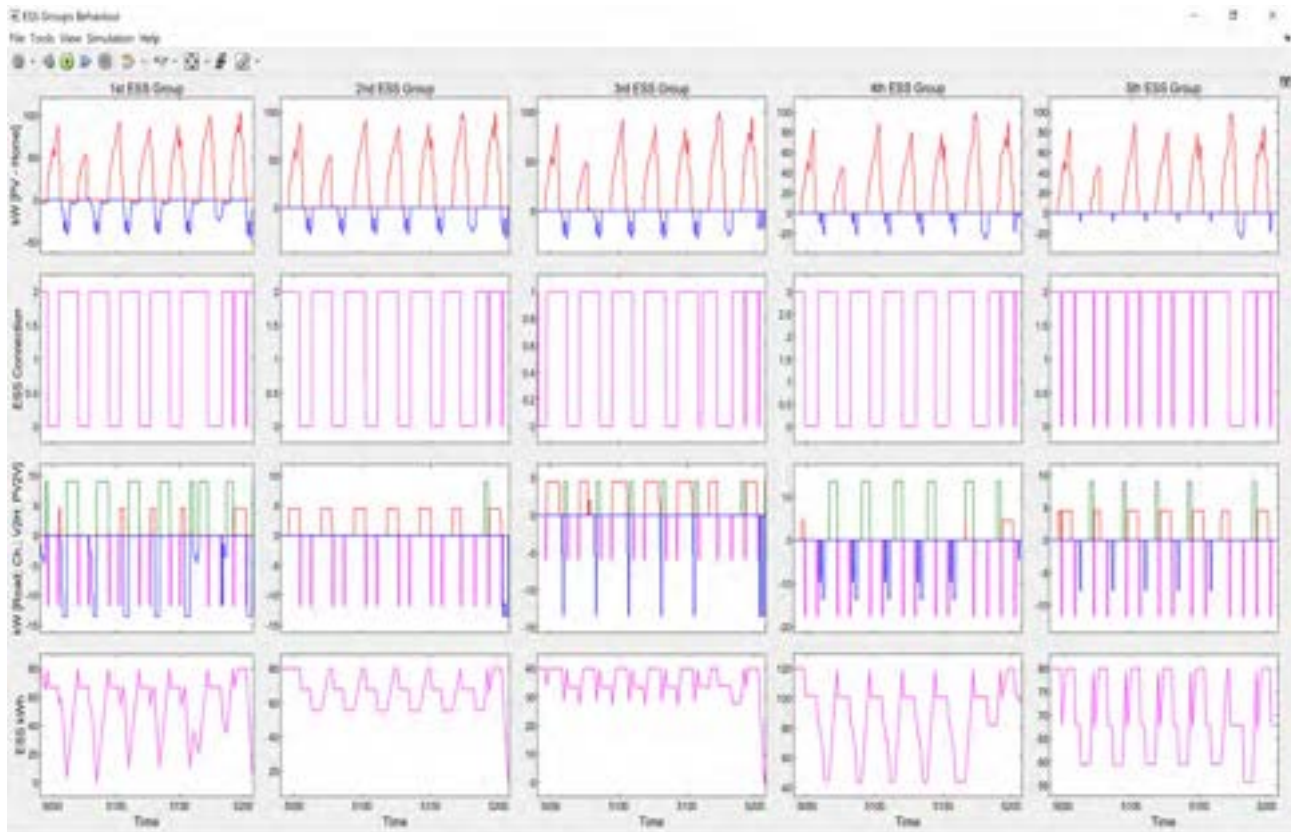


Figura 52: RETE CONDOMINIALE –ESTATE. CASO 2: Funzionalità V2H BI-DIREZIONALI.

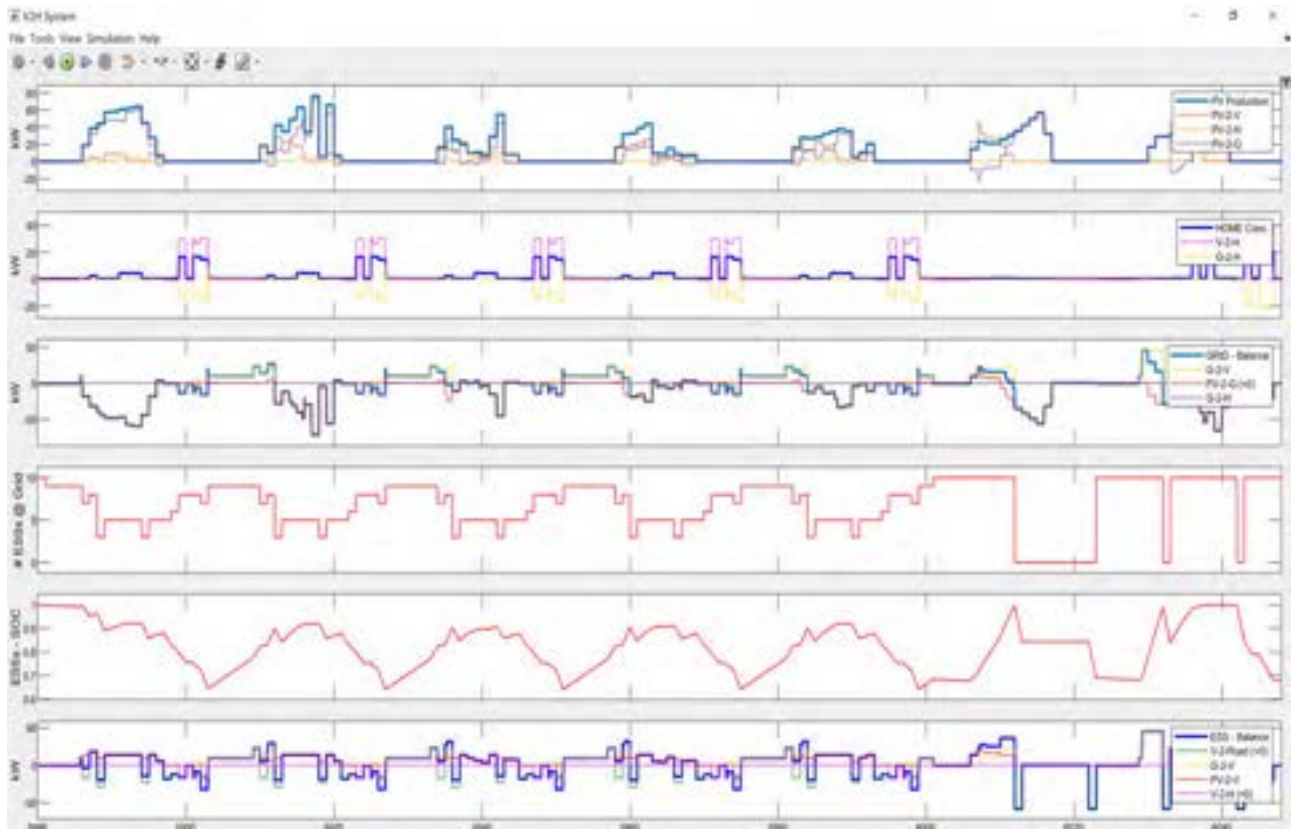


Figura 53: RETE CONDOMINIALE –AUTUNNO. CASO 2: Funzionalità V2H BI-DIREZIONALI.

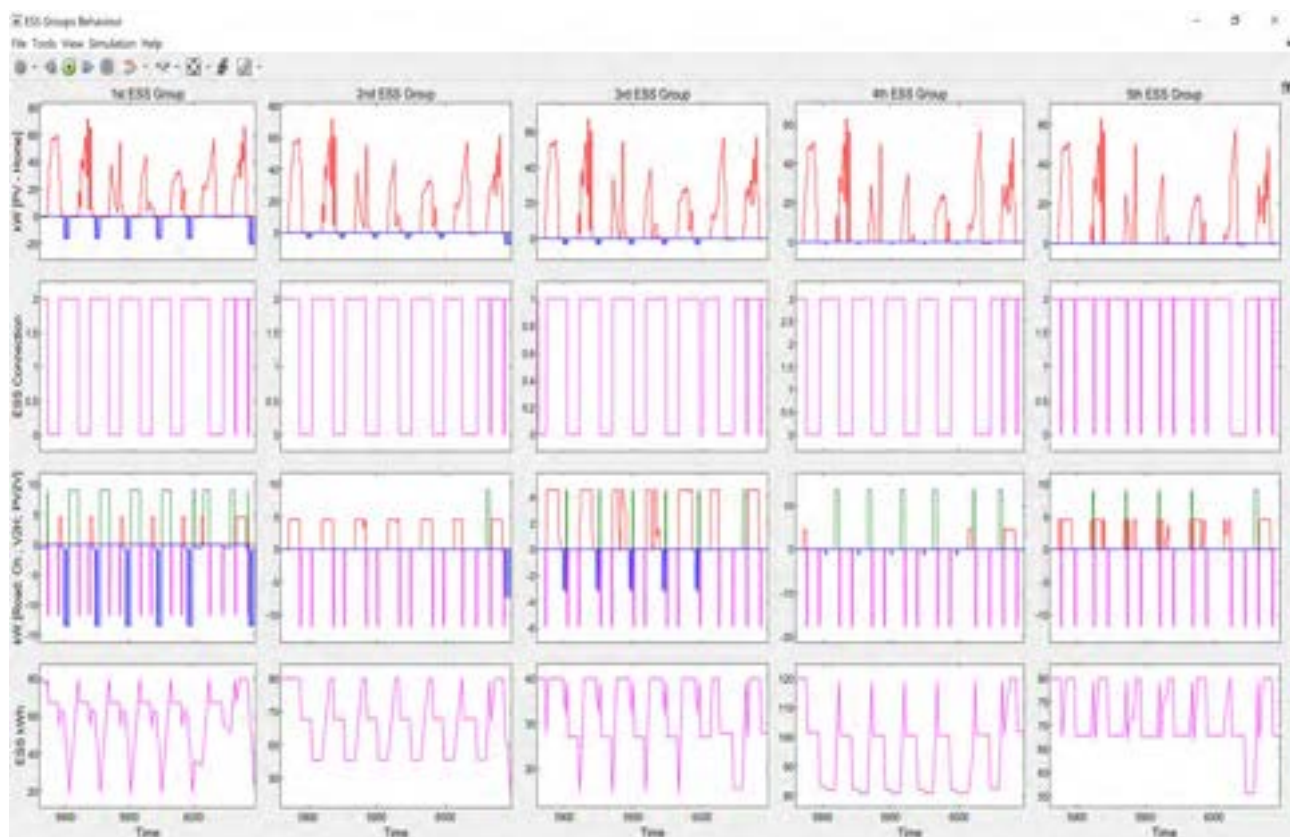


Figura 54: RETE CONDOMINIALE –AUTUNNO. CASO 2: Funzionalità V2H BI-DIREZIONALI.

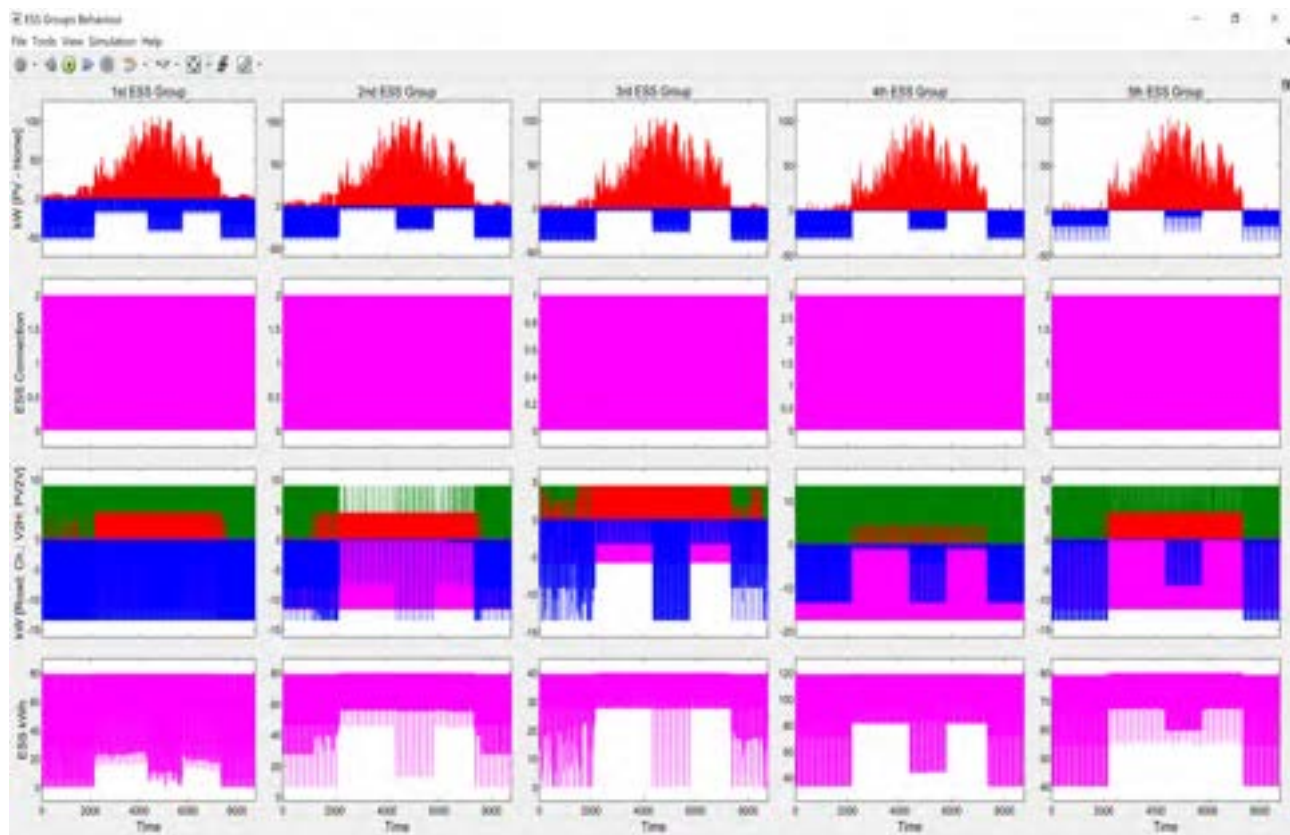


Figura 55: RETE CONDOMINIALE –INTERO ANNO. CASO 2: Funzionalità V2H BI-DIREZIONALI.

Conclusioni

In questa relazione si riportano i risultati di una attività di ricerca finalizzata alla valutazione dei benefici ottenibili tramite l'utilizzo di sistemi di ricarica per veicoli elettrici che possano implementare logiche di controllo intelligenti (MONO o BI-DIREZIONALI).

A tal fine sono state categorizzate 5 differenti categorie di utenti. Di ognuna di esse sono stati e caratterizzati con completezza i "Comportamenti elettrici" attesi.

In seguito si è sintetizzato un algoritmo di gestione dei sistemi V2H finalizzato all'ottimizzazione delle prestazioni di rete, concretizzata nella massimizzazione contemporanea dell'autoconsumo di energia prodotta da fonti rinnovabili e della auto-alimentazione dei consumi locali tramite sistemi locali (Produzione da Fotovoltaico e/o alimentazione dai sistemi di accumulo automobilistici).

Si è quindi proceduto alla realizzazione di un SW in ambiente Matlab-Simulink per la simulazione dei benefici attesi nell'utilizzo di sistemi V2H che implementino l'algoritmo di gestione ipotizzato, sia in contesti residenziali mono-utenza, sia per utenze condominiali interconnesse (sistemi V2B), nelle quali la disponibilità di sistemi di accumulo connessi alla rete possa essere utilizzata per ottimizzare l'intero piano di prelievo condominiale.

I risultati relativi alle singole utenze mostrano, come nelle attese, che alcune delle categorie di utenza possano ottenere benefici decisamente maggiori delle altre, ma anche come in generale si possano ottenere per tutte le tipologie benefici complessivi di notevole entità.

In ultimo i risultati relativi all'ottimizzazione delle reti condominiali sono estremamente promettenti, mostrando come la messa a disposizione dei sistemi di accumulo per il servizio relativo all'intero rete condominiale possa produrre benefici molto maggiori dell'utilizzo degli stessi sistemi in modo isolato dalle singole utenze.

Resta però ancora da individuare un modello di gestione che definisca anche la priorità di utilizzo dei singoli sistemi e ne quantifichi l'impiego in modo da ripartire anche il beneficio economico connesso ai servizi resi per la propria utenza locale e per l'intera rete condominiale. Tale ultima attività era d'altronde ben al di là degli obiettivi della presente linea di attività e sarà pertanto oggetto di successivi approfondimenti.

Appendice A - 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 Impianti 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 editate sulle principali riviste di settore e/o presentate nei principali congressi internazionali.