

Ricerca di Sistema elettrico



Analisi e progettazione di nuove soluzioni per la gestione ottimizzata del sistema S.A.P.I.EN.T.E., anche tramite logiche Demand Side Management e di sistemi smart per la contabilizzazione individuale nel contesto delle CER e dell'AUC condominiale

Alessandro Lorenzo Palma, Luca La Notte, Biagio Di Pietra,
Emilio Monno, Marianna De Monaco

TITOLO: LA4.1 Analisi e progettazione di nuove soluzioni per la gestione ottimizzata del sistema S.A.P.I.EN.T.E., anche tramite logiche Demand Side Management e di sistemi smart per la contabilizzazione individuale nel contesto delle CER e dell'AUC condominiale

Autori: Alessandro Lorenzo Palma, Luca La Notte, Emilio Monno, Biagio Di Pietra, EN

Marianna De Monaco, Dottoranda ENEA - Università di Cassino e del Lazio Meridionale

Con il contributo di: G. Landi, A. Ciappa, F. Erice (ENEA)

Giugno 2023

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA
Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: 1.5: *Edifici ad alta efficienza per la transizione energetica*

Linea di attività: 4.1

Responsabile del Progetto: Giovanni, Puglisi, ENEA

Responsabile del Work Package: Biagio, Di Pietra, ENEA

Responsabile Linea di Attività: ENEA

Mese inizio previsto: 1

Mese inizio effettivo: 18

Mese fine previsto: 1

Mese fine effettivo: 18

Indice

1	RISULTATI ATTESI	3
2	RISULTATI OTTENUTI.....	4
3	PRODOTTI ATTESI.....	6
4	PRODOTTI SVILUPPATI	6
5	ANALISI DEGLI SCOSTAMENTI SU ATTIVITÀ E RISULTATI.....	7
6	SINTESI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	7
7	DETTAGLIO DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	8
8	CONTRIBUTO DELLE EVENTUALI CONSULENZE ALLE ATTIVITÀ SOPRA DESCRITTE	31
9	PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE	31
10	EVENTI DI DISSEMINAZIONE.....	32

1 Risultati attesi

1.1 Sistema S.A.P.I.EN.T.E.

- Progetto di modifica impiantistica del sistema S.A.P.I.EN.T.E. per ampliare le configurazioni AUC riproducibili e superare le criticità riscontrate nel precedente triennio. Il progetto prevede: i) una nuova cabina e relativi quadri elettrici utile al posizionamento e all'alimentazione dei nuovi componenti del sistema S.A.P.I.EN.T.E.; ii) dispositivi per emulare i profili di carico elettrico degli utenti di una micro-comunità energetica; iii) un convertitore con accumulo in grado di gestire potenzialmente più fonti energetiche rinnovabili eterogenee presenti nella stessa configurazione AUC (ad esempio, fotovoltaico, termofotovoltaico o eolico); iv) un nuovo quadro elettrico con un sistema di smart metering al fine di ottimizzare la gestione dei supercondensatori e dell'impianto termofotovoltaico con logica a "scambio zero". L'ultimo intervento verrà progettato e realizzato nell'ambito della presente LA, gli altri interventi verranno realizzati nella LA 4.2.
- Esecuzione di prove sperimentali con logiche power to heat ottimizzate, applicate al sistema fotovoltaico-pompa di calore-accumulo termico integrando il contributo di un accumulo elettrico a supercondensatori; sarà inclusa un'analisi economica dei risultati valutando le attuali fluttuazioni delle tariffe elettriche e, in particolare, quelle relative ai valori dell'energia immessa in rete secondo il ritiro dedicato. Le prove verranno condotte applicando carichi termici reali (connessione all'adiacente edificio uffici) o eventualmente emulati con gli appositi dry cooler.
- Definizione e progettazione di un sistema sinottico in grado di visualizzare con maggior dettaglio i flussi energetici delle configurazioni sperimentali provate con il sistema S.A.P.I.EN.T.E. In particolare, verrà riprodotto graficamente lo schema di una configurazione AUC condominiale. Il sistema sinottico verrà implementato nella nuova piattaforma di controllo nella LA4.2.
- Definizione degli schemi e dei componenti necessari ad integrare un sistema tipo SCADA con l'attuale sistema di controllo a cui sarà affidata, nel corso della LA4.2, la gestione della parte grafica e di interfaccia di S.A.P.I.EN.T.E. con l'operatore.
- Definizione dei modelli e dei protocolli di comunicazione per implementare in Simulink Real-Time il sistema di controllo di S.A.P.I.EN.T.E.; questa nuova soluzione, interagendo con l'attuale PLC, consentirà di provare in modo più flessibile nuove logiche di gestione del sistema ibrido.

1.2 Sistema hardware e software per l'implementazione di logiche tipo Demand Side Management:

- Individuazione delle logiche DSM e DR che possano essere implementate al fine di aumentare le capacità di responsività e autoconsumo delle reti afferenti alle comunità energetiche.
- Valutazione delle logiche vehicle-to-grid che possano essere associate alle logiche DSM e DR precedentemente individuate nel contesto building-to-grid, compresa l'identificazione dei parametri e i relativi gradi di libertà sui quali potrà eventualmente intervenire l'utente.
- Analisi preliminare per verificare la possibile implementazione delle logiche DSM e DR all'interno di un sistema di controllo hardware-software commerciale o realizzato su misura. In particolare, verrà verificata la compatibilità di quest'ultimo con tutti i protocolli di comunicazione che caratterizzano i dispositivi del sistema sperimentale S.A.P.I.EN.T.E.

1.3 Piattaforma web (EMPOWER) per il monitoraggio dei consumi nei contesti condominiali:

- Ottimizzazione e aggiornamento di EMPOWER in base ai feedback forniti dagli utenti dei condomini esaminati durante la stagione climatica 2022/23.

- Descrizione delle caratteristiche di un nuovo condominio da integrare in EMPOWER avente configurazioni impiantistiche potenzialmente compatibili con schemi AUC e relativa simulazione per la valutazione dei consumi attesi utile al calcolo dell'indicatore energetico semplificato.
- Definizione di specifici indicatori relativi all'adozione dello schema di Autoconsumo Collettivo (AUC) per il condominio individuato, compresa la definizione della modalità di monitoraggio dei consumi elettrici, in termini di schemi di installazione e selezione di dispositivi di smart metering (es. dispositivi d'utente che dialogano con il Chain 2 dei contatori elettronici di seconda generazione).
- Selezione di una tipologia di sensore multiparametrico (ad es. temperatura, umidità, CO2, VOC) più adatta per monitorare il livello di confort all'interno delle abitazioni e, allo stesso tempo correlare i comportamenti energetici degli occupanti (es. apertura/chiusura finestre, impostazione temperatura...). Inoltre, sarà effettuata un'analisi di mercato per individuare sistemi intelligenti di termoregolazione ambientale, al fine di valutare i risparmi energetici ottenibili da un controllo ottimale della temperatura rispetto a una termoregolazione centralizzata. Verrà valutata l'installazione dei suddetti dispositivi per almeno un caso studio.

1.4 *Smart Readiness Indicator (SRI)*

- Analisi del quadro nazionale ed europeo sullo stato di attivazione dello SRI; l'analisi valuterà inoltre i primi risultati delle fasi di test già avviate dagli altri Stati membri.
- Completamento del foglio di calcolo ottimizzato per l'applicazione nazionale dello SRI degli edifici. Rispetto alla versione resa disponibile dalla Commissione Europea, il nuovo foglio di calcolo prevede: i) la modifica dei pesi associati al calcolo dei punteggi parziali e del punteggio complessivo, ii) la traduzione in italiano del catalogo dei servizi tecnici da valutare, iii) l'implementazione di automatismi che facilitano l'applicazione a diverse categorie di edifici.
- Analisi tecnico economica associata ai diversi livelli di SRI raggiunti eseguendo interventi di retrofit sui servizi tecnici di edifici reali. Verranno valutati i costi specifici (es. €/mq) per ottenere un incremento dello smartness degli edifici associati a diversi scenari di interventi.

2 Risultati ottenuti

2.1 *Sistema S.A.P.I.EN.T.E.:*

• Nell'ambito della La 4.1 sono stati definiti e dimensionati gli interventi di modifica e integrazione impiantistica del sistema S.A.P.I.EN.T.E. per ampliare le configurazioni sperimentali di Autoconsumo Collettivo riproducibili con la test facility e per superare le criticità riscontrate nel precedente triennio; la progettazione degli interventi, descritti nel dettaglio nel rapporto tecnico allegato (ENEA22_24-PR 1.5_LA4.1_084_ALLEGATO), prevede : i) una nuova cabina, con inerenti quadri elettrici, utile al posizionamento e all'alimentazione dei nuovi componenti del sistema S.A.P.I.EN.T.E.; ii) n.3 carichi elettronici da 15 kW ciascuno per emulare i profili di carico elettrico degli utenti di una micro-comunità energetica; iii) un convertitore con accumulo in grado di gestire potenzialmente più fonti energetiche rinnovabili eterogenee presenti nella stessa configurazione AUC (ad esempio, fotovoltaico, termofotovoltaico o minieolico); è stato previsto, in alternativa all'impossibilità di installare una seconda sorgente energetica, l'utilizzo di uno dei carichi elettronici funzionanti in modalità attiva per riprodurre il profilo di potenza reale generato da un impianto minieolico precedentemente monitorato.

Inoltre per alimentare il nuovo assetto del sistema S.A.P.I.EN.T.E. è stato progettato e installato un nuovo quadro elettrico generale dove è stato alloggiato anche lo smart meter per gestire la carica e scarica dei supercondensatori secondo la logica "scambio zero" con la rete. Per completare l'installazione dei supercondensatori è stato costruito un rack ad hoc per alloggiare i singoli moduli ed è stato realizzato un quadro di sezionamento per connettere gli stessi all'inverter ibrido.

- Sono state eseguite prove sperimentali con logiche power to heat ottimizzate, applicate al sistema fotovoltaico-pompa di calore-accumulo termico integrando il contributo dell'accumulo elettrico a supercondensatori. Per le prove sono stati definiti e calcolati specifici indicatori economici valorizzando l'energia immessa in rete in rete da fotovoltaico secondo le tariffe aggiornate del ritiro dedicato pubblicate dal GSE, mentre per l'energia prelevata dalla rete è stata considerata la tariffa del mercato a maggiore tutela per l'utente domestico regolata da ARERA (secondo trimestre 2023).

Le prove hanno dimostrato l'efficacia dei supercondensatori nel compensare rapide variazioni di carico e un notevole incremento del coefficiente di autoconsumo e di autosufficienza generando significativi risparmi economici.

- È stato definito un sistema sinottico in grado di visualizzare con maggior dettaglio i flussi energetici delle configurazioni sperimentali provate con il sistema S.A.P.I.EN.T.E. In particolare: i) è stata definita una soluzione grafica per riprodurre il layout reale di S.A.P.I.EN.T.E. del C.R Casaccia e il possibile schema di una configurazione AUC condominiale, ii) sono stati definiti gli schemi e i componenti necessari ad integrare un sistema SCADA con l'attuale sistema di controllo per gestire la nuova sezione grafica e l'interfaccia con l'operatore del sistema S.A.P.I.EN.T.E.

- Sono stati implementati i modelli in grado di commutare il controllo degli impianti dal PLC ad una piattaforma sviluppata in Matlab/Simulink utilizzando il protocollo Modbus per comunicare con i singoli componenti del sistema sperimentale.

2.2 Sistema hardware e software per l'implementazione di logiche tipo Demand Side Management:

- Sono state individuate le logiche DSM e DR che possano essere implementate al fine di aumentare le capacità di responsività e autoconsumo delle reti afferenti alle comunità energetiche.

- In tale contesto sono state, inoltre, valutate le logiche vehicle-to-grid che possano essere associate alle logiche DSM e DR precedentemente individuate. Sono stati identificati i parametri e i relativi gradi di libertà che potranno essere messi a disposizione per un intervento da parte dell'utente.

- È stata effettuata un'analisi preliminare finalizzata a verificare la possibile implementazione delle logiche DSM e DR già individuate all'interno di un sistema di controllo hardware-software commerciale o realizzato su misura. In particolare, è stata valutata positivamente la compatibilità di quest'ultimo con tutti i protocolli di comunicazione che caratterizzano i dispositivi del sistema sperimentale S.A.P.I.EN.T.E.

2.3 Piattaforma web (EMPOWER) per il monitoraggio dei consumi nei contesti condominiali:

- È stata effettuata una analisi dei consumi energetici relativi alla stagione termica 2022/23 di alcune unità abitative dei condomini inseriti in EMPOWER nel precedente Piano Triennale. Dai risultati ottenuti e dai feedback degli utenti durante gli incontri periodici, sono stati definiti gli interventi migliorativi da apportare alla piattaforma web.

- È stato selezionato e descritto un nuovo condominio con impianto termico centralizzato da integrare in EMPOWER avente caratteristiche compatibili con una potenziale configurazione di Autoconsumo Collettivo (AUC). Sono state recuperate le relazioni tecniche descrittive delle caratteristiche d'involucro e degli elementi impiantistici del nuovo condominio; dalle informazioni riportate nelle relazioni tecniche sono stati ricavati i dati di input per simulare l'edificio e per valutare i consumi termici attesi necessari per il calcolo dell'indicatore energetico semplificato da visualizzare nella apposita pagina della piattaforma EMPOWER

- Per il nuovo condominio sono stati definiti gli indicatori grafici semplificati per migliorare la consapevolezza degli utenti sui potenziali vantaggi energetici ed economici ottenibili dalla partecipazione attiva alla configurazione di Autoconsumo Collettivo condominiale. Inoltre, è stata progettata una rete dati

condominiale wifi di tipo mesh per trasmettere alla piattaforma EMPOWER i dati letti dai misuratori e dai sensori locali. In particolare, visto che i singoli appartamenti del nuovo condomino sono dotati di contatori elettrici di seconda generazione, sono stati individuati i dispositivi d'utente (DU) in grado di comunicare via power line con la Chain 2 dello stesso contatore e trasmettere le misure alla piattaforma EMPOWER tramite la rete mesh. E' stato definito inoltre il sistema di smart metering per la lettura della potenza prodotta dall'impianto FV e la trasmissione della misura alla piattaforma web per l'elaborazione dell'indicatore energetico. Infine per uno dei condominio è stato valutato un sistema di termoregolazione intelligente dei degli elementi terminali per poter monitorare e gestire dalla piattaforma EMPOWER le temperature dei singoli ambienti. Prima dell'installazione potrebbe essere comunque necessario uno specifico studio idraulico per valutare se la modifica impiantistica comporti possibili squilibri sulle portate e sul funzionamento dell'impianto condominiale.

- È stato individuato un sensore intelligente di tipo multiparametrico prodotto da una startup nazionale adatto per monitorare il livello di comfort all'interno delle abitazioni misurando temperatura, umidità relativa, CO₂, pressione atmosferica e polveri sottili (PM1, PM2.5, PM10); la misura multiparametrica consente inoltre di correlare i consumi termici con il comportamento energetico dell'utente. Per il sensore multiparametrico individuato è stata verificata, con la collaborazione della software house che gestisce la piattaforma web, la possibilità di invio delle misure alla piattaforma EMPOWER con frequenza personalizzabile.

2.4 *Smart Readiness Indicator (SRI)*

- È stato riportato un quadro dell'evoluzione dello SRI a livello nazionale ed europeo, con particolare riferimento alla Danimarca e alla Francia in quanto hanno concluso la fase ufficiale di testing.
- È stata completata l'attività di aggiornamento e adattamento del foglio di calcolo proposto per la valutazione dello SRI del parco immobiliare nazionale. In particolare è stato tradotto in italiano il catalogo dei servizi tecnici di riferimento reso disponibile dalla commissione europea e sono stati implementati nel foglio di calcolo gli automatismi che ne facilitano l'applicazione a diverse categorie di edifici secondo due possibili procedure di valutazione: approccio "smart ready" e approccio "smart possible". Inoltre sono stati modificati i pesi, associati al calcolo dei punteggi parziali e del punteggio complessivo, basati sull'analisi dello stato dell'arte delle tecnologie intelligenti e sulle sei zone climatiche che caratterizzano il territorio nazionale.
- È stata effettuata un'analisi tecnico-economica studiando i diversi livelli di SRI raggiunti eseguendo interventi di retrofit sui servizi tecnici di un edificio uffici reale. Sono stati valutati i costi specifici (es. €/mq) per incrementare lo smartness dell'edificio, considerando diversi scenari di intervento sui sistemi impiantistici.

3 Prodotti attesi

Report di dettaglio, contenente la descrizione delle attività condotte e dei risultati ottenuti.

4 Prodotti sviluppati

- Rapporto tecnico allegato al presente documento (inserito come allegato aggiuntivo: nome file ENEA22_24-PR 1.5_LA4.1_084_ALLEGATO), comprendente la descrizione dettagliata delle attività condotte e dei risultati ottenuti in aderenza agli obiettivi dichiarati.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

5.1 Scostamenti economici

- Scostamento costi per strumenti e attrezzature: 3792,15 €

I nuovi acquisti, previsti nel secondo semestre del 2023, sono stati spostati nei mesi successivi. Lo spostamento non ha compromesso le attività della LA 4.1, in quanto gli stessi acquisti sono funzionali alle attività della LA 4.2.

- Costi di esercizio: 6207,67 €

Lo scostamento economico è dovuto ad un costo inferiore delle spese di viaggio per missioni rispetto ai costi preventivati; inoltre è stato possibile partecipare ad un workshop internazionale e presentare una memoria sulle attività della LA 4.1 senza sostenere il costo di iscrizione previsto.

5.2 Scostamenti tecnici

1) Sistema SAPIENTE

A causa di un problema idraulico alla valvola di commutazione, non è stato possibile connettere idraulicamente la pompa di calore del sistema S.A.P.I.EN.T.E. al vicino edificio uffici per effettuare almeno una prova con il carico termico reale.

La prova prevista è stata comunque condotta emulando il carico termico di un edificio uffici con il dry cooler del sistema sperimentale.

2) EMPOWER

A seguito degli incontri con gli utenti dei condomini monitorati dalla piattaforma web EMPOWER è stato valutato di spostare alla linea di attività 4.2 la fase di ottimizzazione e aggiornamento della stessa piattaforma, prevista nella LA 4.1.

Come previsto, sono stati effettuati nella LA 4.1 gli incontri con gli utenti dei condomini monitorati e raccolti tutti i suggerimenti relativi a una migliore fruibilità della piattaforma.

Prima di aggiornare EMPOWER, si è ritenuto comunque utile effettuare una attività propedeutica alla fase di aggiornamento della piattaforma; in particolare è stata effettuata, per un campione di unità abitative, l'analisi dei consumi termici della stagione di riscaldamento 2022/23. La suddetta analisi è risultata utile per valutare la bontà della piattaforma nel suo format attuale, permettendo di verificare la frequenza di accesso e un primo impatto in termini di modifica dei consumi energetici da parte degli utenti.

6 Sintesi delle attività svolte

È stato realizzato un progetto di modifica impiantistica di S.A.P.I.EN.T.E. per ampliare le configurazioni AUC. Sono state eseguite prove sperimentali con logiche power to heat. Sono stati definiti: un sistema sinottico basato su SCADA per visualizzare i flussi energetici; un sistema di controllo integrativo su Simulink Real-Time. Sono state individuate logiche DSM e DR compatibili con S.A.P.I.EN.T.E per aumentare l'autoconsumo delle CER e sono state valutate logiche vehicle-to-grid. È stata effettuata un'analisi energetica di alcuni condomini inseriti in EMPOWER. È stato selezionato un nuovo condominio da integrare in EMPOWER compatibile con una configurazione AUC e definiti specifici indicatori.

È stato selezionato sul mercato un sensore intelligente multiparametrico per il monitoraggio del comfort. È stato completato il foglio di calcolo per l'applicazione dello SRI negli edifici nazionali, compresa un'analisi tecnico economica associata a interventi di retrofit per incrementare lo SRI.

7 Dettaglio delle attività svolte

7.1 Sistema S.A.P.I.EN.T.E. ampliamento del sistema sperimentale

Nell'ambito della presente linea di attività sono stati effettuate le progettazioni degli interventi di integrazione e modifica degli impianti del sistema S.A.P.I.EN.T.E., installato nel precedente triennio presso il C.R. ENEA di Casaccia, con l'obiettivo di ampliare le configurazioni AUC riproducibili e superare le criticità riscontrate nella precedente annualità. Si riporta di seguito la sintesi degli interventi progettati e degli interventi realizzati (per maggiori approfondimenti si rimanda al rapporto tecnico esteso allegato: nome file ENEA22_24-PR 1.5_LA4.1_084_allegato).

7.1.1 Dimensionamento di una cabina utile al posizionamento di nuovi componenti del sistema S.A.P.I.EN.T.E.

Nella linea di attività 4.1 sono stati definiti gli schemi riportati in Figura 1 e Figura 2 per l'installazione di una nuova cabina utile al posizionamento e all'alimentazione dei nuovi componenti del sistema S.A.P.I.EN.T.E. che verranno installati nel corso della LA 4.2.

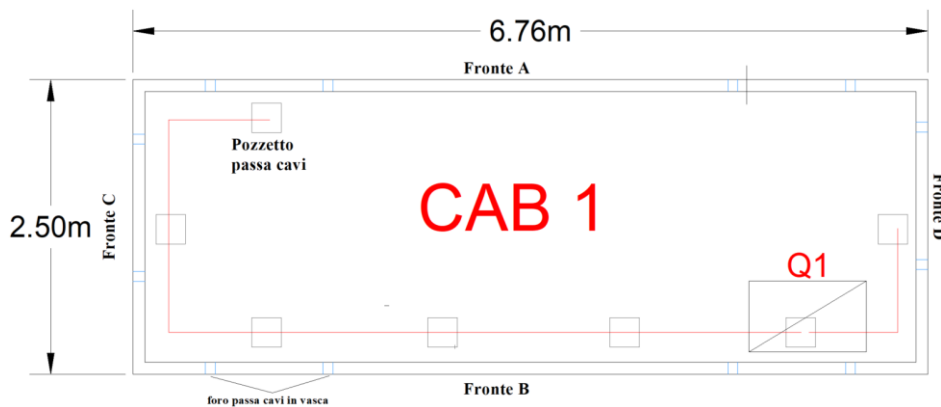


Figura 1: Planimetria della nuova cabina

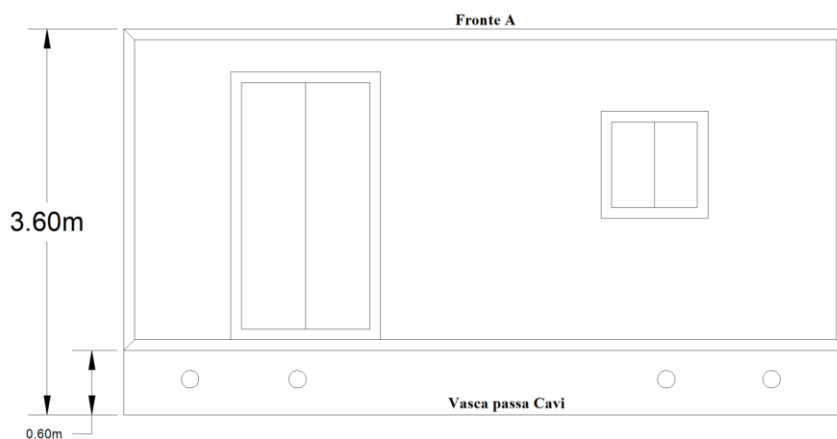


Figura 2: Vista frontale nuova cabina

Le dimensioni della nuova cabina sono state scelte per poter alloggiare i nuovi componenti necessari alla prova di una configurazione AUC caratterizzata da più fonti energetiche rinnovabili. In particolare sono state valutate le seguenti soluzioni:

- Soluzione A: prevede la prova di una configurazione AUC integrando l'impianto FV da 11,6 kWp con l'impianto termofotovoltaico;

- Soluzione B: prevede l'installazione, come indicato negli schemi di Figura 3, Figura 4 e Figura 5 di un convertitore multisorgente da 20 kW alimentato dal campo FV esistente da 11,6 kWp e da un nuovo generatore minieolico composto da 4 aerogeneratori da 2,5 kW posizionati sul tetto del vicino edificio F83. La fattibilità della soluzione B dipende dalle procedure autorizzative.

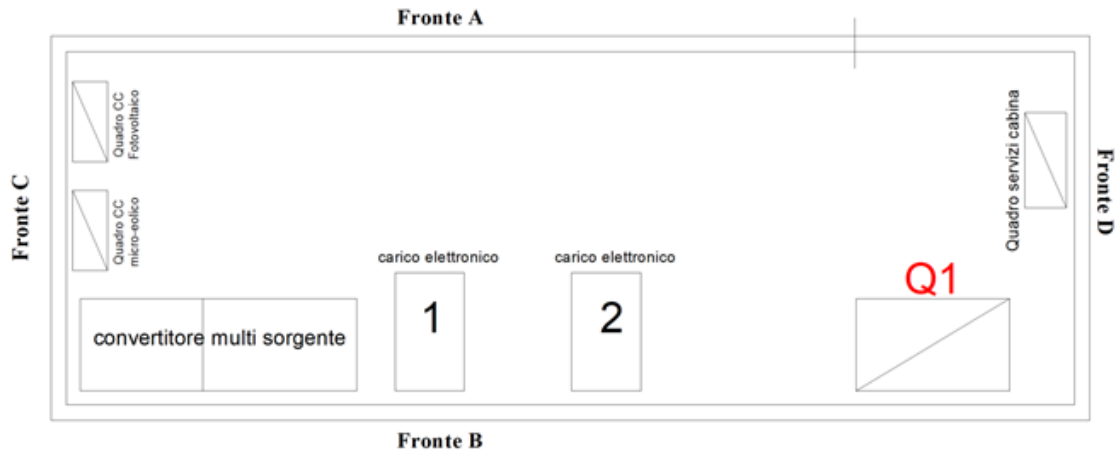


Figura 3: planimetria nuova cabina in progetto con indicazione della posizione dei nuovi componenti del sistema ibrido S.A.P.I.EN.T.E. - Soluzione B

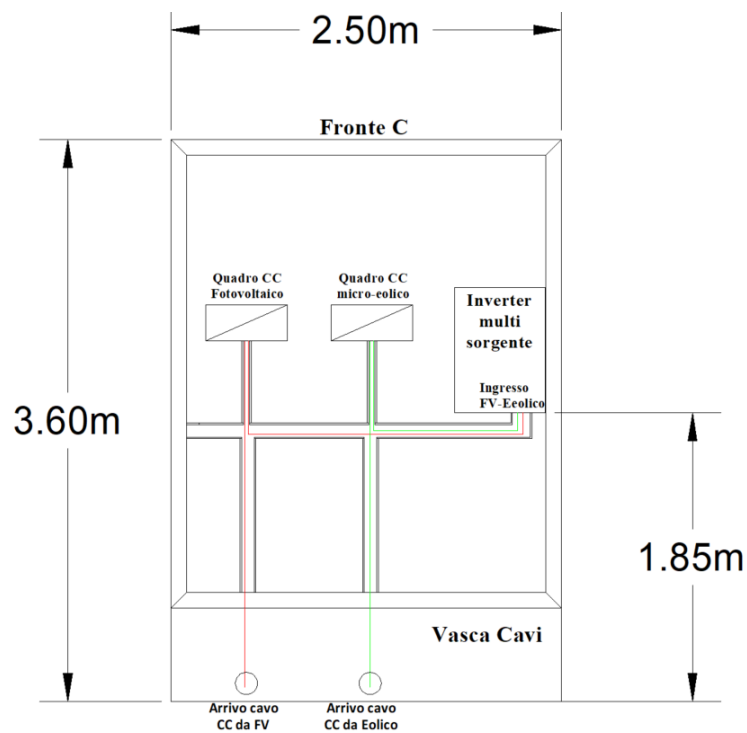


Figura 4: vista frontale della nuova cabina in progetto del sistema S.A.P.I.EN.T.E. - Soluzione B

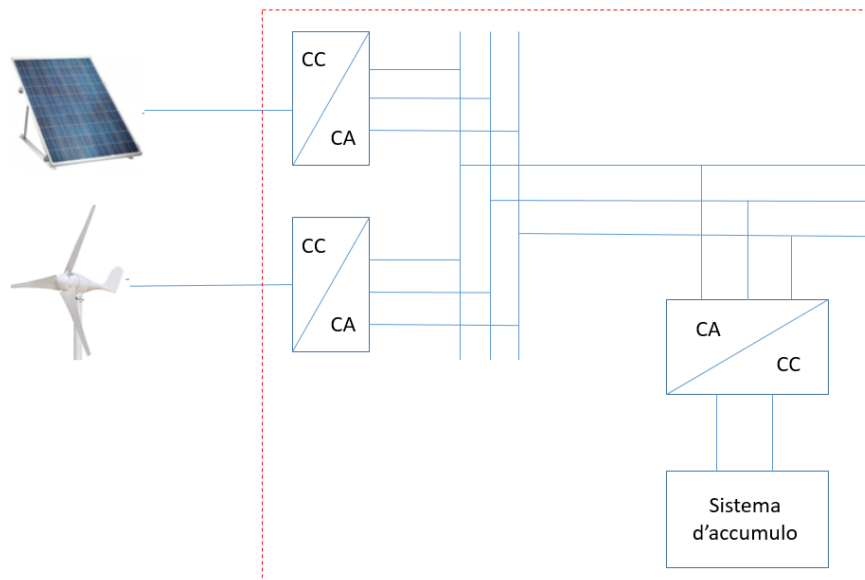


Figura 5: Schema convertitore multisorgente da 20 kVA – soluzione B

- Soluzione C: prevede le prove con sistema multisorgente utilizzando un carico elettronico attivo come emulatore dell'impianto mini eolico. Si riporta di seguito la planimetria della nuova cabina per alloggiare i dispositivi previsti dalla soluzione C.

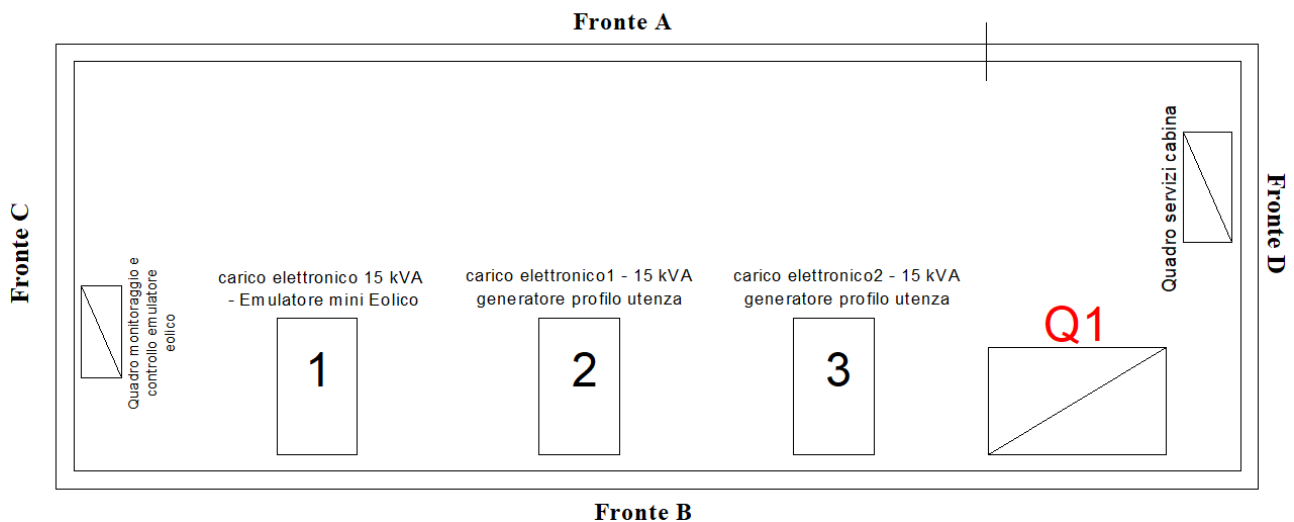


Figura 6: planimetria nuova cabina in progetto con indicazione della posizione dei nuovi componenti del sistema ibrido S.A.P.I.EN.T.E. - Soluzione C

E' stato individuato un sistema hardware per emulare il comportamento elettrico di dispositivi passivi (carichi) e attivi (generatori) collegati a una rete. Diversamente da altri carichi elettronici, il sistema individuato, riportato nello schema di Figura 7, si basa sulla funzione rigenerativa, cioè l'energia consumata per generare il carico emulato non viene dispersa in calore ma viene reimpressa nella rete elettrica, consentendo un notevole risparmio di energia nell'esecuzione delle prove.

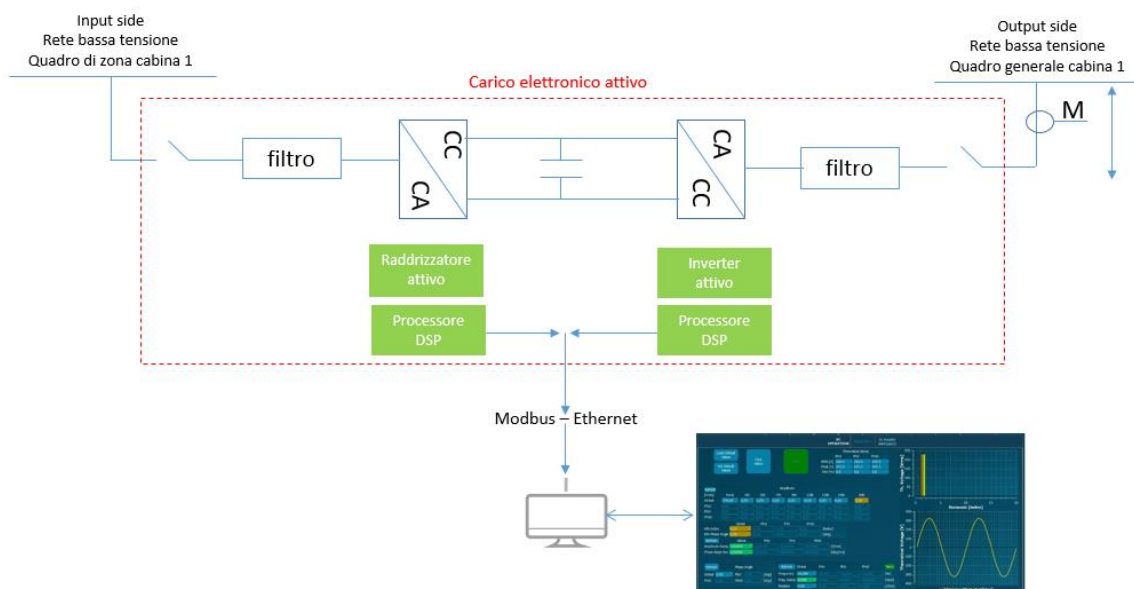


Figura 7: Schema unifilare carico elettronico attivo: principali componenti e connessione alle rete

7.1.2 Nuovo layout impianto termico del sistema termofotovoltaico

Per superare alcune delle criticità rilevate nel precedente triennio con il circuito idraulico dell'impianto termofotovoltaico di S.A.P.I.EN.T.E., nel corso della LA 4.1 è stato riprogettato e modificato il layout di connessione dei moduli fototermici passando dallo schema di Figura 8 allo schema di Figura 9. Il nuovo schema prevede la connessione in serie di 5 moduli PVT, un unico collettore per il collegamento in parallelo delle stringhe solari e un circuito di mandata e ritorno dall'accumulo ACS costituito da una tubazione multistrato isolata da 1" ½ .

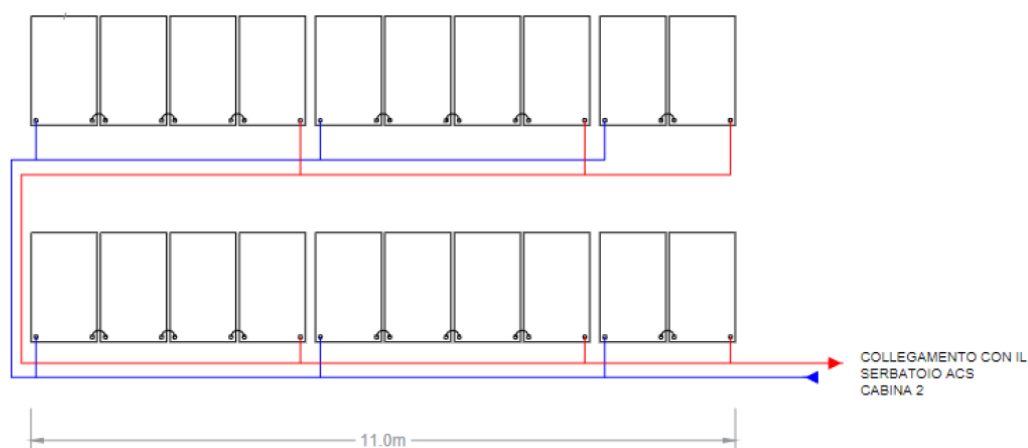


Figura 8: Schema idraulico della connessione termica dei 20 moduli PVT nella configurazione pre-intervento.

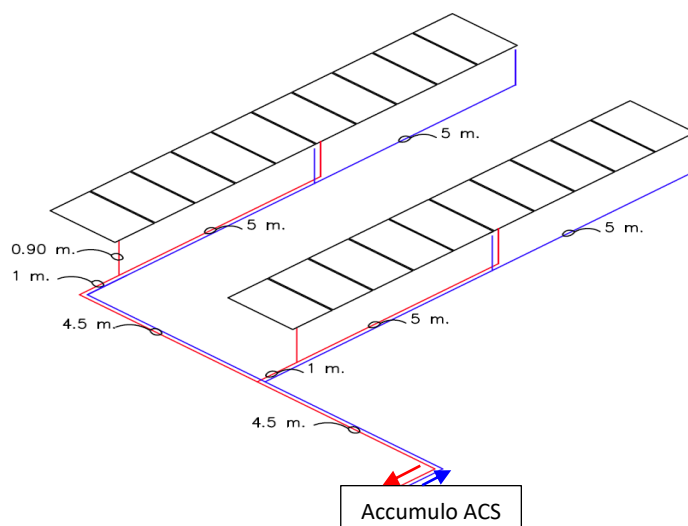


Figura 9: Schema idraulico della connessione termica dei 20 moduli PVT nella nuova configurazione.



Figura 10: Impianto termofotovoltaico con nuovo layout di connessione e interrimento dei tubi con pozzetti di derivazione

7.1.3 Progettazione e realizzazione quadro per il sezionamento e il parallelo del sistema di accumulo a supercondensatori

Nel linea di attività in oggetto è definito e progettato il cablaggio dei 4 supercondensatori acquisiti nello scorso triennio; in particolare è stato costruito uno rack ad hoc per alloggiare i supercondensatori come mostrato in Figura 11, ed è stato progettato è realizzato un quadro di parallelo e sezionamento come riportato in Figura 12.



Figura 11: Supercondensatori installati su struttura di tipo rack all'interno della cabina 3



Figura 12: Quadro parallelo e sezionamento supercondensatori installato all'interno della cabina 3.

7.1.4 Progettazione e installazione nuovo quadro elettrico di arrivo con sistema di smart metering per gestione supercondensatori con logica a "scambio zero".

E' stato ridefinito il sistema di distribuzione elettrica della test facility come descritto nello schema di Figura 13. In particolare è stato progettato e installato un nuovo quadro generale di arrivo, QM, riportato nella foto di Figura 14, dove è stato alloggiato lo smart meter (misuratore M1 in Figura 13) per gestire la carica e scarica dei supercondensatori. La posizione dello smart meter nel punto di connessione con la rete di alimentazione consente di applicare la logica del tipo "scambio zero" per aumentare l'autoconsumo della configurazione AUC emulata con tutti i componenti del sistema S.A.P.I.EN.T.E.

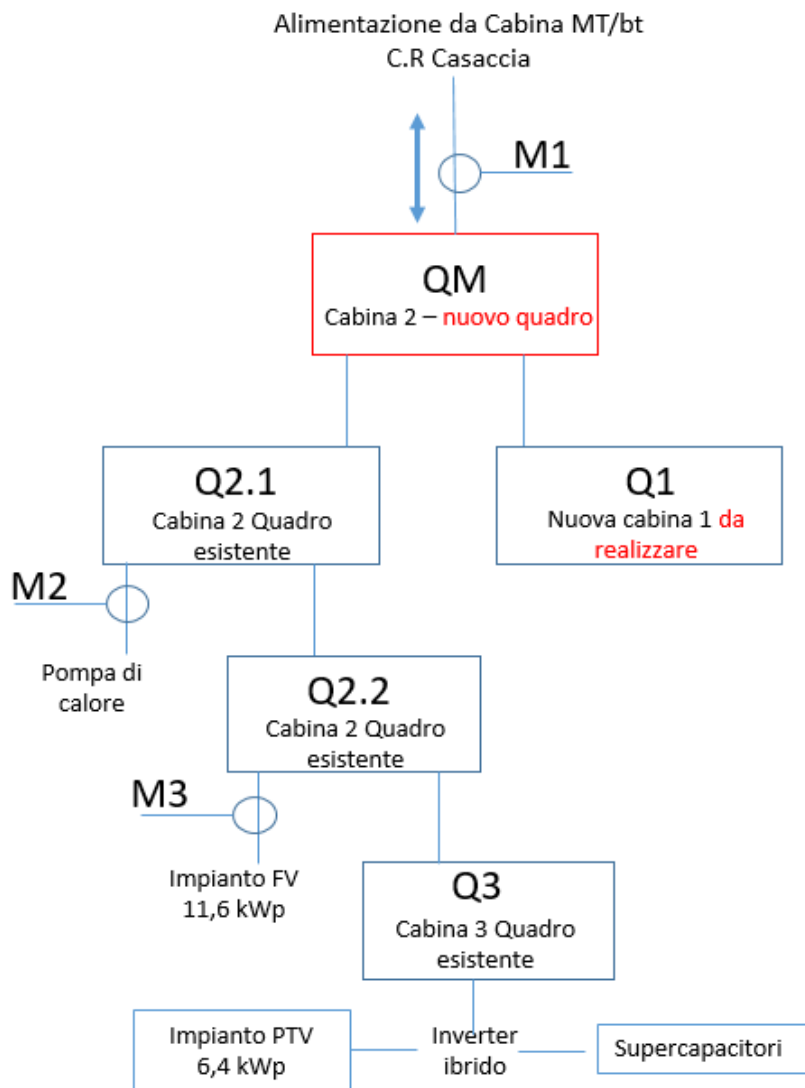


Figura 13: Schema semplificato: nuova distribuzione quadri elettrici sistema S.A.P.I.EN.T.E. (M1, M2 e M3: smart meter elettrici)



Figura 14: Quadro elettrico generale del sistema S.A.P.I.EN.T.E., QM, installato in Cabina 2.

7.2 Esecuzione di prove sperimentali con logica power to heat e accumulo a supercondensatori

Sono state condotte le prove sperimentali con il sistema S.A.P.I.EN.T.E. integrando le logiche di controllo power to heat con il contributo dei supercondensatori. Si riporta in Figura 15, lo schema di prova che prevede la modulazione, tramite un regolatore PID, del numero di giri del compressore della pompa di calore per inseguire la potenza prodotta dal campo fotovoltaico (power to heat). Rispetto alle prove condotte nel precedente triennio, il controllo power to heat è stato integrato con il contributo dei supercondensatori, al fine di valutare i benefici apportati alla gestione di una configurazione AUC in termini di incremento dell'autoconsumo e dei benefici economici.

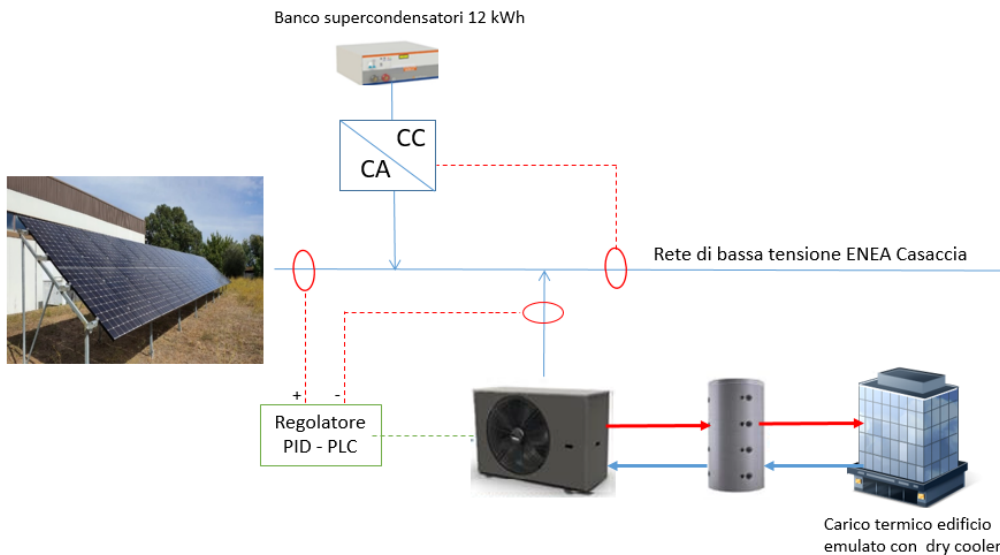


Figura 15: schema configurazione sistema S.A.P.I.EN.T.E. impiegato per le prove condotte con logica Power to Heat integrate con il contributo dei supercondensatori

Per provare il contributo dei supercondensatori, oltre alla pompa di calore sono state attivate le resistenze elettriche presenti negli accumuli per generare un sovraccarico rispetto alla produzione dell'impianto FV. Si riporta in Figura 16 e in Figura 17 rispettivamente l'andamento delle principali misure elettriche e i principali coefficienti energetici ricavati per una delle prove "power to heat" condotte con la configurazione del sistema S.A.P.I.ENT.E. di Figura 15; le prove complete e i relativi risultati sono riportati nel rapporto tecnico esteso allegato al presente documento (nome file ENEA22_24-PR 1.5_LA4.1_084_allegato). Per l'analisi economica, l'energia prodotta in eccesso da FV è stata valorizzata secondo le tariffe aggiornate del ritiro dedicato pubblicate dal GSE, mentre per l'energia prelevata dalla rete è stata considerata la tariffa del mercato a maggiore tutela per l'utente domestico regolata da ARERA (secondo trimestre 2023).

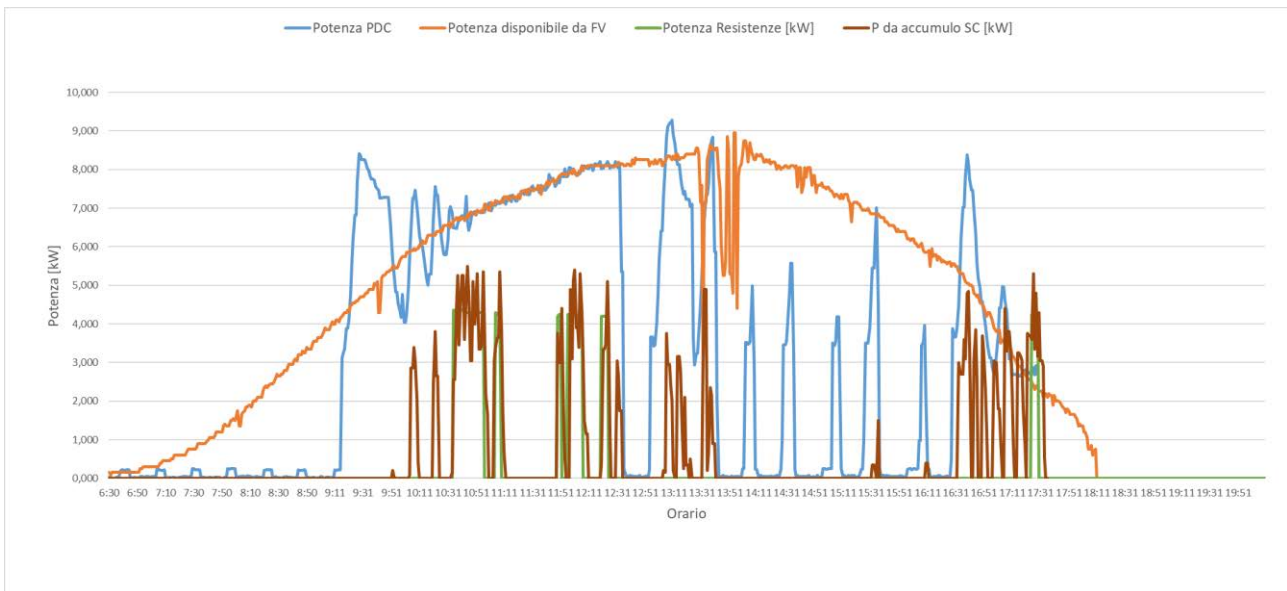


Figura 16: Prova sperimentale con sistema S.A.P.I.ENT.E.: applicazione della logica power to heat con supecondensatori

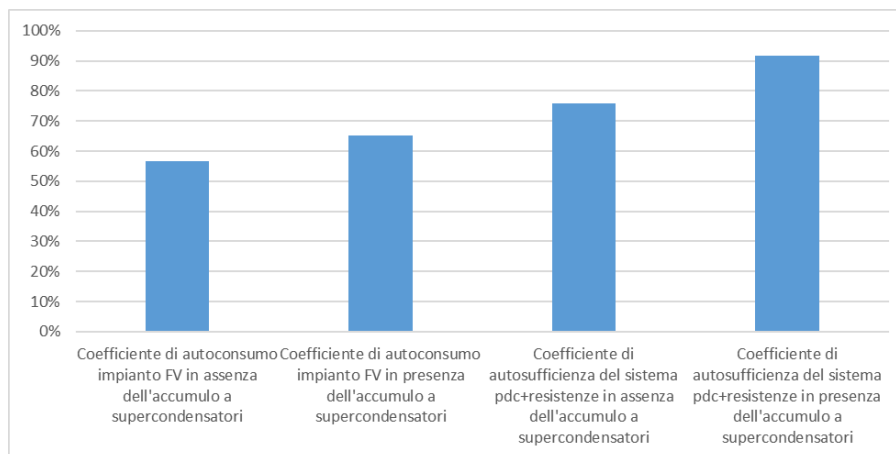


Figura 17: Prova sperimentale con sistema S.A.P.I.ENT.E.: rappresentazione grafica dei principali coefficienti energetici

Le prove sperimentali hanno dimostrato come i supercondensatori siano efficaci nel compensare rapide variazioni di carico elettrico e permettano un sensibile incremento dei coefficienti di autoconsumo e di autosufficienza.

7.3 Definizione e progettazione di un sistema sinottico per la visualizzazione dei flussi energetici delle configurazioni sperimentali del sistema S.A.P.I.EN.T.E.

Per migliorare la grafica del sistema di controllo, rispetto al webserver del PLC implementato nel precedente triennio, è stato definito un sistema sinottico basato sull'integrazione del PLC con un software SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

Con il nuovo sistema SCADA viene rappresentato il layout del sistema S.A.P.I.EN.T.E., schematizzato in Figura 18, con una grafica riportata nell'esempio semplificato di sinottico di Figura 19.

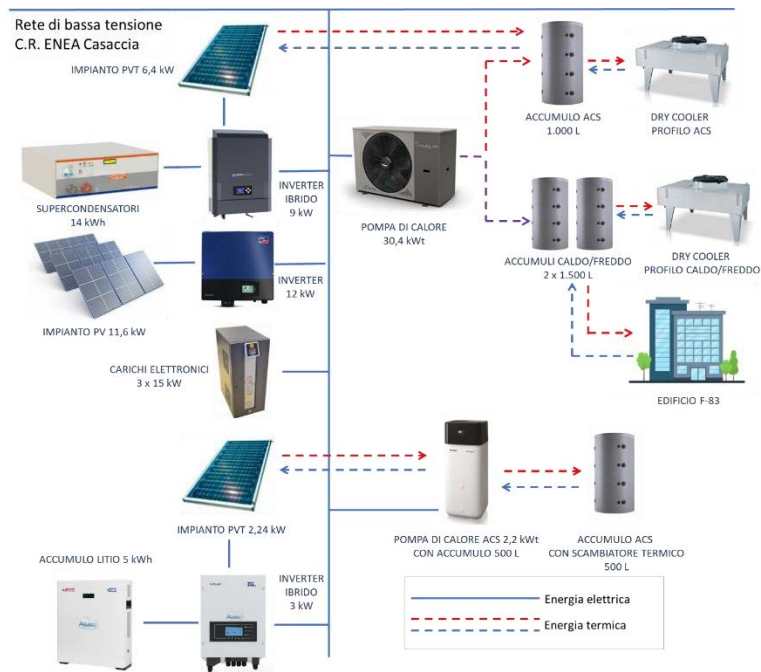


Figura 18: Rappresentazione schematica del sistema S.A.P.I.EN.T.E.

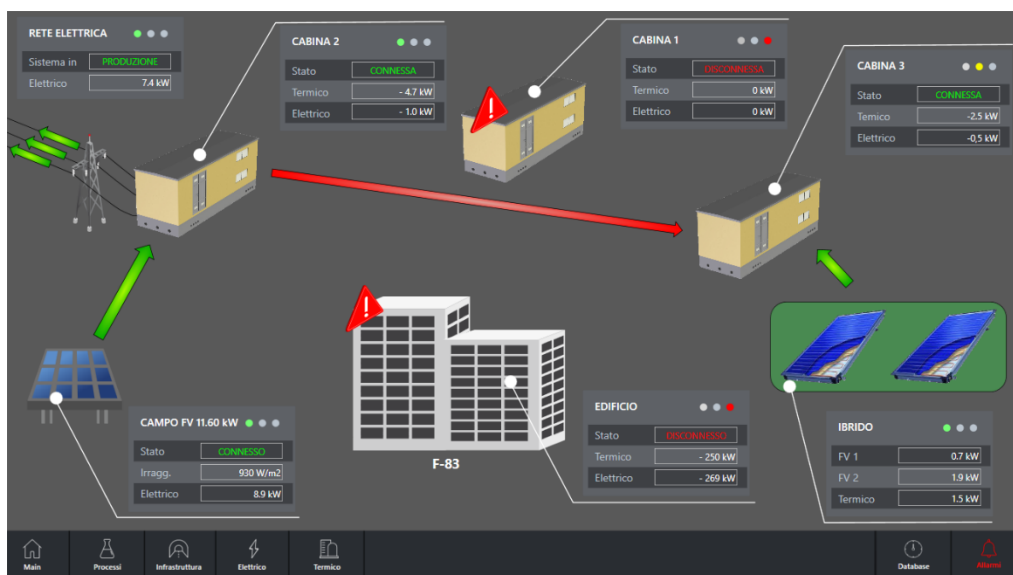


Figura 19: Grafica della possibile interfaccia utente del sistema sinottico progettato

Parallelamente alla progettazione dell'interfaccia sopra riportata, è stata definita, come riportato in Figura 20, una prima ipotesi di sinottico per riprodurre graficamente con il nuovo SCADA una configurazione AUC condominiale ottenuta con gli impianti del sistema S.A.P.I.EN.T.E.

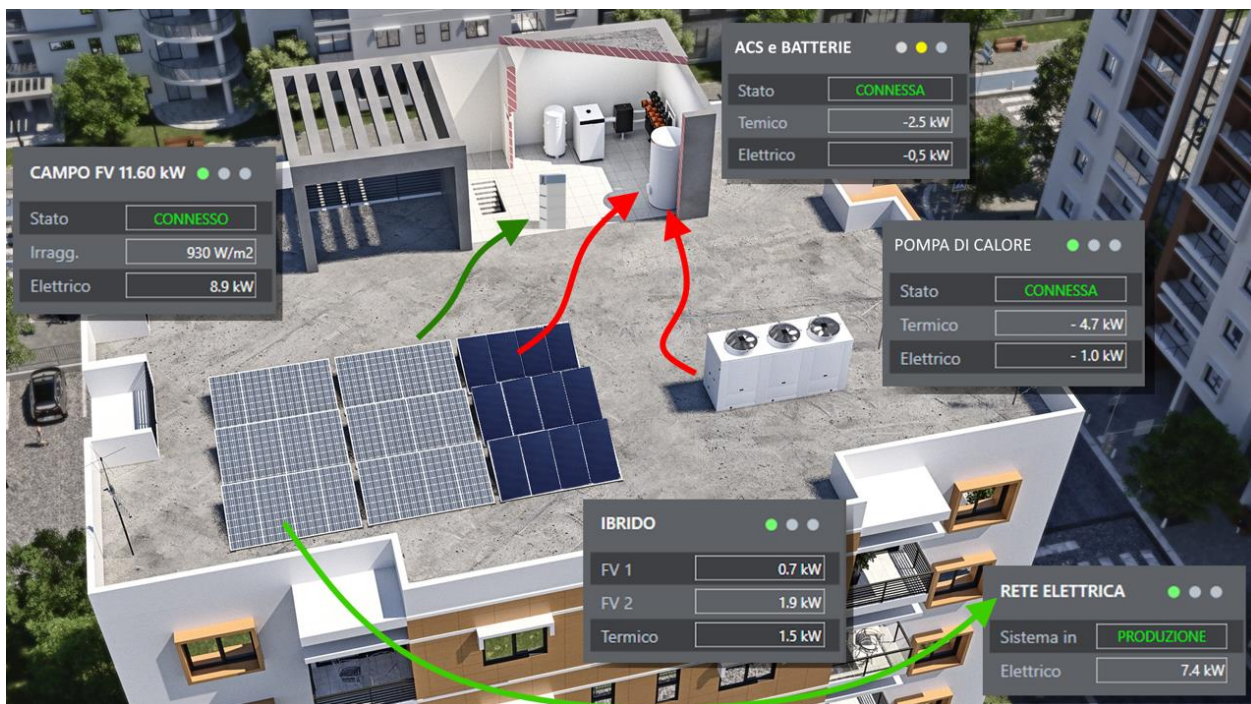


Figura 20: prima ipotesi di sinottico per verrà riprodurre graficamente lo schema di una configurazione AUC condominiale con l'impianto S.A.P.I.EN.T.E.

Sono stati definiti gli schemi e i componenti necessari ad integrare un sistema tipo SCADA con l'attuale sistema di controllo, come da schema in Figura 21 e come indicato in

Tabella 1: Componenti afferenti al sistema SCADA.

COMPONENTE	CARATTERISTICHE	REGOLA DI AMMISSIONE	OBBLIGATORIETA' PER FORNITORE
Monitor PC postazione	Vin: 230Vac Diagonale schermo: 31,5" Risoluzione: 2560x1440 Pixel Rapporto immagine: 16:9 Porte HDMI: 1	valori minimi ammessi	NO
PC Embedded	Processore: Intel i7 Velocità processore: 2.3 GHz RAM: 16GB DDR4 HD: 516 GB SSD Porta HDMI: 1 Porta Ethernet: 1 WiFi integrato IEEE 802.11a/b/g/n/ac Porte USB 2.0: 2 Porte USB 3.0: 2 S.O. : Windows 10 supportato	valori minimi ammessi	NO
Tastiera cablata	Collegamento: USB S.O. supportati: Win 11/10/8/7 Supporto ergonomico Tastierino numerico	valori minimi ammessi	NO
Mouse cablato	Collegamento: USB S.O. supportati: Win 11/10/8/7 Supporto ergonomico Scroll Pulsanti: 3	valori minimi ammessi	NO
Licenza Software BMS / SCADA	Licenza Runtime (espandibile): 1.000 tag* Client / Server Driver: ModBus TCP Dispacciamento allarmi (espandibile): 1.000 tag Accesso WEB contemporanei: 1 Grafica Scalabile Gestione dati conforme alla IEC 62443-3 Web Client HTML5 Gestione di grafica vettoriale Possibilità di puntamento al singolo bit delle variabili in byte, word o di altra tipologia composta.	valori minimi ammessi	SI

7.4 Definizione dei modelli e dei protocolli di comunicazione per implementare in Simulink Real-Time il sistema di controllo di S.A.P.I.EN.T.E.

Per ottenere una maggiore flessibilità nella gestione del sistema sperimentale S.A.P.I.EN.T.E. e in particolare nella ricerca delle logiche che ottimizzano i flussi energetici ed economici, in questa linea di attività è stata avviata l'implementazione di un sistema in grado di commutare il controllo degli impianti dal PLC ad una piattaforma sviluppata in Matlab/Simulink, già utilizzata nei precedenti trienni per simulare i sistemi energetici ibridi nei contesti condominiali. L'attuale sistema di controllo con PLC può essere schematizzato come riportato in Figura 22.

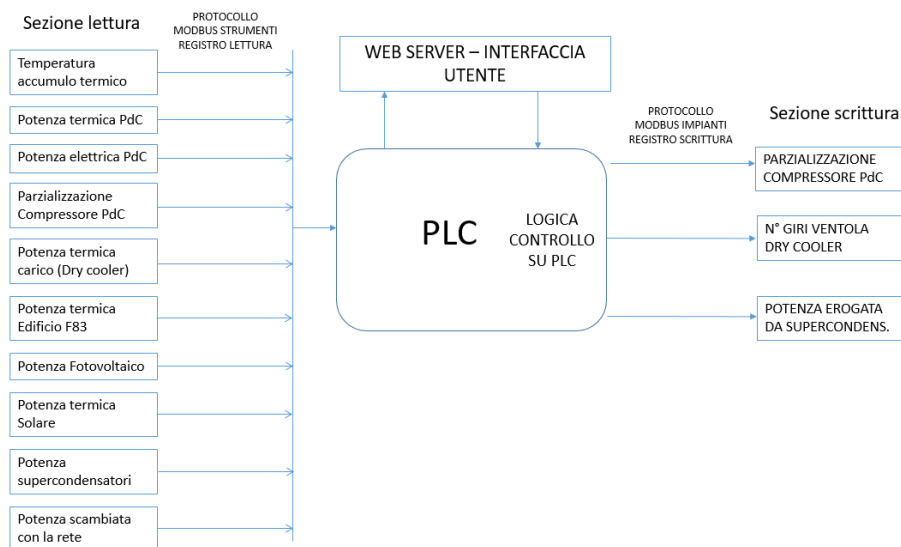


Figura 22: Schema concettuale attuale sistema di misura e controllo implementato con PLC dell'impianto S.A.P.I.EN.T.E.

Per far funzionare in parallelo al PLC il nuovo sistema di controllo implementato in Matlab/Simulink, lo schema di Figura 22 è stato modificato come indicato in Figura 23:

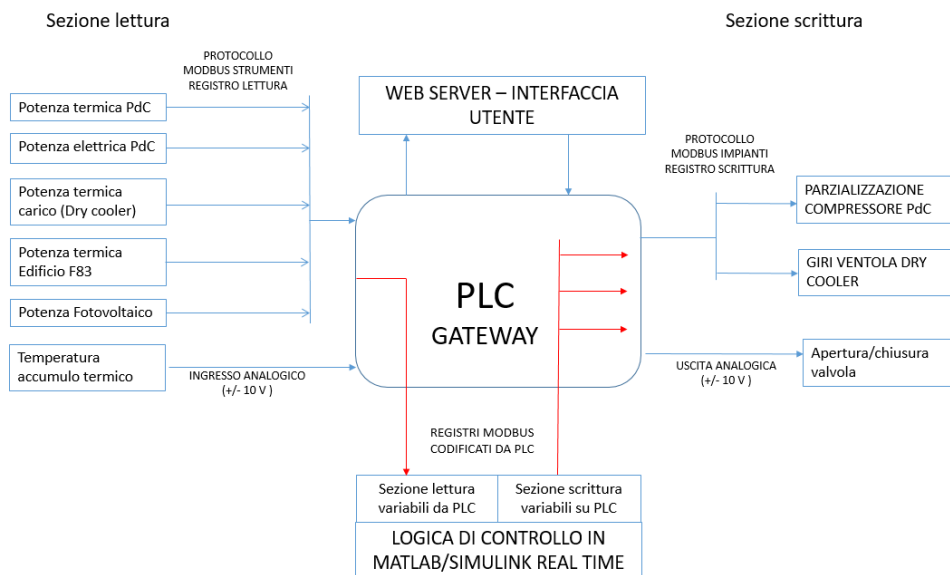


Figura 23: Schema concettuale del passaggio del sistema di controllo dal PLC (adesso con solo funzione di gateway e visualizzazione misure) a Matlab/Simulink Real Time

Secondo lo schema di Figura 23, il PLC rimane attivo con la sola funzione di gateway e Web Server, ovvero consente lo scambio di dati tra i componenti in campo e il sistema di controllo in Matlab/Simulink Real time. Lo schema funzionale di Figura 23 è stato implementato in Simulink come riportato in Figura 24 e in Figura 25; in particolare con il blocco TCP/IP receive vengono letti tutti i registri modbus trasmessi dal PLC via LAN (dal 3999 al 4051, Figura 24) e con il blocco TCP/IP send vengono inviati in tempo reale al PLC le istruzioni elaborate dal sistema di controllo implementato in Matlab/Simulink (registri modbus in scrittura, es. modifica del registro 3001 "numero di giri del compressore").

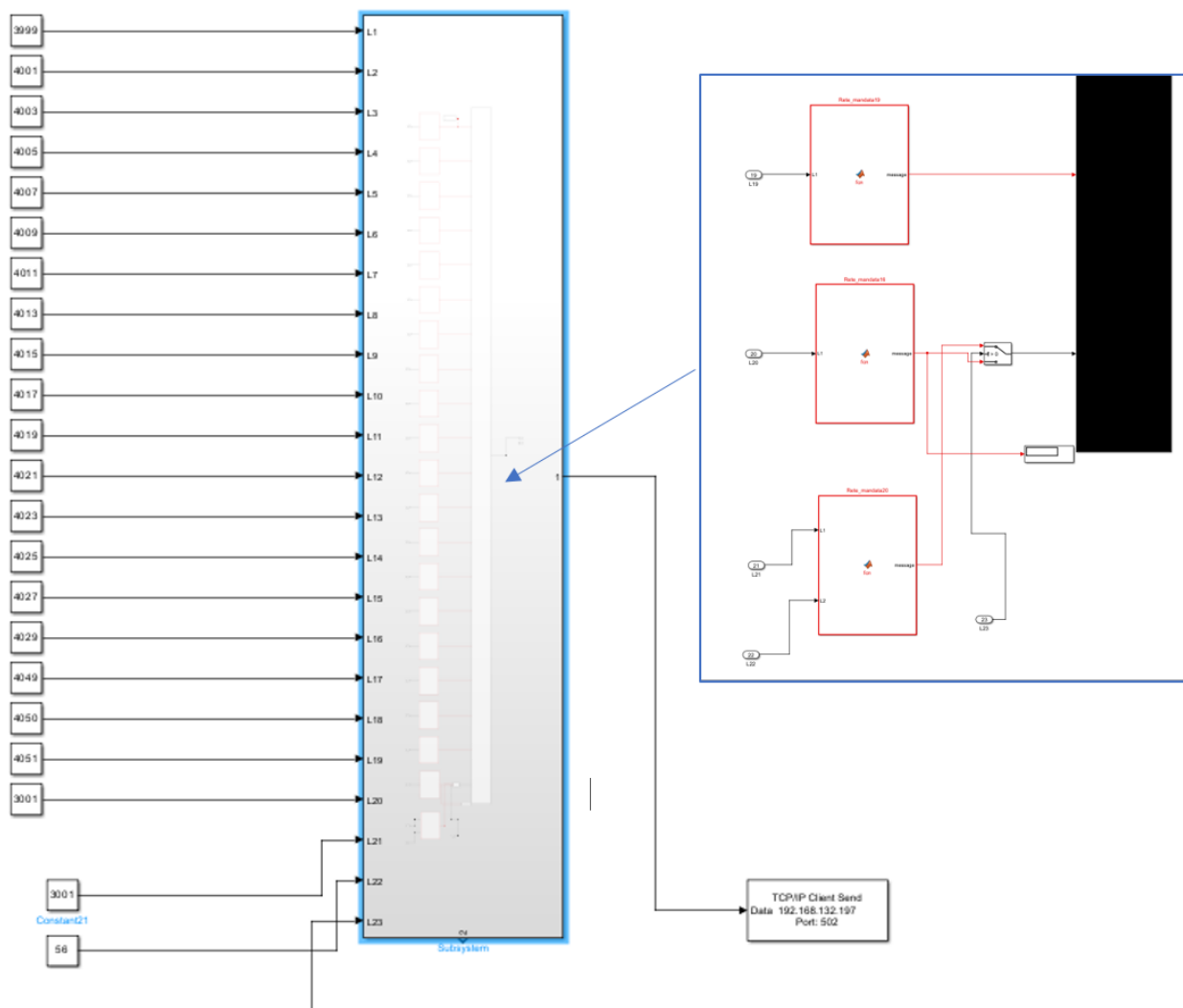
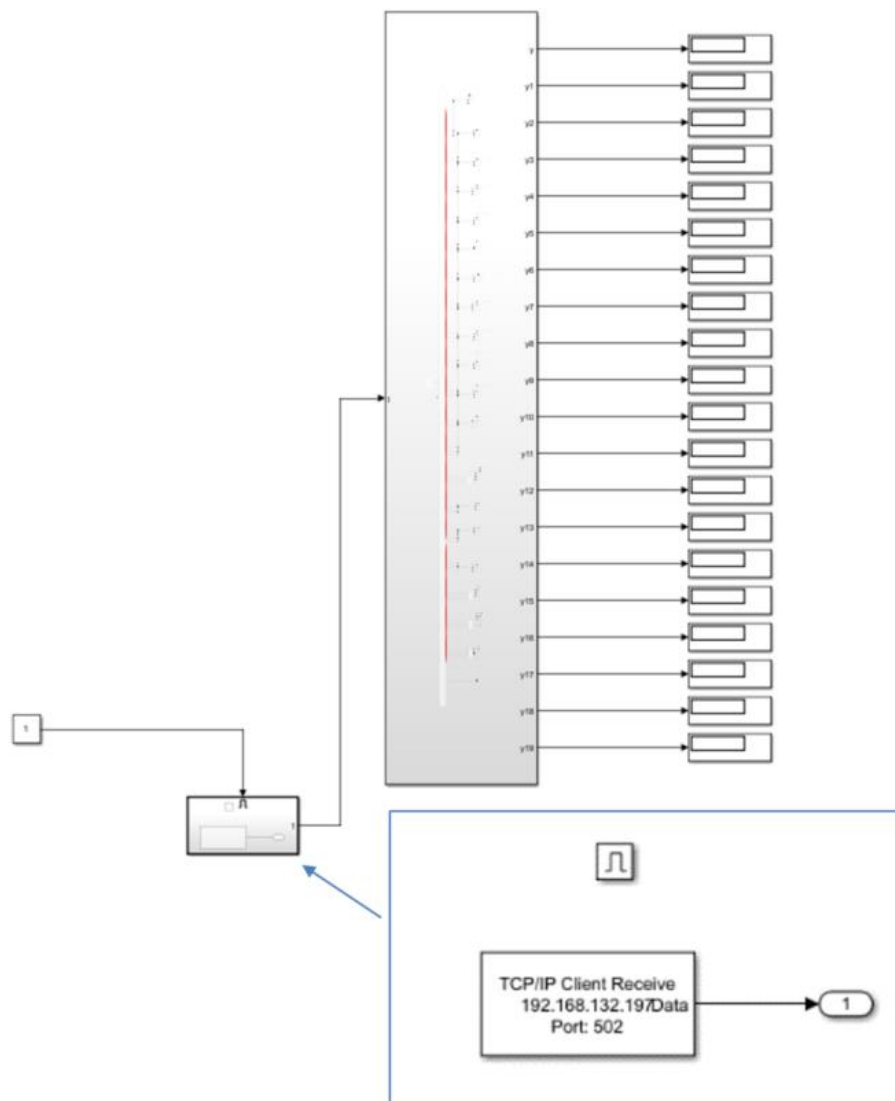


Figura 24: Modello Simulink e blocco “TCP/IP Client Send” per implementare la comunicazione Modbus su TCP/IP tra il sistema di controllo esterno e il PLC di S.A.P.I.EN.T.E.



• **Figura 25:** Blocco Simulink “TCP/IP Client Recive” per la scrittura in Modbus di tutti i registri di S.A.P.I.EN.T.E.

Dalle prove effettuate è emersa l’impossibilità di gestire in continua il passaggio dal blocco scrittura al blocco lettura durante la comunicazione tra i blocchi Simulink e il PLC.

Per risolvere il problema è stato generato, tramite l’applicazione Modbus Explorer (Figura 27), il codice in Matlab che la stessa applicazione utilizza per la lettura e scrittura via modbus; dopo aver verificato la funzionalità del nuovo codice, questo è stato implementato in ambiente Simulink utilizzando la Matlab function riportata in Figura 26; quest’ultima legge tutti i registri modbus associati a ciascun componente di S.A.P.I.EN.T.E. e scrive i valori delle variabili controllate secondo la logica implementata.

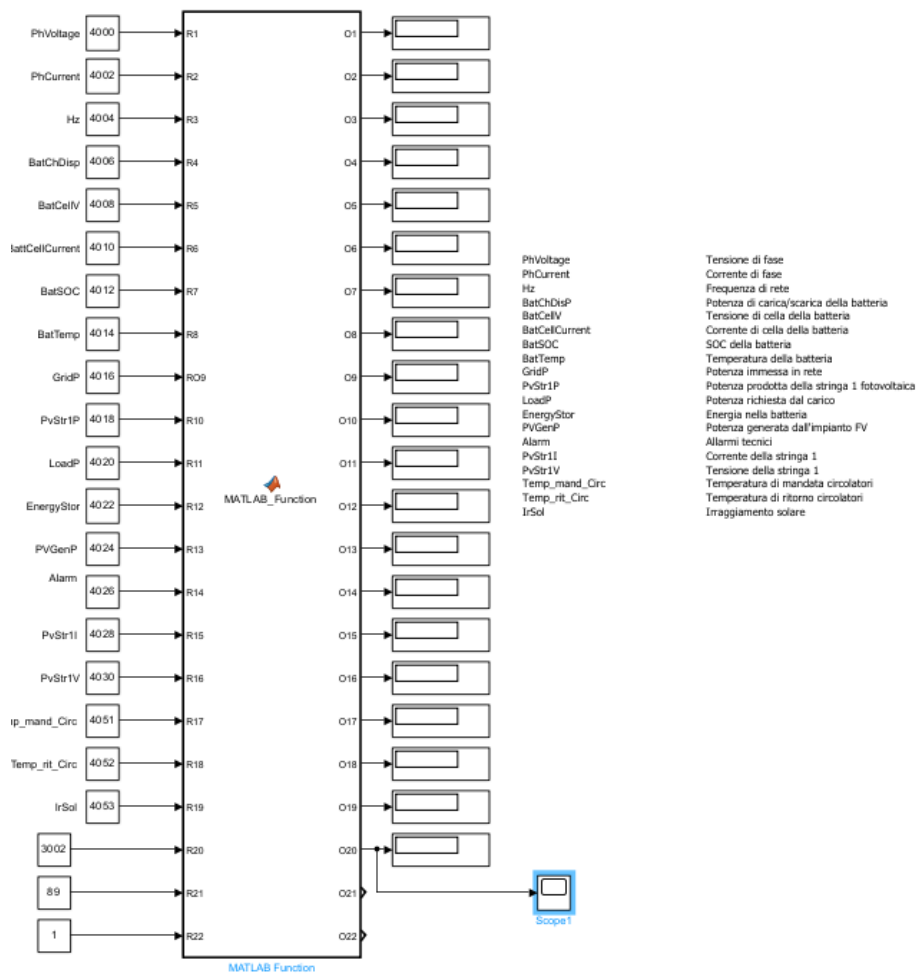


Figura 26: Matlab function utilizzata per implementare in ambiente Simulink il modello lettura/scrittura in Modbus su TCP/IP dell'applicazione Modbus explorer

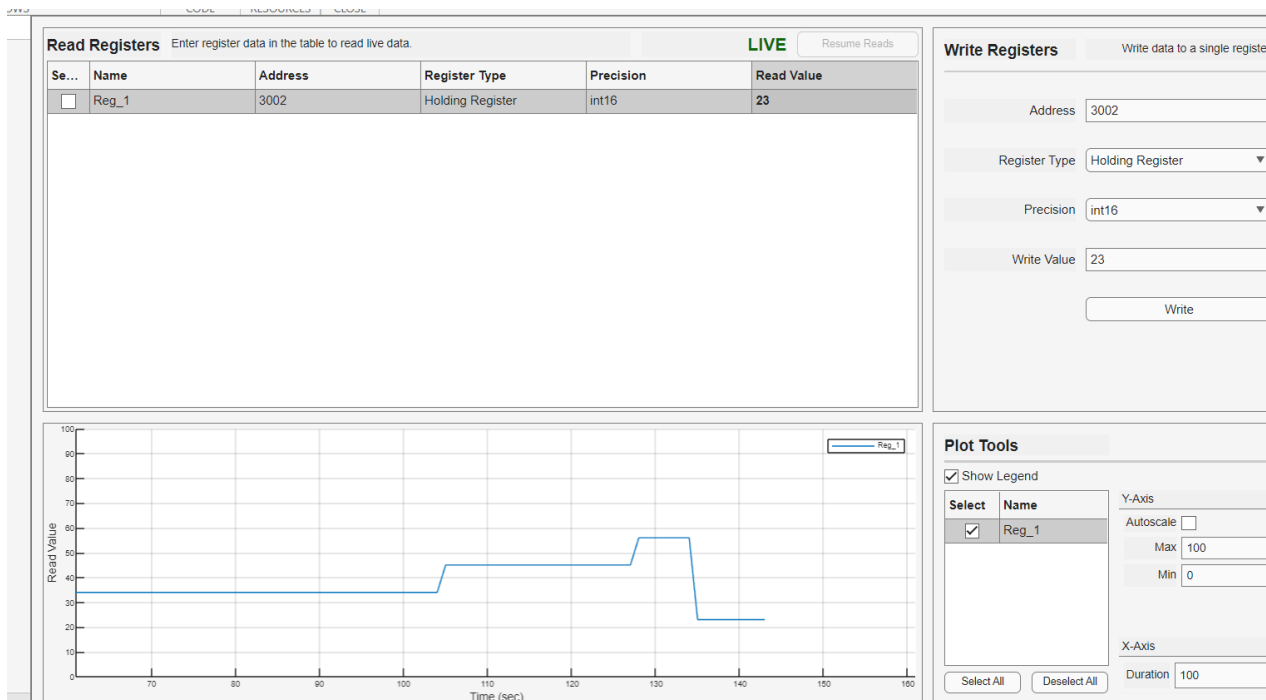


Figura 27: Modbus Explorer: prove di funzionamento delle funzioni di lettura e scrittura in tempo reale de registro 3002: numero di gire del compressore della pompa di calor

7.5 ADLAS - sistema hardware e software per l'implementazione di logiche tipo Demand Side Management al sistema sperimentale S.A.P.I.EN.T.E.

Nella LA 4.1 sono state definite le logiche Demand Side Management (DSM) e le relative logiche vehicle-to-grid che possano essere implementate al fine di aumentare le capacità di responsività e autoconsumo delle comunità energetiche emulate con S.A.P.I.EN.T.E. ed in particolare:

- il Profilo Di Carico Concordato (PCC), in cui l'utente si impegna ad assorbire energia dalla rete secondo un profilo di carico per l'appuntamento concordato in precedenza, a fronte di un guadagno economico sotto forma di incentivi o di benefici tariffari
- la massimizzazione dei profitti relativi all'energia ceduta o minimizzazione della spesa per l'acquisto di energia elettrica; logica basata sulla possibilità di conoscere l'andamento del prezzo dell'energia (quart'orari o per fasce).

È stata effettuata un'analisi preliminare per verificare quali delle logiche DSM e Demand Response (DR) possono essere applicate all'impianto S.A.P.I.EN.T.E. tramite un nuovo sistema di controllo hardware-software denominato ADLAS (Automatized DSM-DR Logics Application System) il cui prototipo verrà realizzato nella LA 4.2 per gestire i componenti indicati nello schema di Figura 28.

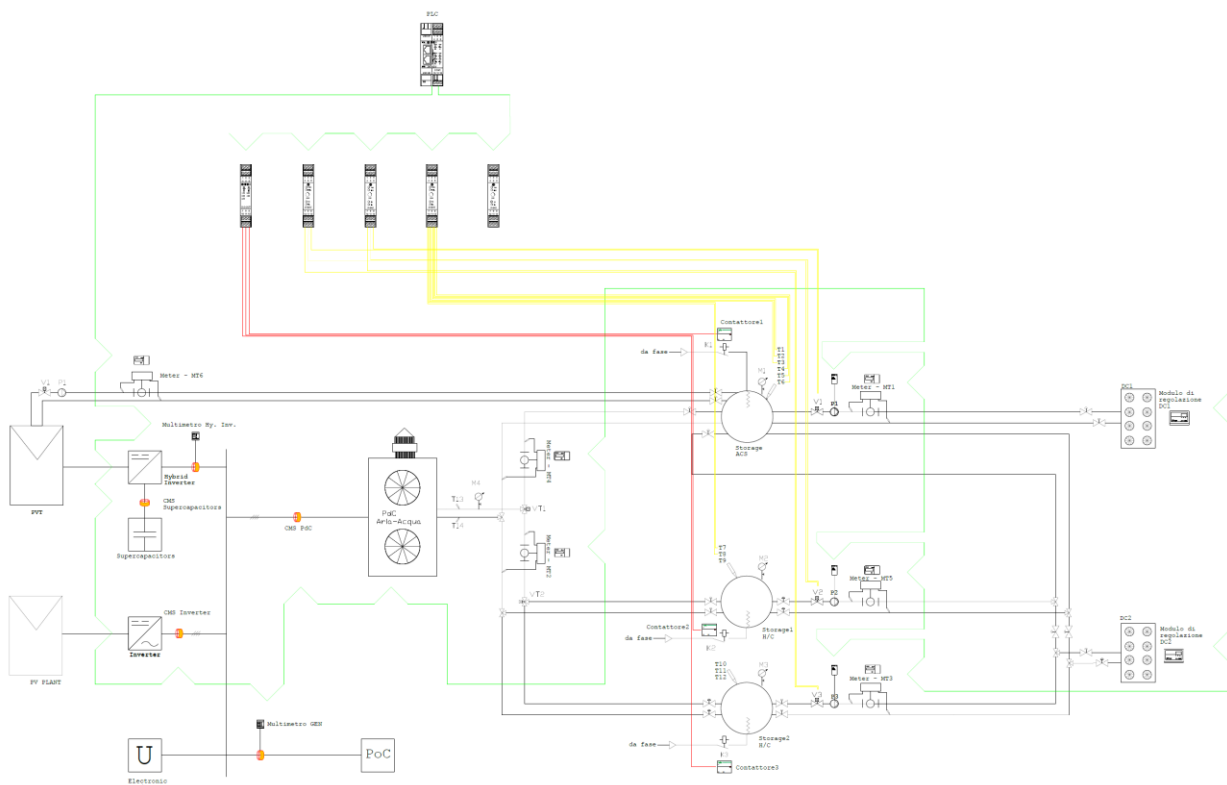


Figura 28: Rappresentazione schematica delle sezioni elettriche e termiche del sistema S.A.P.I.EN.T.E. impiegati nel contesto dello sviluppo del sistema ADLAS.

ADLAS è basato su un server collegato alla rete LAN che sarà gestito da un software basato su architettura x86-64 e Sistema Operativo Debian (Linux) con un virtualizzatore open source come “NodeRED”, “Home Assistant” e “IFC.js”. Il PLC attuale manterrà le funzioni di sicurezza e di gateway con protocollo ModBUS TCP/IP in modo da poter garantire la comunicazione server-sistema.

7.6 EMPOWER - piattaforma web per il monitoraggio dei consumi nei contesti condominiali

Nel precedente triennio è stato avviato lo sviluppo della piattaforma web denominata EMPOWER (Energy Monitoring PORTal for aWare usERs) applicata ai condomini con impianto termico centralizzato per migliorare la consapevolezza degli utenti sui propri consumi rispetto alla fatturazione stagionale.

EMPOWER fornisce un'informazione grafica degli indici di benchmark semplificati facilmente interpretabili dagli utenti come riportato nell'esempio di Figura 29.



Figura 29: Pagina utente: indice di consumo appartamento – indicazione grafica del consumo termico misurato rispetto al consumo atteso.

Nella LA 4.1 è stato analizzato l'andamento degli indici energetici dei condomini inseriti in EMPOWER, in particolare in Figura 30 e in Figura 31 si riporta lo scostamento tra consumo reale e atteso per uno degli appartamenti nel mese di gennaio 2022 (periodo in cui gli utenti non erano ancora informati sull'utilizzo della piattaforma) e nel mese di gennaio 2023 (dopo l'incontro formativo con il condomino avvenuto a dicembre 2022).

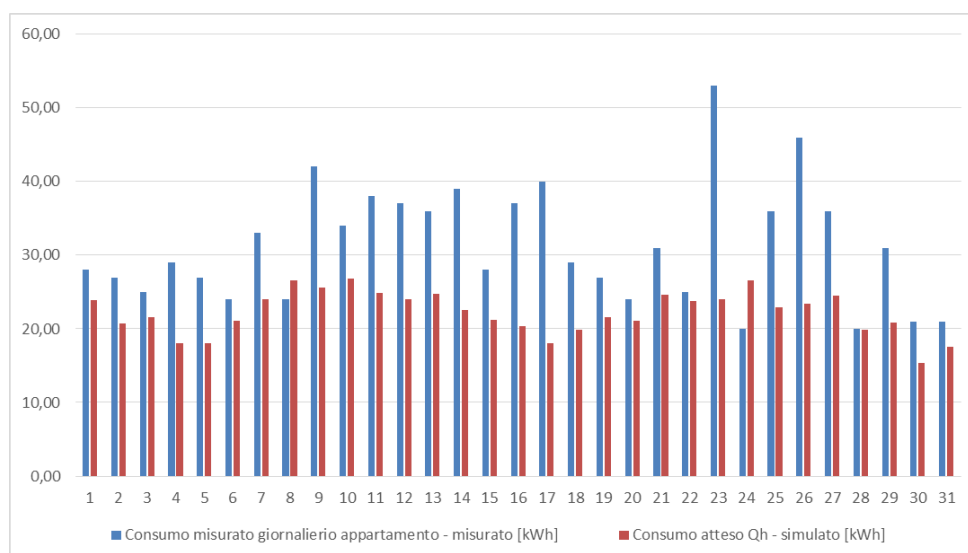


Figura 30: Appartamento A, condominio 1. Confronto tra consumi termici giornalieri reali e consumi ideali attesi - mese di gennaio 2022

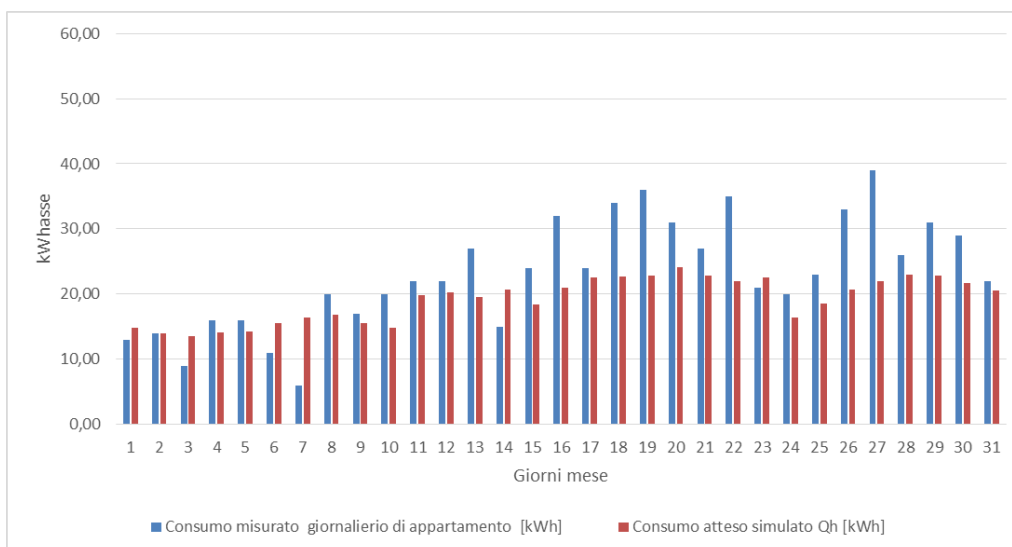


Figura 31: Appartamento A, condominio 1: Confronto consumi termici giornalieri reali – consumi ideali attesi - mese di gennaio 2023.

Dal confronto tra i due grafici di Figura 30 e di Figura 31 si evince una modifica nei consumi energetici di gennaio 2023 rispetto allo stesso mese del 2022; infatti oltre ad osservare una riduzione dei consumi giornalieri reali, questi si avvicinano maggiormente ai consumi attesi simulati. In particolare, il rapporto tra consumi termici reali e consumi termici attesi passa dal valore di 1,4 del mese di gennaio 2022 al valore di 1,2 del mese di gennaio 2023.

Nell’ottica di estendere la piattaforma web a nuovi casi studio, è stato individuato un nuovo condominio con impianto FV comune sito nel comune di Roma; per il nuovo condominio sono stati definiti gli indicatori grafici semplificati per migliorare la consapevolezza degli utenti sui potenziali vantaggi energetici ed economici ottenibili dalla partecipazione attiva alla configurazione di Autoconsumo Collettivo condominiale.

Al fine di acquisire i consumi elettrici delle unità abitative e del carico condominiale si utilizza la Chain 2 dei contatori elettrici 2.0 installati dal Distributore Elettrico come indicato nello schema di **Figura 32**

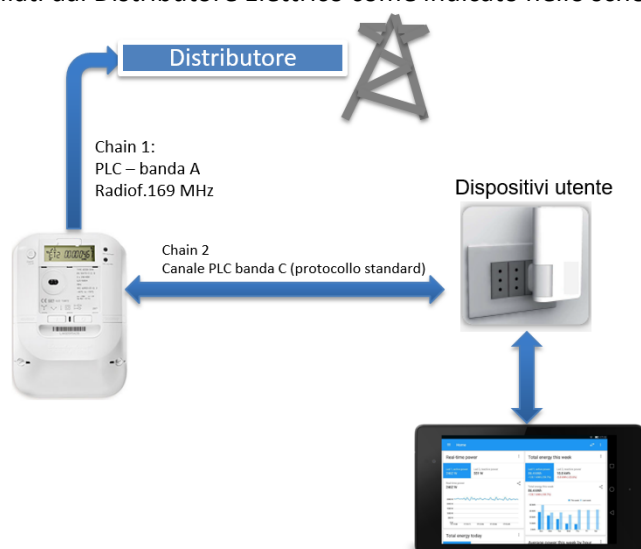


Figura 32: Schema del sistema di comunicazione del contatore elettrico di seconda generazione presente presso le utenze del nuovo condominio

Per comunicare con la Chain 2 del contatore elettrico di ciascuna unità immobiliare è stato individuato un dispositivi utente (DU) fornito da un Asset Provider; quest’ultimo, come indicato in Figura 30, comunica con il contatore elettrico attraverso onde convogliate (PLC-C).

Nel presente triennio è stato avviato un monitoraggio del livello di qualità dell'aria interna degli ambienti, in quanto il monitoraggio di alcuni parametri, come ad es. la CO₂, permette di correlare i consumi termici con determinati comportamenti dell'utente. In particolare per le unità abitative del nuovo condomino è stato individuato un multisensore Qair per la rilevazione di parametri come la temperatura, l'umidità relativa, la CO₂, i composti organici volatili e il particolato. Il multisensore riesce a trasferire con una frequenza programmabile le misure alla piattaforma EMPOWER tramite una rete mesh progettata ad hoc. Infine è stata effettuata una simulazione del nuovo condomino per la valutazione dei consumi attesi come descritto nel par. 5.3 del rapporto tecnico completo allegato al presente documento.

7.7 Smart Readiness Indicator (SRI)

E' stato condotto uno studio sullo stato di avanzamento dello SRI a livello europeo; si riportano, in particolare, i risultati perseguiti da Francia e Danimarca che hanno concluso la fase ufficiale di test. Nel caso francese i risultati hanno mostrato la difficoltà di ottenere punteggi elevati per lo SRI associato al criterio "flessibilità con la rete", vista la scarsa maturità della rete intelligente. Inoltre, la metodologia di calcolo penalizza fortemente gli edifici low-tech che rappresentano la media degli edifici francesi. In Danimarca si sono ottenuti punteggi relativamente bassi (al di sotto del 50%) per tutti gli edifici, con poca differenza tra strutture più datate e moderne.

Nella LA 4.1 è stato completato lo sviluppo e l'aggiornamento del foglio di calcolo adattandolo al contesto nazionale. È stata automatizzata la procedura di calcolo e sono state inserite due nuove modalità di asseverazione:

-approccio "smart ready": si selezionano solo i servizi realmente presenti nell'edificio;

-approccio "smart possibile": tutti i servizi previsti dal catalogo per la tipologia di edificio in esame sono automaticamente attivati.

Il foglio di calcolo è stato applicato ad un edificio reale per uffici effettuando una analisi tecnico-economica associata agli interventi di retrofit necessari per portare lo SRI dell'edificio dal 25% al 43% (costo specifico stimato per gli interventi 62,5 €/mq) e dal 43% al 75% (costo specifico stimato 54 €/mq).

Inoltre il foglio di calcolo sviluppato nella presente linea di attività è stato applicato a tre diversi tipologie di edifici: edificio uffici, struttura ospedaliera, edificio residenziale. Si riporta di seguito il valore di SRI parziale e totale ottenuto per ciascuno dei tre caso studio.

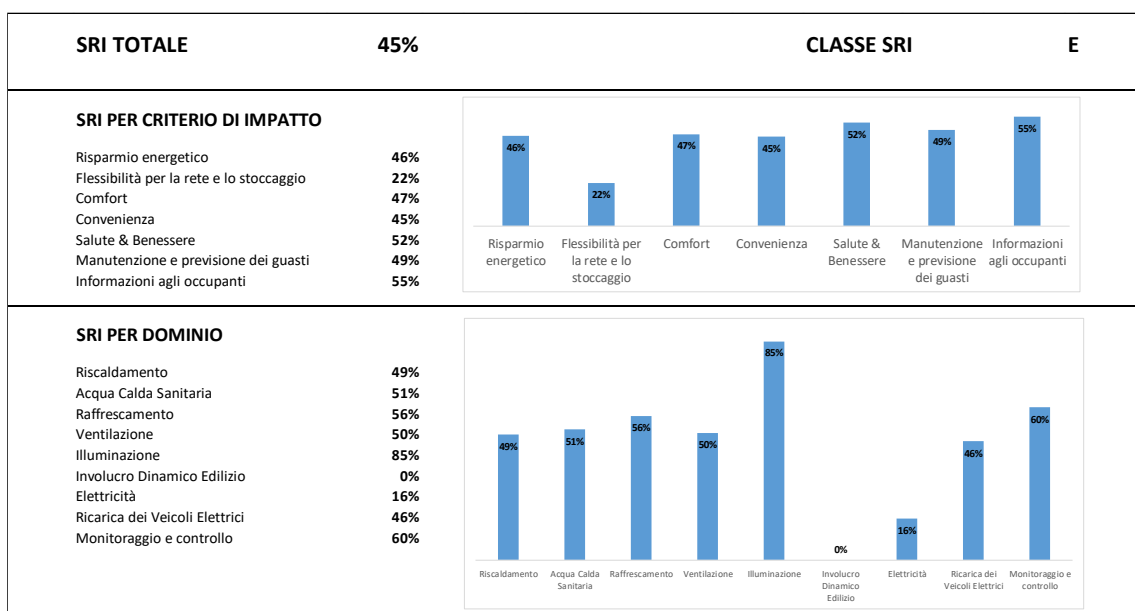


Figura 33: SRI per criterio di impatto, per dominio e SRI totale ottenuto applicando il foglio di calcolo all'edificio uffici del nord Italia

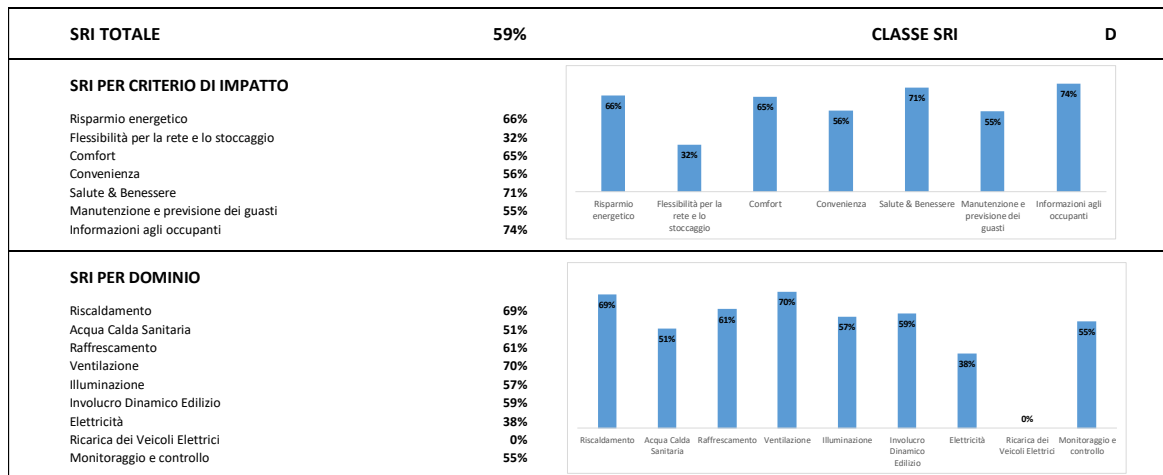


Figura 34: SRI per criterio di impatto e SRI totale ottenuto applicando il foglio di calcolo ad edificio residenziale del sud Italia

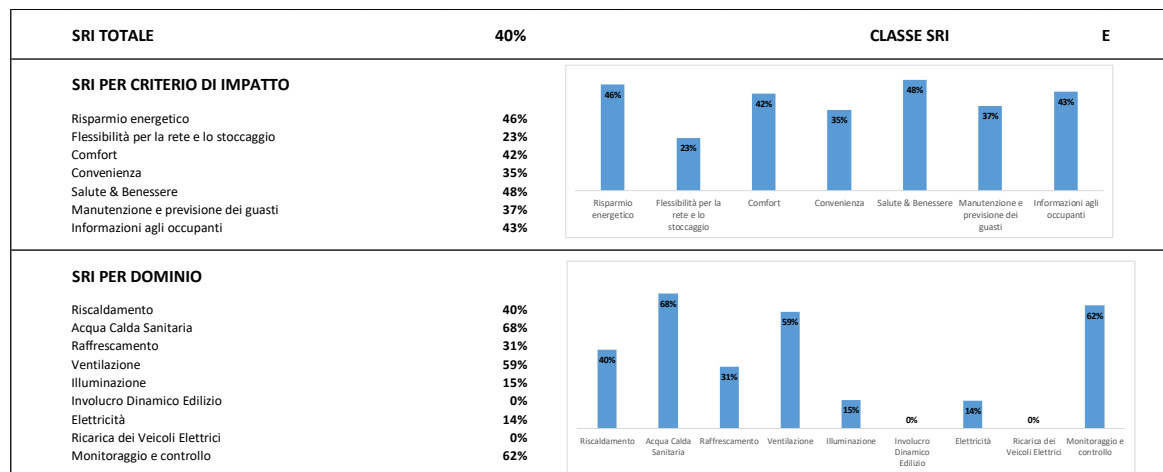


Figura 35: SRI per criterio di impatto, per dominio e SRI totale ottenuto applicando il foglio di calcolo alla struttura ospedaliera del nord Italia

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Per la linea di attività 4.1 non sono state utilizzate consulenze esterne

9 Pubblicazioni scientifiche

Elenco delle pubblicazioni scientifiche:

- Alessandro Lorenzo Palma, Luca La Notte, Giovanni Landi, Biagio Di Pietra, Application of a demand-response-optimized electrical load profile to a plant supplying an energy micro-community, 2022 Workshop on Blockchain for Renewables Integration (BLORIN), Palermo, Italy, 2022, pp. 97-101, doi: 10.1109/BLORIN54731.2022.10028501

- Canale L., Ficco G., Dell'isola M., Di Pietra B., Puglisi G., Bertini I., Effect of end-user awareness and individual heat metering in a social housing building in Mediterranean climate, 2022 7th International Conference on Smart and Sustainable Technologies, SpliTech 2022, DOI: 10.23919/SpliTech55088.2022.9854332

- Inoltre è in preparazione il paper "S.A.P.I.EN.T.E. hybrid system: an experimental test facility focused on energy generation and hybrid storage for self-consumption strategies" che verrà inviato a convegno internazionale con processo di peer review.

10 Eventi di disseminazione

Lista degli eventi di disseminazione scaturiti dall'attività svolta

1) Sistema S.A.P.I.EN.T.E.:

- 22/23 giugno 2023, Milano, Università Bicocca: partecipazione alla prima Conferenza Nazionale della Rete Italiana Fotovoltaico per la Ricerca e l'Innovazione (ReteIFV). Contributo orale "The role of photovoltaics in the rising renewable energy communities. A practical study."
- 17 ottobre 2022: presentazione e visita guidata sistema sperimentale S.A.P.I.EN.T.E. del C.R. Casaccia agli studenti di Dottorato e ricercatori del Dipartimento DIAEE - Università Sapienza - Roma
- 11 maggio 2023: visita guidata del sistema sperimentale S.A.P.I.EN.T.E. a 20 docenti dell'Università ECAMPUS - NOVEDRATE (CO)
- 1 febbraio 2023: Incontro con Daikin Applied Europe presso C.R ENEA di Casaccia per presentare le attività condotte con il sistema S.A.P.I.EN.T.E. e visita dell'impianto sperimentale
- 15 marzo 2023, Ariccia (RM): Incontro con Daikin Applied Europe per presentare il progetto SAPIENTE ai referenti aziendali del sito produttivo di
- 2/3 Settembre 2022, Palermo: Partecipazione al workshop BLORIN (BLOckchain for Renewables Integration), presentazione memoria: *Application of a demand-response-optimized electrical load profile to a plant supplying an energy micro-community*
- 6 Dicembre 2022, Roma: Presentazione delle funzionalità del sistema SAPIENTE al XIV Conferenza Nazionale sull'Efficienza Energetica

2) Piattaforma web EMPOWER

- 5 settembre 2022, Milano: incontro in presenza con referente del condominio sito nel comune di Milano monitorato dalla piattaforma EMPOWER: presentazione nuove funzionalità in progetto per la piattaforma
- 13 Dicembre 2022: riunione on line con gli utenti di uno dei condomini della provincia di Milano monitorati dalla piattaforma per presentare le funzionalità e i primi risultati della piattaforma EMPOWER
- 31 Marzo 2023: Incontro on line con gli inquilini del nuovo condominio da implementare in EMPOWER per presentare le funzionalità della piattaforma
- 28 Aprile 2023: incontro on line con il referente del condominio di Milano per presentare primi risultati della piattaforma EMPOWER

3) Smart Readiness Indicator (SRI)

- 22 febbraio 2022, Webinar : presentazione SRI al Corso Transizione Energetica e Normativa Ambientale organizzato da SAFE – Risorse con Energia, Roma
- 6 settembre 2022, Milano: incontro con proprietà edificio uffici per presentare la procedura di calcolo dello SRI applicato allo stesso edificio e la analisi degli interventi per migliorare i livelli di smartness

- 21 settembre 2022 Webinar: Presentazione attività ENEA sullo Smart Readiness Indicator al workshop nazionale del progetto Europeo SmartBuilt4EU.