



Ricerca di Sistema elettrico

## Smart Buildings: test prototipale delle logiche di ADR

F. De Lia, R. Schioppo, R. Lo Presti,  
S. Pizzuti, S. Romano, A. Tundo, P. Zangheri, P. Zini,  
M. Zinzi, S. Agnoli, G. Cannataro, M. Botticelli

## SMART BUILDINGS: TEST PROTOTIPALE DELLE LOGICHE DI ADR

F. De Lia, R. Schioppo, R. Lo Presti (TERIN-FSD-IIF), S. Pizzuti, S. Romano, A. Tundo, P. Zangheri, P. Zini(TERIN-SEN-SCC), M. Zinzi, (TERIN-SEN), G. Cannataro (TERIN-ICT) M. Botticelli (TERIN-SEN-CROSS), S. Agnoli (ISER-UTFRA)

Dicembre 2021

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità

Obiettivo: Tecnologie

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

Work package: Local Energy District

Linea di attività: LA 1.14 "Smart Buildings: test prototipale delle logiche di ADR"

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work package: Claudia Meloni, ENEA

Si ringraziano i colleghi Irena Balog e Giampaolo Caputo per il prezioso contributo fornito sulle previsioni meteo della Casaccia.

Si ringrazia la società FIMER (già ABB) nella persona di Andrea Ardinghi per il prezioso supporto fornito sul controllo dei sistemi ABB React1

## Indice

SOMMARIO.....	7
1 INTRODUZIONE.....	8
2 DIMOSTRATIVI SPERIMENTALI.....	9
2.1 IMPIANTO EDIFICIO F40 DEL CR ENEA CASACCIA .....	9
2.1.1 <i>Webservice per lo scambio dei dati tra EMS e BEMS</i> .....	9
2.1.2 <i>Upgrade GUI impianto</i> .....	10
2.2 IMPIANTO FOTOVOLTAICO CON ACCUMULO PREDISPOSTO PER LA RICARICA DI VEICOLI ELETTRICI – ED. F50 DEL CR ENEA CASACCIA.....	12
2.2.1 <i>Il generatore fotovoltaico</i> .....	13
2.2.2 <i>I convertitori di potenza</i> .....	15
2.2.3 <i>Il sistema di accumulo</i> .....	16
2.2.4 <i>La stazione di ricarica</i> .....	17
3 IMPLEMENTAZIONE E TEST CASO D’USO ADR.....	20
3.1 PREMESSA .....	20
3.1.1 <i>Scenari ADR testati</i> .....	23
3.2 NUOVA INTERFACCIA DI VISUALIZZAZIONE SULLA PIATTAFORMA DHOMUS DEL BEMS- EMS .....	26
4 FLESSIBILITÀ ELETTRICA IN EDIFICI TERZIARI .....	27
4.1 MODELLAZIONE DELLA FLESSIBILITÀ TERMICA NEGLI EDIFICI ENEA DI CASACCIA E BARI .....	27
4.1.1 <i>Introduzione</i> .....	27
4.1.2 <i>Risultati per la Sede ENEA di Bari</i> .....	28
4.1.3 <i>Risultati per l’Edificio F40 di Casaccia</i> .....	30
4.2 DIMOSTRATORE DI BARI .....	34
4.2.1 <i>Architettura di Rete</i> .....	34
4.2.2 <i>Piattaforma software</i> .....	40
4.2.3 <i>Server di Interoperabilità</i> .....	46
5 PROSUMERCHAIN .....	47
5.1 INTRODUZIONE .....	47
5.2 EVIDENZE STATISTICHE RELATIVE ALL’ANNO 2021.....	48
5.2.1 <i>Modello dei dati</i> .....	48
5.2.2 <i>Viste specifiche per l’analisi dei dati</i> .....	48
5.2.3 <i>Riepilogo dei dati di ogni singola giornata, per ogni account</i> .....	48
5.2.4 <i>Riepilogo dei dati dell’intero anno, per ogni account</i> .....	49
5.3 DATI RELATIVI ALLA STRATEGIA BASATA SU PUN.....	49
5.3.1 <i>Valutazione sulla numerosità delle transazioni</i> .....	50
5.3.2 <i>Valutazione sul valore delle transazioni</i> .....	52
5.3.3 <i>Osservazioni sui risultati ottenuti sulla strategia basata su PUN</i> .....	55
5.4 DATI RELATIVI ALL’AUTOCONSUMO .....	56
5.4.1 <i>Andamento giornaliero a campione dell’autoconsumo</i> .....	57
5.4.2 <i>Osservazioni sui risultati ottenuti sulla strategia basata su Autoconsumo</i> .....	58
5.5 REPLICAZIONE BLOCKCHAIN SU RETE IBSI .....	59
5.6 PREDISPOSIZIONE AMBIENTE.....	59
5.6.1 <i>Definizione variabili di ambiente</i> .....	60
5.6.2 <i>Distributed App per gestire il master account</i> .....	60
5.6.2.1 <i>Amministrazione Smart Contract</i> .....	60
5.6.2.2 <i>Gestione dei nodi</i> .....	61

5.6.2.3	Lista degli Amministratori .....	61
5.6.2.4	Gestione della Black List .....	62
5.6.3	<i>BlockChain Explorer</i> .....	62
5.7	PUBBLICAZIONE SMART CONTRACT .....	63
5.8	REPLICAZIONE AUTOMATISMI DI REGISTRAZIONE DATI .....	64
6	SERRAMENTI SMART .....	65
6.1	INTEGRAZIONI DI CONDIZIONATORI A POMPA DI CALORE NEL SISTEMA DI CONTROLLO DELL'EDIFICIO .....	66
6.2	ANALISI IN CAMPO .....	68
6.3	ANALISI NUMERICHE .....	74
7	CONCLUSIONI .....	78
8	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	79
9	ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI .....	79

Figura 1. Interfaccia grafica del Webservice Server dell'impianto F40. ....	9
Figura 2. Esempio di JSON generato dal Webservice Server dell'impianto F40. ....	10
Figura 3. GUI impianto F40: Scheda Forecast. ....	11
Figura 4. GUI impianto F40: Scheda Administration con esempio di profilo "Pbatt". ....	11
Figura 5. GUI impianto F40: Scheda Administration con esempio di profilo "Pali". ....	12
Figura 6. Schemi a blocchi dell'impianto. ....	12
Figura 7. HMI del prototipo di impianto. ....	13
Figura 8. Particolare di montaggio dei moduli fotovoltaici bifacciali EGP 3SHB370D. ....	14
Figura 9. Il generatore fotovoltaico in fase di costruzione. ....	15
Figura 10. I convertitori FRIEM (a sx) e il sistema di accumulo FAAM (a dx). ....	16
Figura 11. HMI: scheda BMS. ....	17
Figura 12. HMI: scheda Vcharger. ....	18
Figura 13. Realizzazione del basamento per la stazione di ricarica. ....	18
Figura 14. Posizionamento della stazione di ricarica. ....	19
Figura 15. Stazione di ricarica installata. ....	19
Figura 16. Grandezze di interesse (PV + ESS) caso d'uso ADR – Scenario 1 (ore: 00 ÷ 04). ....	23
Figura 17. Grandezze di interesse (PV + ESS) caso d'uso ADR – Scenario 2 (ore: 08 ÷ 12). ....	24
Figura 18. Grandezze di interesse (PV + ESS) caso d'uso ADR – Scenario 3 (ore: 12 ÷ 16). ....	24
Figura 19. Grandezze di interesse (PV + ESS) caso d'uso ADR – Scenario 4 (ore: 16 ÷ 20). ....	25
Figura 20. Grandezze di interesse (PV + ESS) caso d'uso ADR – Scenario 5 (ore: 20 ÷ 24). ....	25
Figura 21. Dashboard dell'edificio F40. ....	26
Figura 22. Modelli geometrici degli edifici ENEA di Bari (a sinistra) e Casaccia (a destra). ....	27
Figura 23. Confronto tra varianti in termini di Indice di Flessibilità medio mensile ed annuale (Sede di Bari). ....	28
Figura 24. Confronto tra varianti in termini di risparmi economici mensili (Sede di Bari). ....	29
Figura 25. Confronto tra varianti in termini di riduzione media mensile e annuale di potenza in corrispondenza dei picchi di PUN ( <i>peak shave</i> ) (Sede di Bari). ....	29
Figura 26. Andamenti medi giornalieri in inverno ed estate della differenza di carico termico tra caso flessibile e caso standard (Sede di Bari). ....	30
Figura 27. Correlazione tra risparmi e temperatura esterna per i due casi studiati (Sede di Bari). ....	30
Figura 28. Confronto tra varianti in termini di Indice di Flessibilità medio mensile ed annuale (F40 Casaccia). ....	31
Figura 29. Confronto tra varianti in termini di risparmi economici mensili (F40 Casaccia). ....	31
Figura 30. Confronto tra varianti in termini di riduzione media mensile e annuale di potenza in corrispondenza dei picchi di PUN ( <i>peak shave</i> ) (F40 Casaccia). ....	32
Figura 31. Andamenti medi giornalieri in inverno ed estate della differenza di carico termico tra caso flessibile e caso standard (F40 Casaccia). ....	32
Figura 32. Correlazione tra risparmi e temperatura esterna per i due casi studiati (F40 Casaccia). ....	33
Figura 33: Architettura di Sistema. ....	34
Figura 34: Schema Fisico di Rete. ....	35
Figura 35: Schema degli apparati di Rete. ....	36
Figura 36: Schema di rete per la VLAN 33 WIFI IOT. ....	36
Figura 37: Statistiche Top Access Points by Users. ....	38
Figura 38: Forward Traffic Log - policy ID 25 (traffico verso MQTT). ....	39
Figura 39: FortiView Policies by Bytes - policy ID 25 (traffico verso MQTT). ....	40
Figura 40 – Login. ....	41
Figura 41 – Localizzazione struttura su mappa. ....	41
Figura 42 – Localizzazione sensori su pianta. ....	42
Figura 43 – Dettaglio ufficio/ambiente. ....	42
Figura 44 – Andamento dati ambientali. ....	43
Figura 45 – Storico dati e filtri. ....	43

Figura 46 – Export dei dati.....	44
Figura 47 – Andamento consumi energetici.....	44
Figura 48 – Consumi power meter .....	44
Figura 49– Dettaglio linea.....	45
Figura 50– Esempio di una regola per la generazione di un allarme .....	45
Figura 51– Visualizzazione sulla piattaforma dell’allarme generato .....	45
Figura 52 - Numero transazioni per Account, Anno 2021 .....	51
Figura 53 - Numero transazioni per Proprietario, Anno 2021.....	52
Figura 54 - EnergyToken accumulati, Anno 2021 .....	53
Figura 55 - EnergyToken accumulati da "Luci Piano 1" .....	54
Figura 56 - EnergyToken accumulati per Proprietario, Anno 2021 .....	55
Figura 57 - EnergyToken accumulati per autoconsumo - Anno 2021 .....	57
Figura 58 - EnergyToken accumulati da Autoconsumo .....	58
Figura 59. Valori monitorati dell'autoconsumo presso l'edificio F40 dall'8 al 12 novembre .....	59
Figura 60 - Amministrazione Smart Contract .....	61
Figura 61 - Gestione dei nodi.....	61
Figura 62 - Lista degli Amministratori .....	62
Figura 63 - Gestione della Black List .....	62
Figura 64 - Blockchain Explorer.....	63
Figura 65 - Interfaccia grafica di Remix .....	63
Figura 66- Layout della porzione di F40 interessata alle attività di smart windows .....	65
Figura 67- Vista dell’edificio F40 dopo l’installazione dei condizionatori negli uffici monitorati .....	65
Figura 68- Condizionatore a pompa di calore installato .....	66
Figura 69- Immagine e dettaglio costruttivo della scheda di comunicazione installata .....	67
Figura 70- Schema di collegamento del sistema di comunicazione e controllo dei condizionatori .....	67
Figura 71- Andamento delle temperature indoor e outdoor durante il 26 agosto.....	69
Figura 72- Profilo dei parametri fisici e dello stato di controllo dei serramenti in ufficio 3 nei giorni 13-15 agosto .....	72
Figura 73- Profilo delle temperature nei sei uffici nei giorni 15-17 agosto.....	72
Figura 74- Individuazione delle zone termiche nel modulo TRNbuild di TRNSYS .....	75
Figura 75- Esempio di dati di input in una zona termica nel TRNbuild di TRNSYS .....	75
Figura 76- Progetto TRNSYS per la modellazione degli uffici nell’edificio F40 di ENEA .....	76
Figura 77- Confronto dati misurati e calcolati in ufficio 2 .....	77

## Sommario

Le attività condotte hanno riguardato lo sviluppo di impianti sperimentali e di servizi in ambito Smart Buildings. Per il Dimostratore F40, sono stati migliorati la GUI che gestisce l'impianto fotovoltaico con accumulo, il software per l'integrazione tra EMS e BEMS ed è stato abilitato il servizio di Automated Demand Response (ADR) mediante il quale l'impianto è in grado di acquisire, registrare ed attuare le richieste di set point sullo Storage inviate da un Aggregatore/DSO. E' stato infine realizzato nell'area sperimentale F50 l'impianto fotovoltaico con accumulo predisposto per la ricarica di veicoli elettrici progettato nella precedente annualità.

Nel documento viene presentata una metodologia per il calcolo della flessibilità termica di edifici applicandola ai due edifici ENEA di Bari e di Casaccia utilizzando come segnale di penalità il Prezzo Unico Nazionale (PUN). Oltre a simulare lo stato di fatto, l'analisi è stata estesa a varianti migliorate dal punto di vista energetico. Le analisi condotte hanno consentito di quantificare l'indice di flessibilità e i relativi risparmi economici mensili e annuali. Il Dimostratore di Bari è stato inoltre upgradato installando sensoristica adeguata e collegata ad una infrastruttura di rete dedicata.

E' stata ulteriormente sviluppata la Blockchain "Prosumer Chain" che sperimenta un approccio innovativo per stimolare i membri di una Comunità Energetica a comportamenti energeticamente virtuosi. Vengono ora fornite evidenze statistiche dalle transazioni registrate in "EnergyToken" riferite alle due strategie di gestione basate sul PUN e sull'autoconsumo. Tale Blockchain è stata infine replicata su Blockchain IBSI. Tutto ciò ha portato ad una implementazione dello Smart Contract ENEA.

Per l'attività riguardante i "Serramenti Smart", sono stati quantificati i benefici a livello energetico, termico e di comfort per gli utenti derivante dall'applicazione di sistemi trasparenti innovativi e dinamici, la cui gestione è integrata nel sistema di smart energy management dell'edificio F40 del Centro Ricerche Casaccia di ENEA

## 1 Introduzione

Il presente lavoro si colloca all'interno del WP1 (Local Energy District) del PTR 19-21 di cui all' AdP MiSE - ENEA e rappresenta la naturale continuazione delle attività delle prime due annualità. Sono state portate a compimento attività sui Dimostratori di Smart Building per i quali sono stati sviluppati servizi pensati per supportare nuovi modelli di Smart Energy Communities, tra cui l'ADR in ambito terziario e la flessibilità degli usi finali elettrici. Aspetto qualificante del lavoro è la definizione di meccanismi di premialità/penalità in ambito Blockchain al fine di pervenire alla scrittura di uno SMART contract ENEA che trova applicazione nell'ambito della piattaforma di Comunità sviluppata da ENEA.

## 2 Dimostrativi sperimentali

### 2.1 Impianto edificio F40 del CR ENEA Casaccia

#### 2.1.1 Webservice per lo scambio dei dati tra EMS e BEMS

Il Dimostrativo F40 dispone di due gestori energetici, uno lato produzione (EMS) e uno lato consumi (BEMS). Essendo tali gestori separati, e dovendosi scambiare informazioni, è stato necessario sviluppare un Webservice Server dedicato. Il Webservice, che gira sulla workstation di cabina e che risponde ad uno specifico indirizzo IP, interroga ciclicamente l'EMS di impianto<sup>1</sup>, estrae le grandezze di interesse (shared variables) e le formatta in modo che il BEMS possa leggerle correttamente. Il risultato di tali operazioni è la creazione di un file JSON che si aggiorna automaticamente ogni 5 secondi. La Figura 1 e Figura 2 mostrano, rispettivamente, l'interfaccia grafica del Webservice server con cui è possibile leggere le grandezze di interesse e il file JSON creato.

L'istante cui si riferisce la generica lettura è contenuto nel campo Timestamp<sup>2</sup>. Il valore deve essere opportunamente tradotto in modo da risalire al giorno, mese, anno e ora dell'interrogazione. Come meglio specificato nel Report della precedente annualità, l'impianto è suddiviso in tre sezioni ciascuna delle quali è connessa ad una singola fase della rete elettrica interna in modo da realizzare un sistema trifase equivalente. Su ciascuna delle fasi L1, L2 e L3 avremo quindi un sistema fotovoltaico con accumulo monofase, nella fattispecie un sistema ABB REACT1<sup>3</sup> da 4 kWh. Saranno quindi tre le batterie e gli inverter fotovoltaici e tutto ciò trova riscontro sia nel file JSON che nei grafici di riportati più avanti nel documento.

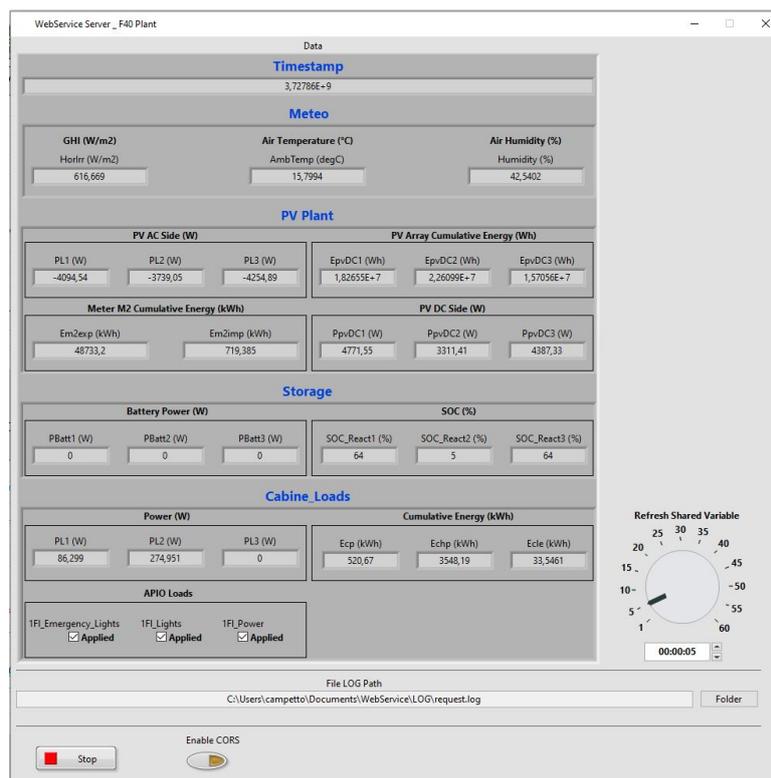


Figura 1. Interfaccia grafica del Webservice Server dell'impianto F40.

<sup>1</sup> CRIO 9030 della National Instruments.

<sup>2</sup> Il campo Timestamp è espresso in secondi.

<sup>3</sup> Sono ora disponibili i nuovi sistemi ABB REACT2 che a parità di dimensioni hanno capacità doppia. Nelle future attività del PTR, tali sistemi potranno eventualmente sostituire quelli attualmente in uso per aumentare ulteriormente la flessibilità dell'edificio.

La creazione del webservice consentirà di ampliare facilmente il set di grandezze di interesse qualora sia necessario alle future attività senza modificare il firmware dell’EMS, operazione sempre delicata e che richiederebbe tra l’altro la messa in manutenzione dell’impianto F40.

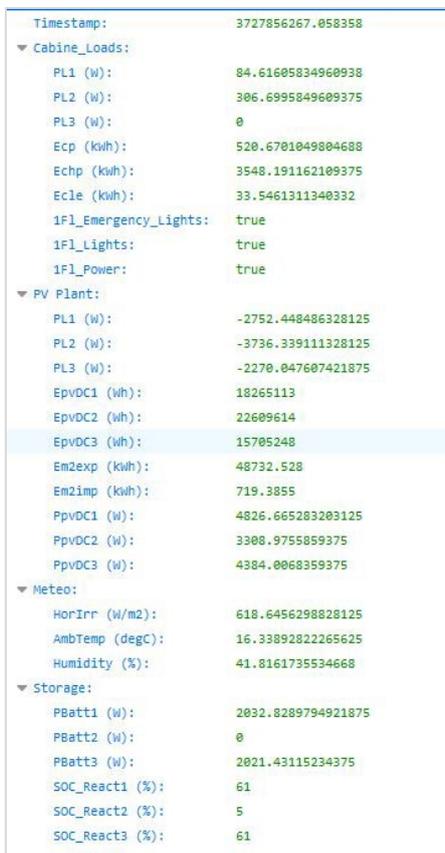


Figura 2. Esempio di JSON generato dal Webservice Server dell’impianto F40.

### 2.1.2 Upgrade GUI impianto

Il Dimostratore dell’F40 dispone di una GUI (Graphic User Interface) appositamente sviluppata da ENEA che consente di monitorare e controllare l’intero impianto. Nella presente annualità l’interfaccia è stata ulteriormente sviluppata inserendo un TAB specifico (Forecast) per la visualizzazione delle previsioni a 24h della GHI, della produzione fotovoltaica e del carico elettrico dell’edificio<sup>4</sup>. Il TAB Forecast riporta anche il confronto in Real Time tra previsioni e misure<sup>5</sup> in modo da avere un riscontro immediato delle previsioni. Dalla Figura 3 si osserva come le previsioni del carico e del fotovoltaico in realtà siano tre questo perché l’impianto si compone di tre sottosistemi. Interessante notare come gli errori sulle previsioni del carico fatte sulle singole fasi L1, L2 e L3 si vadano in qualche misura a compensare facendo sì che la previsione sul carico complessivo L123, somma delle tre previsioni, sia mediamente migliore (per i dettagli si rimanda al Report<sup>6</sup> specifico sviluppato dall’Università di Roma 3, facoltà di ingegneria).

Le previsioni della GHI, e conseguentemente quella del fotovoltaico, non sono riportate in Figura 3 perché la piattaforma ENEA che fa le previsioni della GHI e della T era in manutenzione in quella giornata. Per avere informazioni di dettaglio anche sulla previsione del fotovoltaico si rimanda allo stesso report dell’Università sopra citato.

<sup>4</sup> Si tratta del carico elettrico del 1° piano.

<sup>5</sup> Medie quart’orarie.

<sup>6</sup> Report RdS/PTR(2020)/012: Reti neurali per la predizione dell’assorbimento elettrico di edifici e della produzione di impianti fotovoltaici.

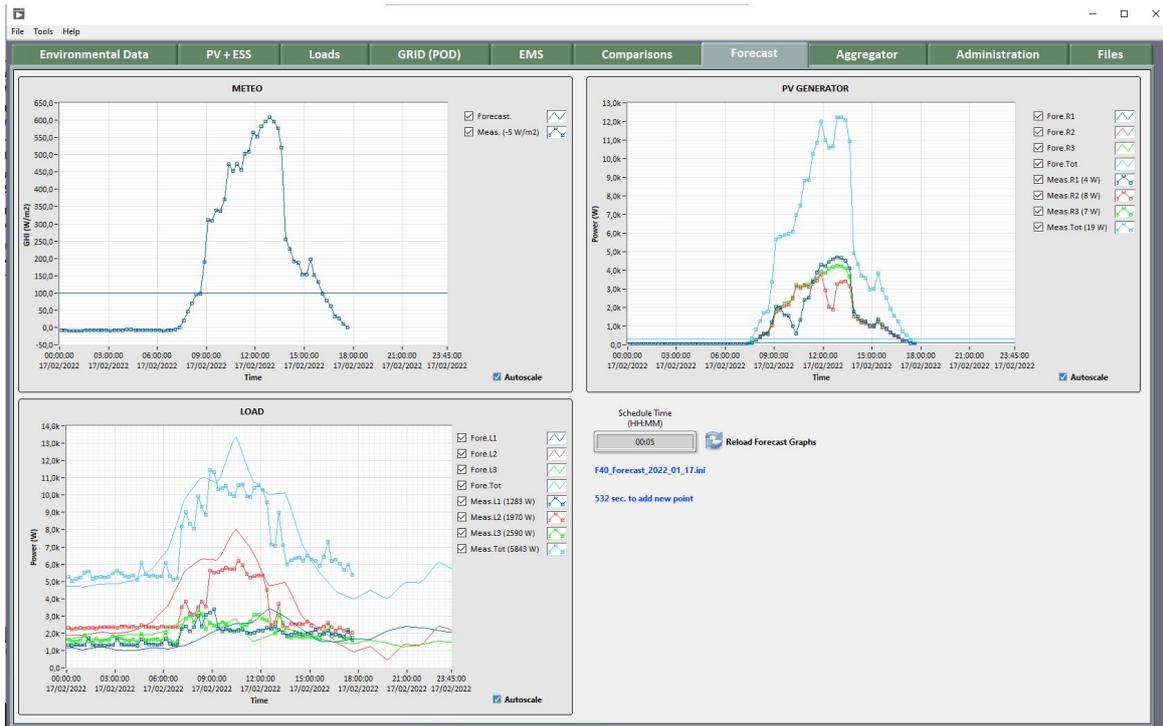


Figura 3. GUI impianto F40: Scheda Forecast.

Anche il TAB Administration della GUI è stato ulteriormente sviluppato. Ora è possibile comandare in modo indipendente le batterie dei 3 REACT1 secondo dei profili di carica (“Pbatt”) e di scarica (“Pali”) che possono essere precaricati sull’EMS il giorno prima. Tali profili, se necessario, si possono differenziare tra i 3 REACT1 ed entrano in gioco esclusivamente nelle strategie “*ENEA SMART*” ed “*ENEA ADR@BATT*”<sup>7</sup>.

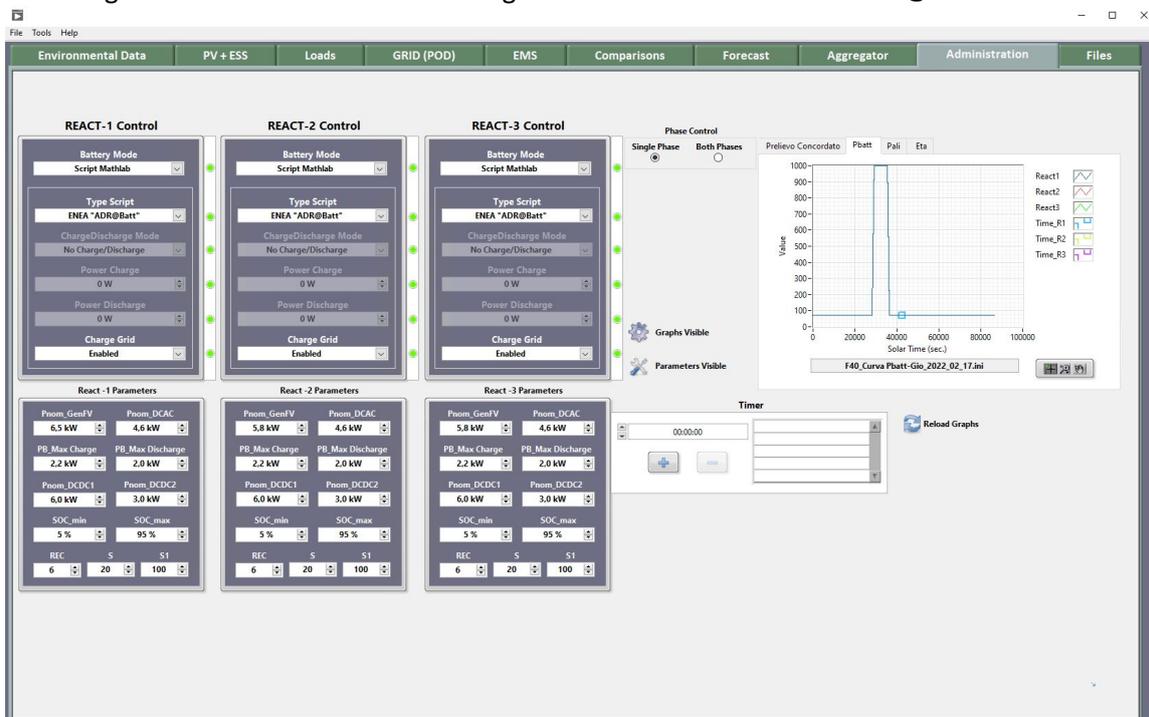


Figura 4. GUI impianto F40: Scheda Administration con esempio di profilo “Pbatt”.

<sup>7</sup> La strategia ENEA ADR@BATT è la strategia sviluppata per il caso d’uso ADR descritto più avanti nel documento.

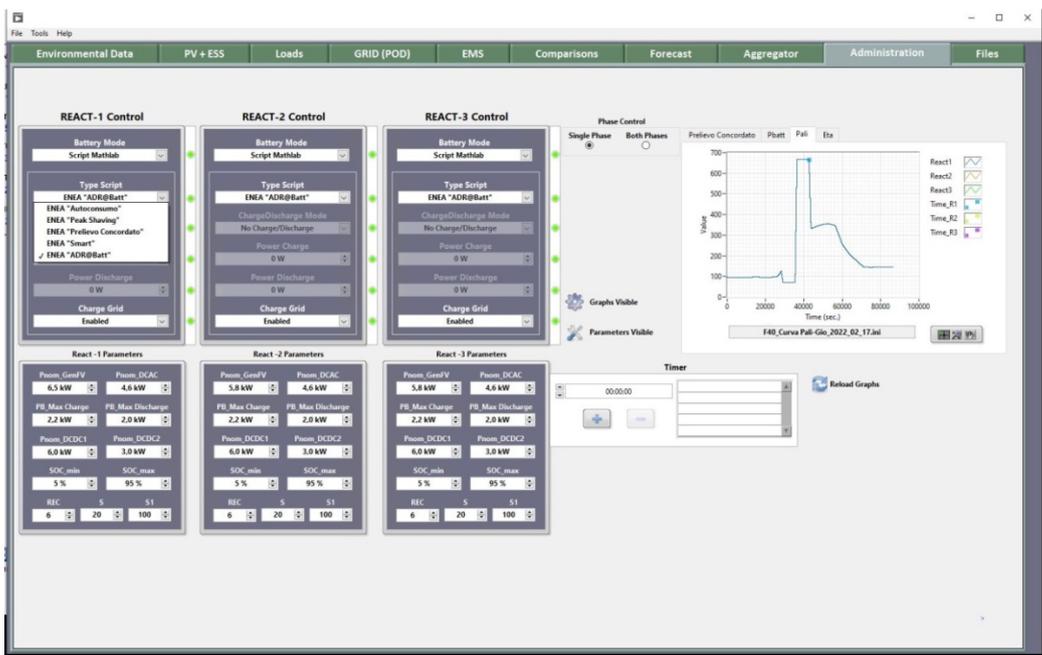


Figura 5. GUI impianto F40: Scheda Administration con esempio di profilo “Pali”.

## 2.2 Impianto fotovoltaico con accumulo predisposto per la ricarica di veicoli elettrici – ed. F50 del CR ENEA Casaccia.

Nella precedente annualità è stata fatta la progettazione esecutiva dell’impianto mentre in questa annualità si è proceduto ad installare e collegare i principali componenti dell’ impianto tra cui il generatore fotovoltaico, il sistema di accumulo, i convertitori di potenza, la stazione di ricarica e a verificare il corretto funzionamento dell’intero impianto. Gran parte del tempo è stato dedicato a risolvere problemi software che inevitabilmente sorgono quando si tratta di apparecchiature sperimentali che hanno la necessità di comunicare tra loro. L’impianto è stato concepito per essere gestito da un EMS ENEA che interagisce con l’HMI<sup>8</sup> dei convertitori ed invia i setpoint di potenza all’accumulo, ai convertitori e alla stazione di ricarica a seconda della strategia di gestione selezionata.

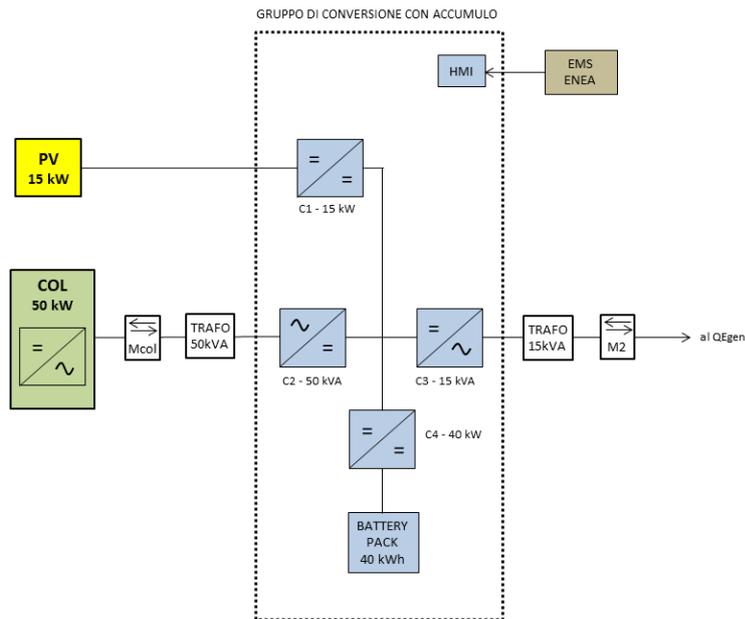


Figura 6. Schemi a blocchi dell’impianto.

<sup>8</sup> Human Machine Interface.

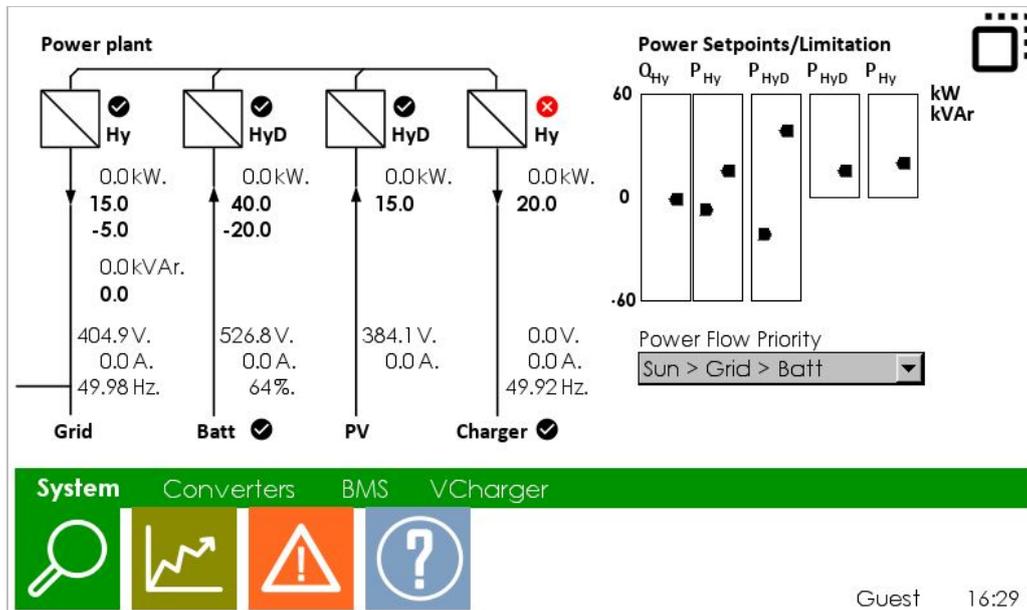


Figura 7. HMI del prototipo di impianto.

Nello schema di Figura 7, sono indicati, a partire da sinistra verso destra, il convertitore lato Rete (Hy), il convertitore che gestisce la carica e scarica dell'accumulo (HyD), il convertitore fotovoltaico (HyD) e il convertitore che alimenta la stazione di ricarica (Hy). L'HMI riporta in tempo reale anche le grandezze elettriche associate ai vari convertitori, il loro stato di funzionamento e la priorità dei flussi di potenza.

### 2.2.1 Il generatore fotovoltaico.

Il generatore fotovoltaico si compone di 4 stringhe da 9 moduli ciascuna per una potenza complessiva di 13,3 kWp. I moduli sono di tipo vetro-vetro e sono stati forniti da ENEL Green Power con cui ENEA ha una collaborazione pluriennale nella ricerca e sviluppo delle celle fotovoltaiche<sup>9</sup>. I moduli utilizzati sono bifacciali, impiegano celle in eterogiunzione di Silicio e consentono di aumentare la produzione annua del 10-15% rispetto ad un modulo convenzionale di pari potenza.

#### Caratteristiche Modulo Fotovoltaico:

- Marca e modello: Enel Green Power, 3SHB370D
- Tecnologia: Bifacciale con celle in eterogiunzione di Silicio.
- Tipologia: vetro-vetro
- Potenza @STC: 370 W
- Potenza @BSTC: 453 W
- Tensione MPP (V<sub>mpp</sub>): 43,4 V
- Corrente MPP (I<sub>mpp</sub>): 8,52 A
- Tensione a vuoto (V<sub>oc</sub>): 53 V
- Corrente corto circuito (I<sub>sc</sub>): 9 A
- Efficienza dei moduli: 18,7 %
- Fattore di bifaccialità: >90%
- Coefficiente temperatura P<sub>m</sub>: -0.25 %/°C
- Coefficiente temperatura V<sub>oc</sub>: -0.18 %/°C
- Coefficiente temperatura I<sub>sc</sub>: 0.035 %/°C
- Peso: 33 kg

<sup>9</sup> Il modulo fotovoltaico è stato sviluppato nell'ambito del Progetto AMPERE finanziato dal Programma Horizon 2020.

- Dimensioni (L x P x H) in mm: 1983 x 998 x 7,5

#### Caratteristiche Generatore Fotovoltaico

- Numero stringhe: 4
- Numero moduli per stringa: 9
- Potenza @STC: 13,3 kW
- Potenza @BSTC: 16,3 kW
- Tensione MPP (Vmpp): 390,6 V
- Corrente MPP (Impp): 34,08 A
- Tensione a vuoto (Voc): 477 V
- Corrente corto circuito (Isc): 36 A
- Esposizione: SUD, Tilt= 30°

Essendo i moduli di tipo vetro-vetro, particolare attenzione è stata riposta nella scelta della struttura di sostegno<sup>10</sup> che è stata realizzata in acciaio zincato a caldo per evitare flessioni varie che potrebbero portare a rottura i moduli fotovoltaici. Il disegno della struttura è anche specifico per i moduli bifacciali in quanto si è cercato di evitare fenomeni di ombreggiamento della faccia posteriore del modulo causati dai profili trasversali e longitudinali che negli impianti tradizionali si trovano sotto le celle. I profili sono stati quindi posizionati lungo il perimetro dei moduli.



Figura 8. Particolare di montaggio dei moduli fotovoltaici bifacciali EGP 3SHB370D.

Nella posa della struttura di sostegno si è scelto infine di non seguire il terreno (che nel caso specifico aveva una pendenza variabile), come generalmente viene fatto negli impianti a terra, ma di shiftare tra loro le tre “vele” fotovoltaiche in modo da garantire la perfetta complanarità tra i moduli riducendo così il mismatch di corrente e aumentando la producibilità.

---

<sup>10</sup> La struttura di sostegno è la BARFIX TRIO prodotta da Metalforme srl.



**Figura 9. Il generatore fotovoltaico in fase di costruzione.**

### 2.2.2 I convertitori di potenza

I convertitori sono prodotti da FRIEM SpA e sono indicati in Figura 10. Da sinistra verso destra si riconoscono il convertitore DC/AC lato rete, il convertitore DC/DC per l'accumulo, il convertitore DC/DC per il fotovoltaico ed infine il convertitore DC/AC che alimenta la stazione di ricarica. Quest'ultimo convertitore può andare in isola e quindi, in assenza di Rete, può alimentare la stazione di ricarica con il solo fotovoltaico e, se carico, anche con lo Storage.

#### Caratteristiche Convertitori di potenza

##### Convertitori DC/AC

Costruttore:	FRIEM SpA
Lato AC	
- Range di tensione:	200 - 400 (+-10%) V
- Frequenza:	50/60 Hz
- Potenza @400V:	70 kW
- Corrente nominale @40°C:	100 A
Lato DC	
- Range di tensione di carica @Vnac:	1.51*Vac – 885 V
- Corrente massima @40°C:	110 A
Informazioni Generali	
- Peso:	290 Kg
- Larghezza:	550 mm
- Altezza:	2200 mm
- Profondità:	825mm
- Flusso d'aria:	700 m3/h
- Consumo standby:	50 W
- Trasformatore di isolamento:	Si

##### Convertitori DC/DC

Costruttore:	FRIEM SpA
Tipologia:	STEP-UP MODE

Ingresso DC

- Range di tensione: 120 ÷ VminOUT/1,1 V
- Corrente massima: 84

Uscita DC

- Range di tensione: 1,1\*VmaxIN ÷ 885 V
- DC Ripple massimo (pk-pk): < 3 (@ Max DC Voltage) %

Efficienza:

- Massima efficienza: 99 %

Informazioni Generali

- Peso: 180 kg
- Flusso d'aria: 700 m3/h

Allo stato, le macchine si accendono e spengono mediante interazione manuale con l'HMI ma è in programma di rendere automatica tale interazione mediante l'implementazione di strategie di gestione dell'energia customizzate da caricare nell'EMS ENEA.



Figura 10. I convertitori FRIEM (a sx) e il sistema di accumulo FAAM (a dx).

2.2.3 Il sistema di accumulo

Il sistema di accumulo utilizza celle agli ioni di litio con tecnologia LiFePO4 organizzate in 10 moduli da 4,1 kWh ciascuno per una capacità complessiva pari a 41 kWh.

**Caratteristiche Sistema di Accumulo**

- Costruttore: FAAM SpA
- Celle:
  - Chimica: LiFePO4
  - Capacità Nominale: 40 Ah
  - Energia Nominale: 130 Wh
  - Tensione Nominale: 3,2 V
  - Dimensioni (s x l x l): 12 x 194 x 218 mm
  - Peso: 0,95 kg

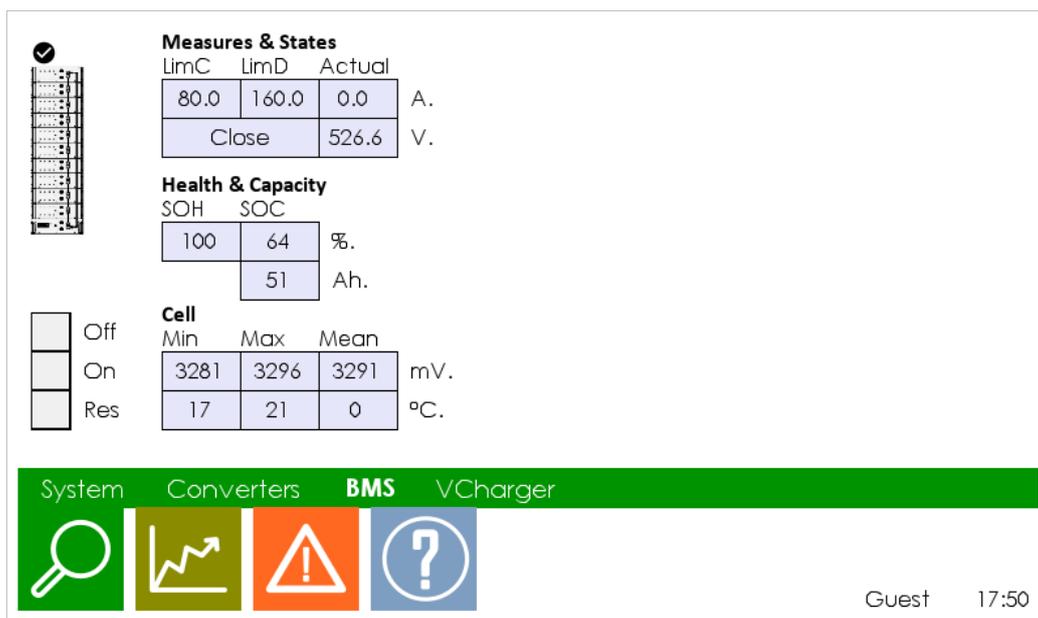
Moduli

- Capacità Nominale: 80 Ah
- Energia Nominale: 4.1 kWh
- Tensione Nominale: 51,2 V
- Dimensioni (s x l x l): 644 x 173.5 x 432.5 mm
- Peso: 65 kg

**Pacco batteria**

- Capacità Nominale: 80 Ah
- Energia Nominale: 41 kWh
- Tensione Nominale: 400 – 800 V
- Dimensioni (s x l x l): 600 x 2112 x 740 mm
- Peso: 800 kg

La scheda BMS dell’HMI fornisce misure e stati di funzionamento del sistema di accumulo. In Figura 11 sono indicati tensione e corrente erogata/assorbita dal pacco batteria nonché i limiti di carica (1C) e di scarica (2C) che dipendono dalla tensione presente sul pacco batteria. All’approssimarsi della massima tensione ammissibile, il limite di carica “*LimC*” tenderà a zero, viceversa, man mano che il pacco batteria si scarica, sarà il limite di scarica “*LimD*” a ridursi fino ad annullarsi del tutto al raggiungimento della tensione minima ammissibile. Informazioni importanti per la sicurezza e funzionalità del pacco batteria sono i valori minimi e massimi delle tensioni e temperature delle celle che lo compongono; il loro monitoraggio consente di attuare azioni correttive qualora si registrino valori pericolosi.



**Figura 11. HMI: scheda BMS.**

#### 2.2.4 La stazione di ricarica

La stazione di ricarica è dotata di connettori multistandard, sia per la carica in DC che in AC, in modo da avere la massima flessibilità per la ricarica.

#### Caratteristiche Stazione di Ricarica

- Costruttore: INTESYS srl
- Potenza: DC 25 kW – 50 kW / Potenza AC 22 – 43 kW
- Corrente in uscita : DC CCS 200A /DC CHAdeMO 125A / AC 3x63A
- Tipo Presa : DC: Presa Combo CCS / AC: Presa Tipo 2 (Mennekes) Modo 3
- Comunicazione: Ethernet, wi-fi 3G
- Peso: 450 kg

Anche la stazione di ricarica è monitorabile con l’HMI. La Figura 12 riporta uno screenshot della scheda Vcharger dell’HMI indicante lo stato dei tre connettori, la potenza erogata e lo stato della colonnina. Sono anche disponibili diversi registri Modbus con cui monitorare molte altre grandezze comprese quelle che il veicolo elettrico mette a disposizione durante la sua ricarica (es SOC, tempo per il fine carica etc...). Mediante lo stesso protocollo Modbus è anche possibile variare dinamicamente il limite di potenza erogabile dalla colonnina, funzionalità importante che verrà utilizzata nelle future attività.

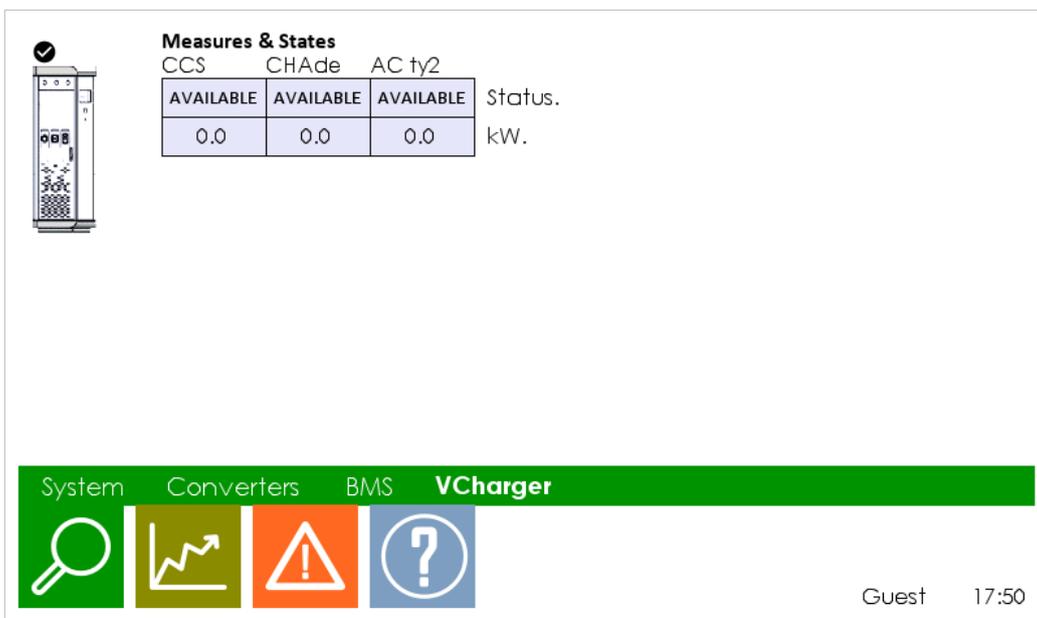


Figura 12. HMI: scheda Vcharger.

Con la progettazione esecutiva dell’impianto è stata fatta anche la progettazione del basamento in calcestruzzo armato per la stazione di ricarica che da sola pesa quasi 500 kg.



Figura 13. Realizzazione del basamento per la stazione di ricarica.

Realizzato il basamento, l’installazione della stazione di ricarica prevede il posizionamento a terra di una piastra di fissaggio su cui viene successivamente calata la stazione di ricarica e fissata grazie a delle barre

filettate di cui è dotata la piastra. Da sotto il basamento parte una tubazione interrata, per il passaggio del cavo di potenza e di quello di segnale, che termina nel locale apparati dove sono contenuti i convertitori FRIEM e il sistema di accumulo FAAM descritti in precedenza.



**Figura 14. Posizionamento della stazione di ricarica.**



**Figura 15. Stazione di ricarica installata.**

### 3 Implementazione e test caso d’uso ADR

#### 3.1 Premessa

Come descritto nel Report RdS/PTR(2021)/002, l’edificio F40 è stato abilitato al servizio di Automated Demand Response (ADR).

L’edificio è situato presso il Centro Ricerche ENEA della Casaccia che ospita circa 180 edifici, alimentati da un’unica cabina elettrica, mentre ai singoli edifici non è associato uno specifico PoD. Per questo motivo è stato implementato un Pod virtuale in grado di registrare e successivamente certificare gli scambi energetici dell’edificio con la rete e acquisire le notifiche le richieste di set point inviate dall’Aggregatore o DSO.

In sostanza è stato installato un edge device in corrispondenza del primo piano dell’edificio F40, in cui risiedono due microservizi:

- Mqtt service: per consentire la connessione in MQTT alla piattaforma del DSO t.p. e riceve il Set-point dell’evento di ADR espresso in termini di massima potenza da impegnare;
- Virtual POD: tramite API acquisisce le misure dell’energia attiva e potenza attiva dal PoD virtuale per certificarli e rinviarli al Database del DSO.

Nella fase di sperimentazione, durante il test di ADR si è proceduto al controllo dello storage per rispettare il Set point richiesto.

Nello specifico, si è ipotizzando che il DSO/Aggregatore abbia la necessità di richiedere potenza sulle batterie del sistema di accumulo in determinate fasce orarie. Tale richiesta arriverà entro le ore 20 del giorno prima e dovrà essere attuata per il giorno dopo per una durata di 4 ore. Sono stati quindi testati 5 scenari ADR in cui al sistema di accumulo si chiede di essere caricato a 3 kW per le prime due ore e scaricato a 2 kW per le rimanenti due. Gli scenari testati sono stati 5 come da tabella:

**Tabella 1. Scenari ADR testati**

	Giorno	Fascia oraria
Scenario 1	16/02/2022	00 - 04
Scenario 2	17/02/2022	08 - 12
Scenario 3	18/02/2022	12 - 16
Scenario 4	24/02/2022	16 - 20
Scenario 5	25/02/2022	20 - 24

La richiesta si concretizza con l’invio di un file JSON da parte del DSO/Aggregatore. Tale file, non appena viene ricevuto<sup>11</sup>, viene prima salvato nel NAS dell’ impianto in modo da avere uno storico, subito dopo un codice Matlab che gira sulla workstation di cabina genera i profili di carica e scarica delle batterie<sup>12</sup> per il giorno dopo. Tali profili saranno caricati dall’EMS che controlla l’impianto e attuati a partire dalla mezzanotte grazie alla strategia di gestione denominata “ADR@BATT” appositamente sviluppata per tale scopo.

Un esempio di file JSON ricevuto dal DSO/Aggregatore è mostrato di seguito: il campo “”dateTime” rappresenta data e ora riferite al giorno in cui si deve attuare la richiesta ADR (nell’esempio specifico, il 29 Novembre 2021). Il campo “interval” rappresenta la durata del singolo time slot (15 minuti). Seguono i singoli “timeslot” (numerati da 1 a 16) e i relativi setpoint di potenza attiva, reattiva da intendersi lato POD (tali setpoint non sono stati utilizzati in questa fase e quindi sono “null”) e i setpoint di potenza sul sistema di accumulo. Questi ultimi setpoint sono stati usati in questa sperimentazione. Il campo “batteryPower” assume valori positivi nel caso di batterie in carica e valori negativi nel caso contrario.

```
{
  "pod": "IT000A0000000A",
```

<sup>11</sup> L’upload del file JSON ha richiesto l’aggiornamento del webservice Server dell’impianto F40.

<sup>12</sup> I profili Pbatt e Pali hanno un campionamento temporale di 1 secondo.

```
"dateTime": "2021-11-29T16:00:00+1",  
"marketOutcomeId": "a47408e6-4851-46cc-8416-e32e9eb7e568",  
"interval": 15,  
"setPoint": [  
  {  
    "timeslot": 1,  
    "activePower": null,  
    "reactivePower": null,  
    "batteryPower": 3000  
  },  
  {  
    "timeslot": 2,  
    "activePower": null,  
    "reactivePower": null,  
    "batteryPower": 3000  
  },  
  {  
    "timeslot": 3,  
    "activePower": null,  
    "reactivePower": null,  
    "batteryPower": 3000  
  },  
  {  
    "timeslot": 4,  
    "activePower": null,  
    "reactivePower": null,  
    "batteryPower": 3000  
  },  
  {  
    "timeslot": 5,  
    "activePower": null,  
    "reactivePower": null,  
    "batteryPower": 3000  
  },  
  {  
    "timeslot": 6,  
    "activePower": null,  
    "reactivePower": null,  
    "batteryPower": 3000  
  },  
  {  
    "timeslot": 7,  
    "activePower": null,  
    "reactivePower": null,  
    "batteryPower": 3000  
  },  
  {  
    "timeslot": 8,  
    "activePower": null,  
    "reactivePower": null,  
    "batteryPower": 3000  
  }  
]
```

```
},
{
  "timeslot": 9,
  "activePower": null,
  "reactivePower": null,
  "batteryPower": -2000
},
{
  "timeslot": 10,
  "activePower": null,
  "reactivePower": null,
  "batteryPower": -2000
},
{
  "timeslot": 11,
  "activePower": null,
  "reactivePower": null,
  "batteryPower": -2000
},
{
  "timeslot": 12,
  "activePower": null,
  "reactivePower": null,
  "batteryPower": -2000
},
{
  "timeslot": 13,
  "activePower": null,
  "reactivePower": null,
  "batteryPower": -2000
},
{
  "timeslot": 14,
  "activePower": null,
  "reactivePower": null,
  "batteryPower": -2000
},
{
  "timeslot": 15,
  "activePower": null,
  "reactivePower": null,
  "batteryPower": -2000
},
{
  "timeslot": 16,
  "activePower": null,
  "reactivePower": null,
  "batteryPower": -2000
}
],
"timestamp": "2021-11-28T17:40:17.054Z"
```

}

“timestamp” è il campo di chiusura del file JSON ed indica la data e l’ora di creazione del file ed è quindi riferito al giorno precedente a quello cui si deve dare attuazione all’ADR.

### 3.1.1 Scenari ADR testati

Ogni scenario qui rappresentato ha un proprio file JSON analogo a quello dell’esempio appena descritto. Il contenuto dei file JSON di scenario non viene mostrato perché non aggiungerebbe niente di nuovo rispetto al JSON dell’esempio presentato. A dimostrazione del corretto funzionamento dell’ ADR, si riportano invece, per ciascuno dei 5 scenari indicati in Tabella 1, altrettanti screenshot della GUI dell’impianto F40 in cui sono visualizzate le grandezze più rilevanti riferite alle batterie e al fotovoltaico registrate sull’impianto il giorno dello scenario. La strategia di gestione, come indicato in precedenza, è la “ADR@BATT”. Nelle figure seguenti, sono riconoscibili, a seconda dello scenario considerato, i 3 profili rettangolari di carica a 1 kW per ciascuna batteria (3 kW complessivi a livello di impianto) e di scarica a 667 W (2 kW complessivi a livello di impianto). Convenzionalmente, si assume che potenze positive sulla batteria corrispondano ad una carica mentre valori negativi corrispondano ad una scarica. Al di fuori della fascia oraria in cui l’impianto è chiamato ad attuare la richiesta del DSO/Aggregatore, si è scelto di far eseguire la strategia di gestione dell’autoconsumo ma, in linea di principio, qualsiasi altra strategia potrebbe essere usata purché le batterie vengano adeguatamente preparate prima che arrivi la richiesta del DSO/Aggregatore.

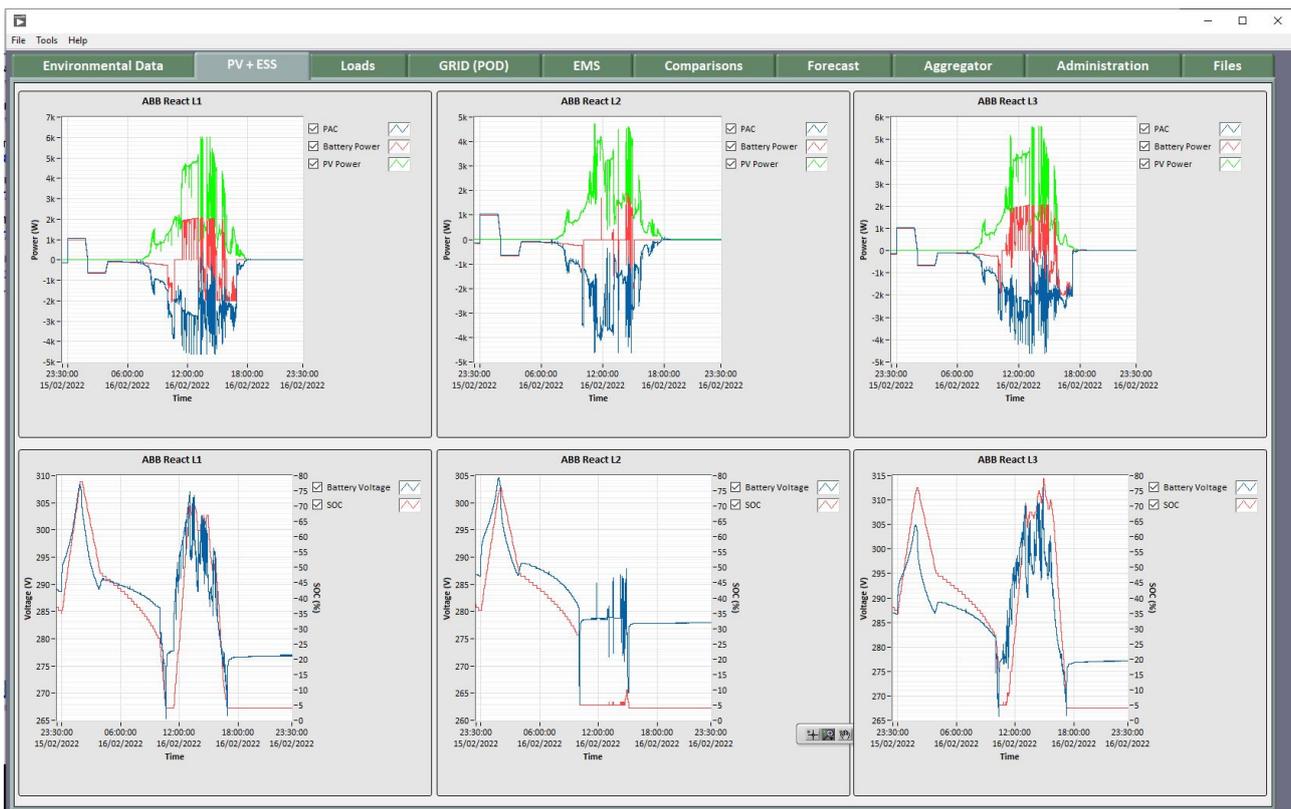


Figura 16. Grandezze di interesse (PV + ESS) caso d’uso ADR – Scenario 1 (ore: 00 ÷ 04).

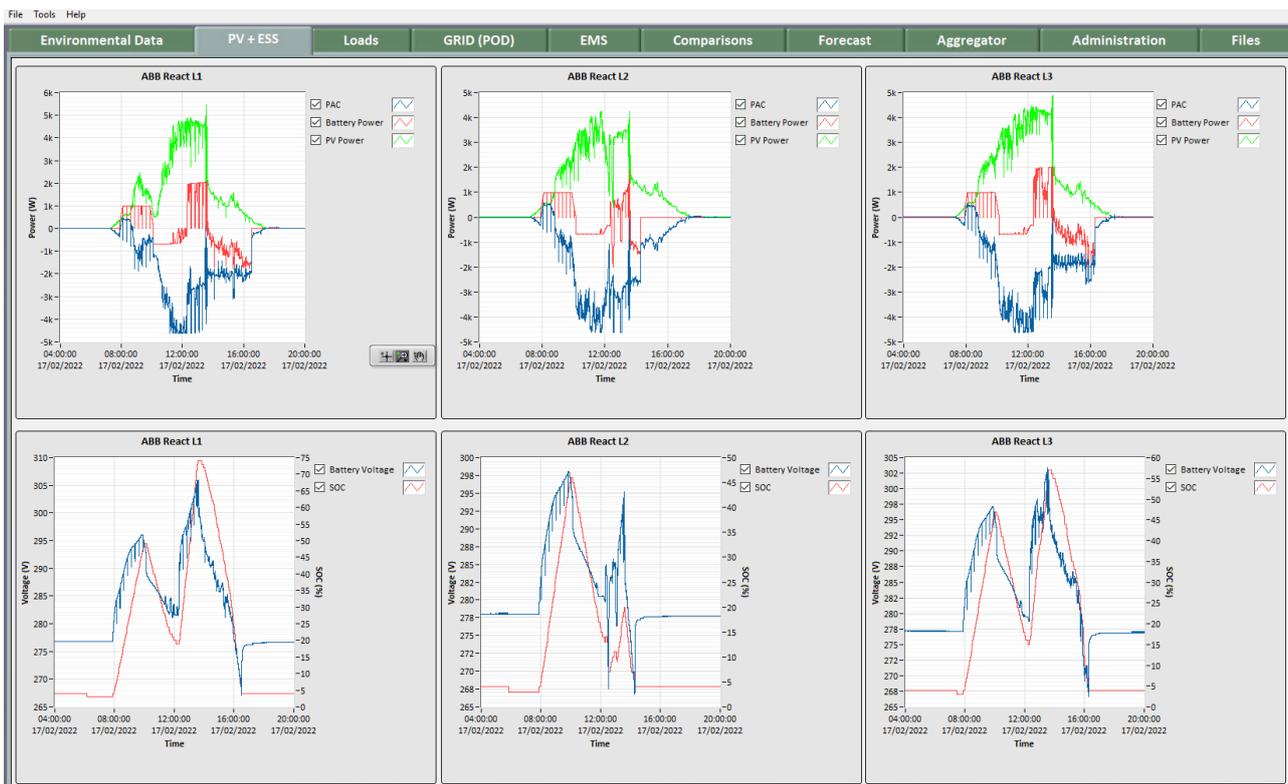


Figura 17. Grandezze di interesse (PV + ESS) caso d’uso ADR – Scenario 2 (ore: 08 ÷ 12).

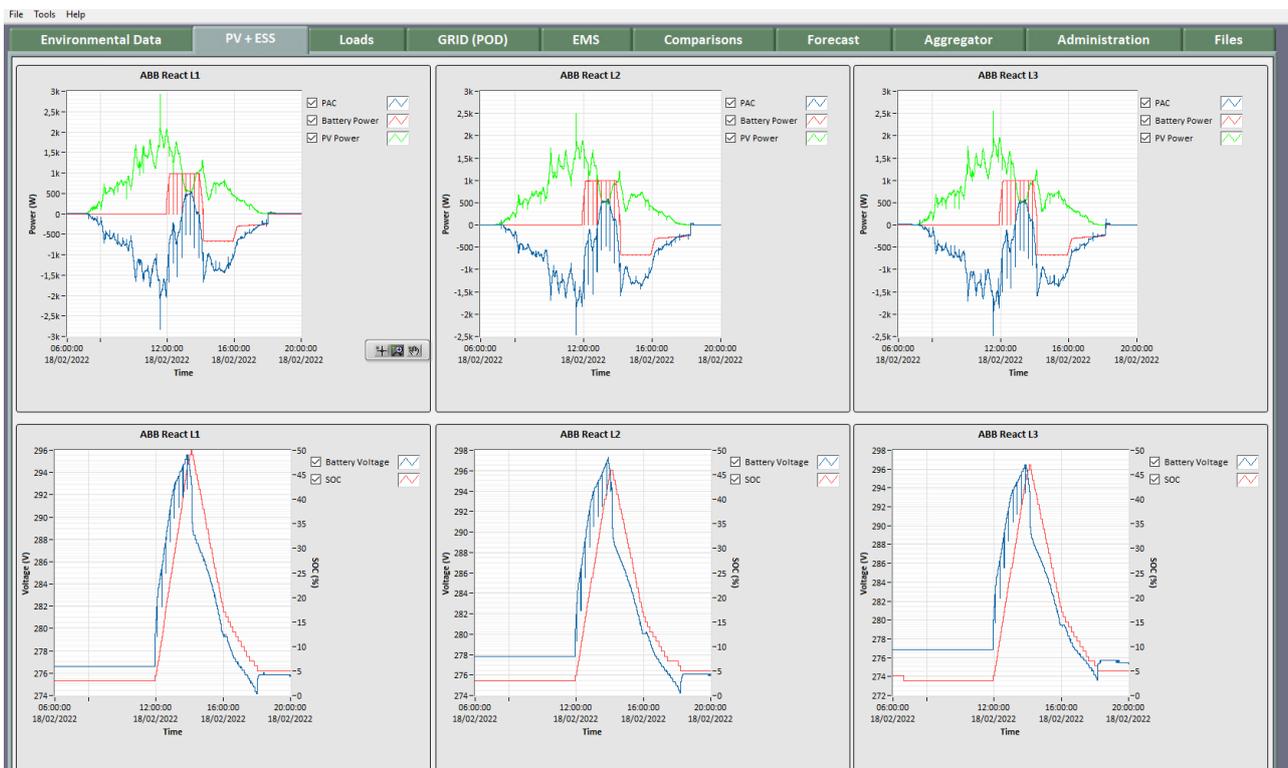


Figura 18. Grandezze di interesse (PV + ESS) caso d’uso ADR – Scenario 3 (ore: 12 ÷ 16).

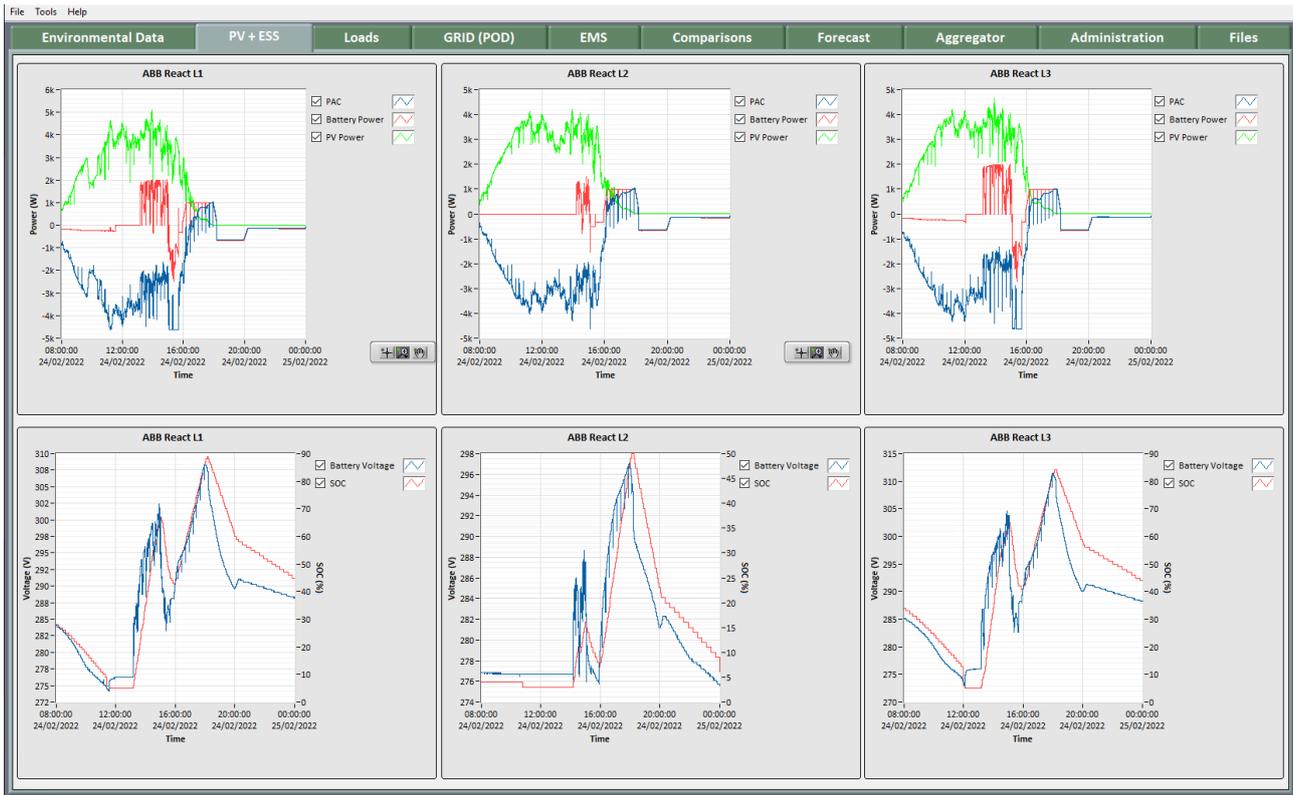


Figura 19. Grandezze di interesse (PV + ESS) caso d'uso ADR – Scenario 4 (ore: 16 ÷ 20).

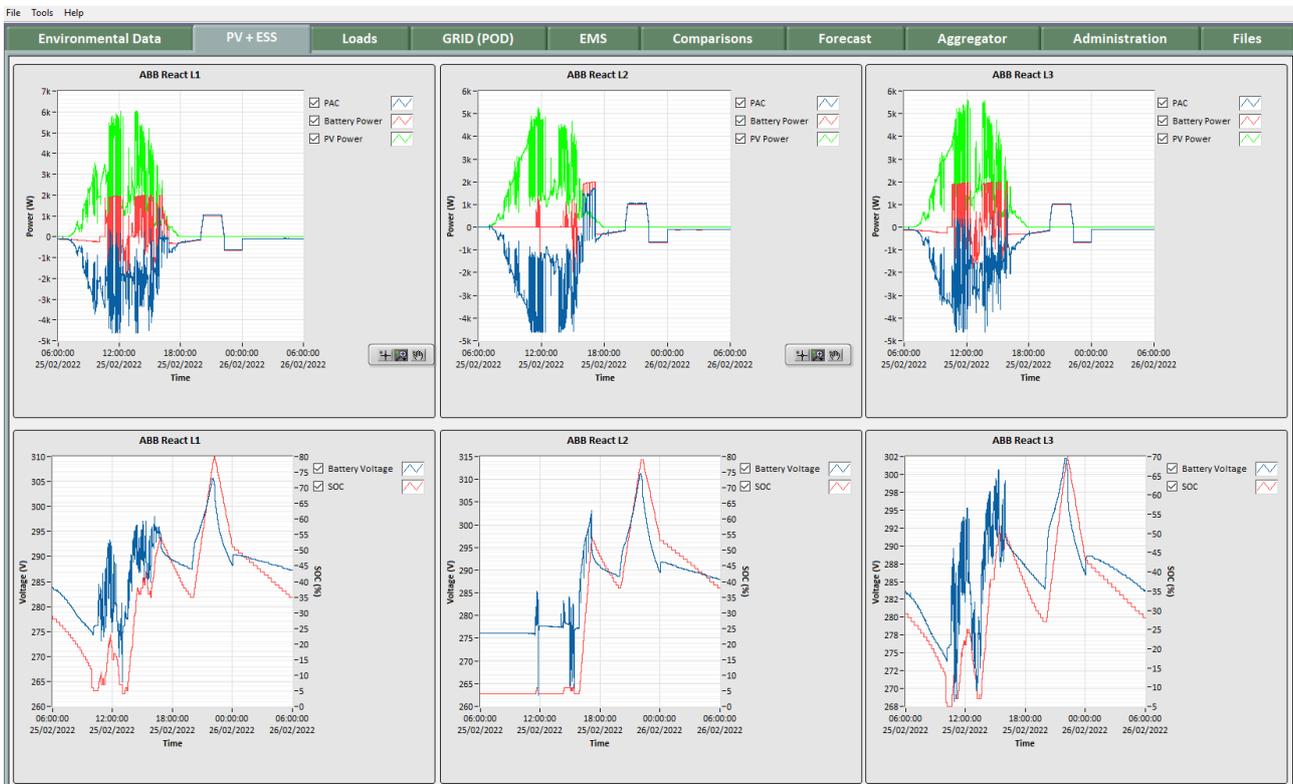


Figura 20. Grandezze di interesse (PV + ESS) caso d'uso ADR – Scenario 5 (ore: 20 ÷ 24).

### 3.2 Nuova interfaccia di visualizzazione sulla piattaforma DHOMUS del BEMS- EMS

L'integrazione tra il EMS dell'edificio F40 che controlla e gestisce l'impianto FV e storage ed il BEMS che monitora e gestisce le linee di alimentazione dei carichi elettrici dell'edificio, ha permesso di implementare una dashboard che consente di visualizzare in tempo reale i flussi energetici dell'edificio, visualizzabile sulla piattaforma DHOMUS all'indirizzo <https://dhomus.smartenergycommunity.enea.it/>, descritta in dettaglio nel Report RdS/PTR(2021)/003.

Le grandezze che sono visualizzate sono le seguenti come rappresentato nella figura seguente:

- Contatori di energia tramite grafico a barre:
  - Energia prodotta da Fotovoltaico ripartita in auto-consumata direttamente, esportata o immagazzinata nello storage.
  - Energia consumata, suddivisa tra energia auto-consumata o prelevata da rete.
- Grafico della potenza elettrica media oraria assorbita per i consumi, prodotta e auto-consumata, infine acquistata dalla rete se di segno positiva, ceduta se di segno negativo. Questo grafico consente di visualizzare quando ci sono picchi di consumo e di produzione, inoltre rende facilmente comprensibile quanta parte dell'energia prodotta viene auto-consumata.
- Stato di carica della batteria espressa in %.
- Ripartizione oraria (grafico a barre) e giornaliera (grafico a torta) dei consumi nelle 4 linee di alimentazione monitorate: forza motrice, luce normale, luce emergenza e fan coil.

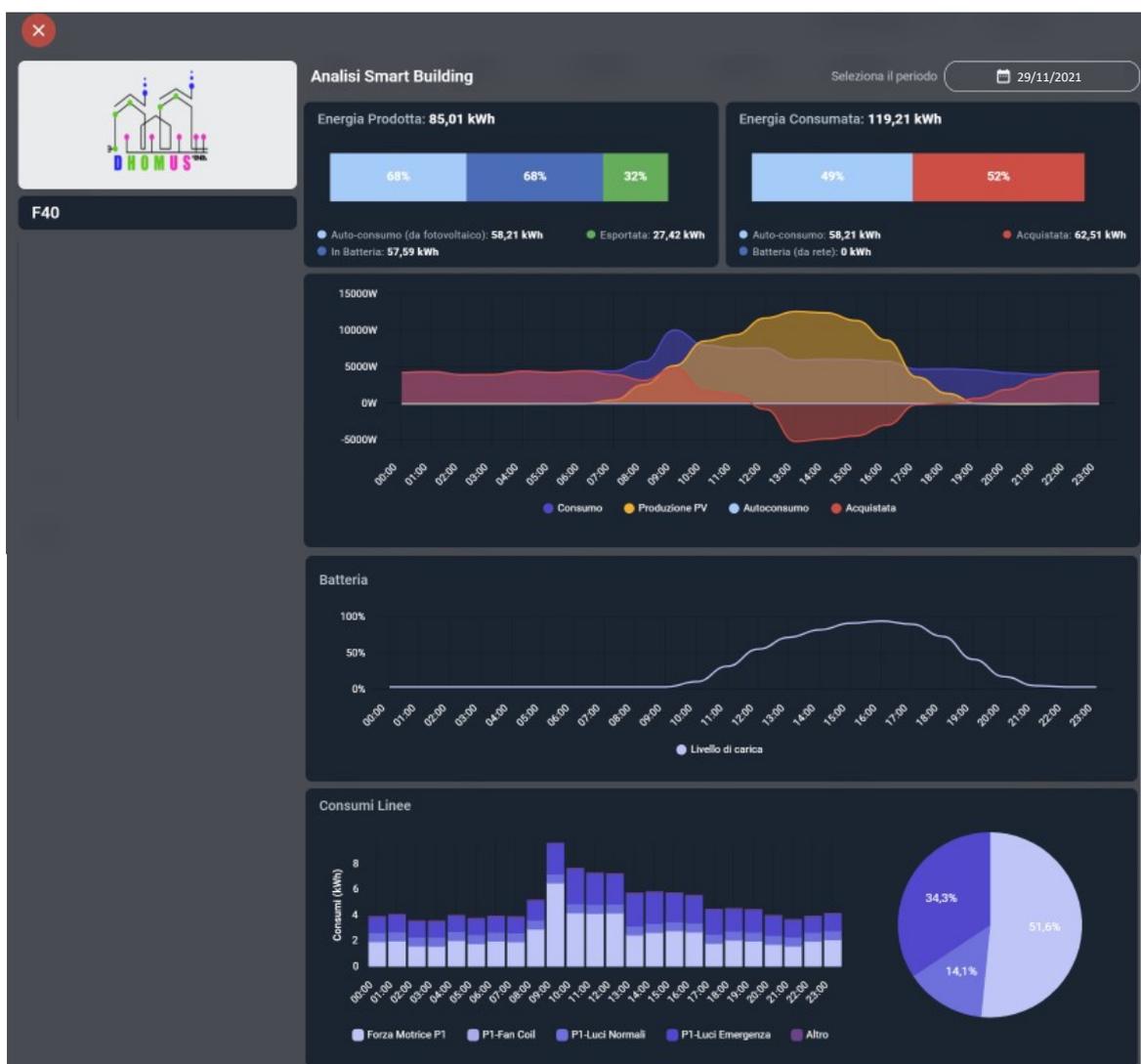


Figura 21. Dashboard dell'edificio F40

## 4 Flessibilità elettrica in edifici terziari

### 4.1 Modellazione della flessibilità termica negli edifici ENEA di Casaccia e Bari

#### 4.1.1 Introduzione

In funzione delle sue caratteristiche termo-energetiche, si può associare a un edificio un potenziale di flessibilità energetica già sfruttabile attraverso l'accumulo termico nelle strutture edilizie. Esso può essere ulteriormente incrementato attraverso la riduzione delle dispersioni e tecnologie impiantistiche ad elevata inerzia termica (come recupero di calore, pannelli radianti, travi fredde).

Come spiegato in dettaglio nel precedente rapporto di ricerca [1], è possibile calcolare un Indice di Flessibilità (IF) legato ai carichi termici di riscaldamento e raffrescamento, che misura la reazione di un edificio (o di un gruppo di edifici) a un segnale di penalità applicato. Ad esempio, un IF pari a zero indica che l'edificio non reagisce affatto al segnale, mentre un IF pari a 0.2 denota che il 20% del costo relativo alla penalità può essere risparmiato grazie alla flessibilità dell'edificio.

Nello scenario delineato dal presente rapporto, il calcolo può essere condotto utilizzando come segnale di penalità il Prezzo Unico Nazionale (PUN) dell'energia elettrica<sup>13</sup>. Per definire il controllo flessibile risulta necessario definire una funzione che esprima la temperatura di setpoint indoor in funzione del segnale di costo dato dal PUN ed eventualmente di altri fattori contestuali (ad esempio le condizioni climatiche). La temperatura di setpoint deve essere modificata per spostare il carico termico in corrispondenza dei valori minimi giornalieri del PUN. Ossia essa viene modificata (aumentata in inverno e ridotta in estate) rispetto al valore standard (ad esempio 21°C in inverno e 25°C in estate), all'interno dell'intervallo di comfort.

Tale metodologia è stata applicata a due edifici ENEA: il piano che ospita la sede di Bari e l'edificio F40 di Casaccia. Entrambi sono stati modellati in ambiente EnergyPlus<sup>14</sup>, suddividendoli in zone omogenee per destinazione d'uso (Figura 22). I carichi interni sono stati definiti a partire dall'effettivo uso degli spazi, dalle specifiche degli impianti di illuminazione e, nel caso dell'edificio F40, dal monitoraggio dei carichi elettrici. Il riscaldamento e raffrescamento dei modelli è stato demandato a pompe di calore aria-aria, regolate su setpoint standard di temperatura dell'aria interna di 21°C in inverno e 25°C in estate, durante l'occupazione. Per ulteriori dettagli si rimanda di nuovo al precedente rapporto di questa linea di ricerca [1]

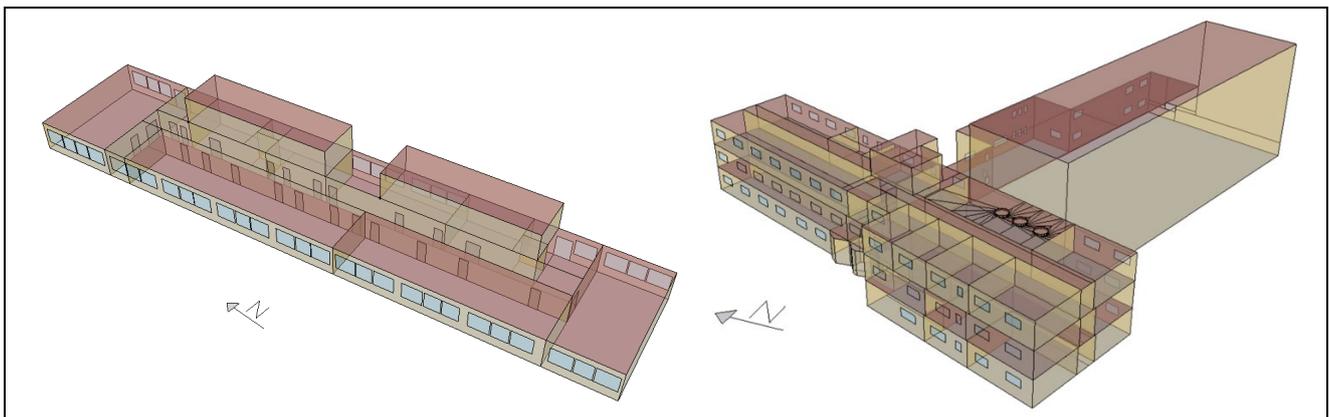


Figura 22. Modelli geometrici degli edifici ENEA di Bari (a sinistra) e Casaccia (a destra).

Oltre a simulare lo stato di fatto, l'analisi è stata estesa a varianti migliorate. Ossia edifici con involucri meno disperdenti perché maggiormente isolati (sia per quanto concerne le componenti opache che quelle trasparenti) e meno permeabili alle infiltrazioni d'aria. In Tabella 2 si riportano i fabbisogni energetici ottenuti per le 4 varianti d'edificio simulate.

<sup>13</sup> I dati relativi al Mercato del Giorno Prima (MGP) sono pubblicati regolarmente sul sito del Gestore del Mercato Elettrico (GME).

<sup>14</sup> <https://energyplus.net/>

**Tabella 2. Fabbisogno di energia finale per il riscaldamento e raffrescamento delle varianti d’edificio modellate.**

Edificio	Fabbisogno di Riscaldamento [kWh/m <sup>2</sup> /anno]	Fabbisogno di Raffrescamento [kWh/m <sup>2</sup> /anno]
<b>Sede ENEA di Bari - Base</b>	17.9	25.1
<b>Sede ENEA di Bari - Migliorato</b>	5.0	11.2
<b>F40 Casaccia - Base</b>	15.4	11.7
<b>F40 Casaccia - Migliorato</b>	3.5	11.4

Nel presente studio gli indicatori di riferimento per caratterizzare la flessibilità termica sono:

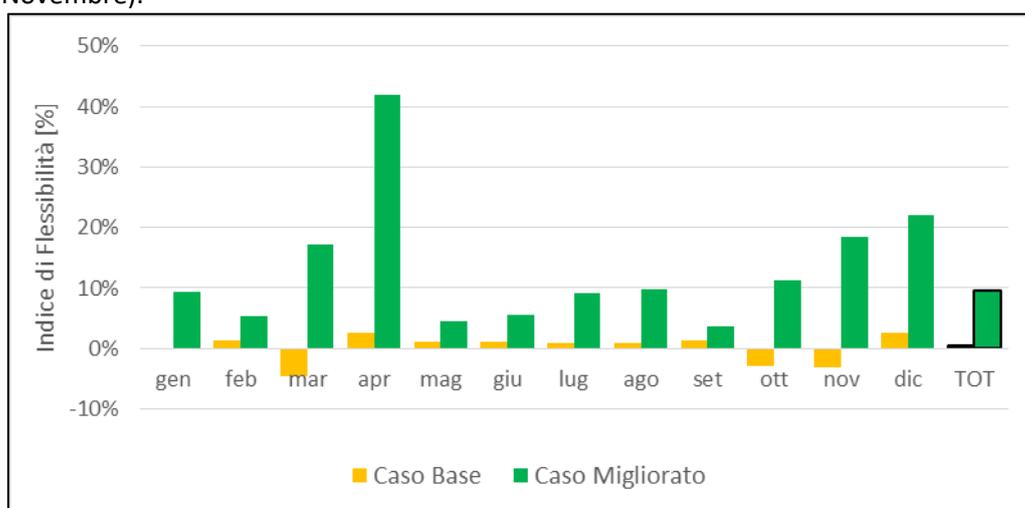
- L’indice di flessibilità (giornaliero, mensile e annuale);
- I risparmi economici (giornalieri, mensili e annuali);
- La riduzione di carico in corrispondenza dei picchi del PUN (giornaliero, mensile e annuale);
- La variazione giornaliera dei carichi di potenza (per il giorno medio invernale ed estivo);
- La correlazione tra risparmi e temperatura esterna.

Nei paragrafi che seguono si riportano i risultati ottenuti, mettendo a diretto confronto il Caso Base con quello Migliorato. In questo modo è possibile osservare l’impatto di soluzioni d’efficienza energetica sulla flessibilità degli usi termici.

#### 4.1.2 Risultati per la Sede ENEA di Bari

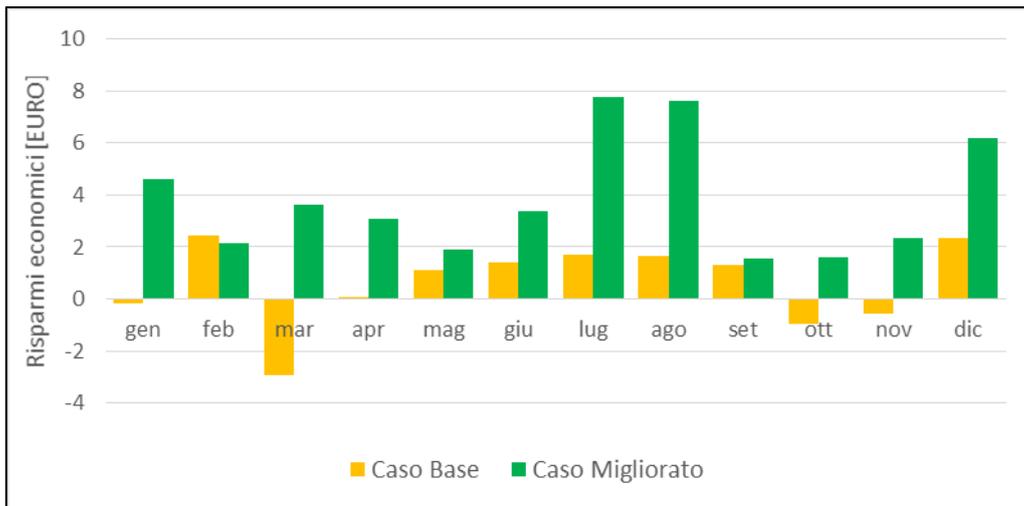
L’analisi dei risparmi economici e dell’Indice di Flessibilità (IF) relativo ai carichi pesati (Energia\*PUN) rivela una consistente differenza tra il Caso Base e il Caso Migliorato. Per il primo è infatti stato calcolato un IF annuale prossimo allo zero (0,6%), mentre con un involucro più performante esso raggiunge il valore di 9.5% (Figura 23). Ciò significa che l’approccio di regolazione flessibile degli impianti termici permette di risparmiare quasi il 10% dei costi energetici. In termini assoluti si passa da un guadagno annuale di 7 Euro a 46 Euro<sup>15</sup>.

L’analisi mensile (Figura 24) mostra che i guadagni maggiori si ottengono in condizioni climatiche più estreme (Luglio, Agosto, Dicembre e Gennaio). Il Caso Base registra risparmi negativi in alcuni mesi (Marzo, Ottobre e Novembre).



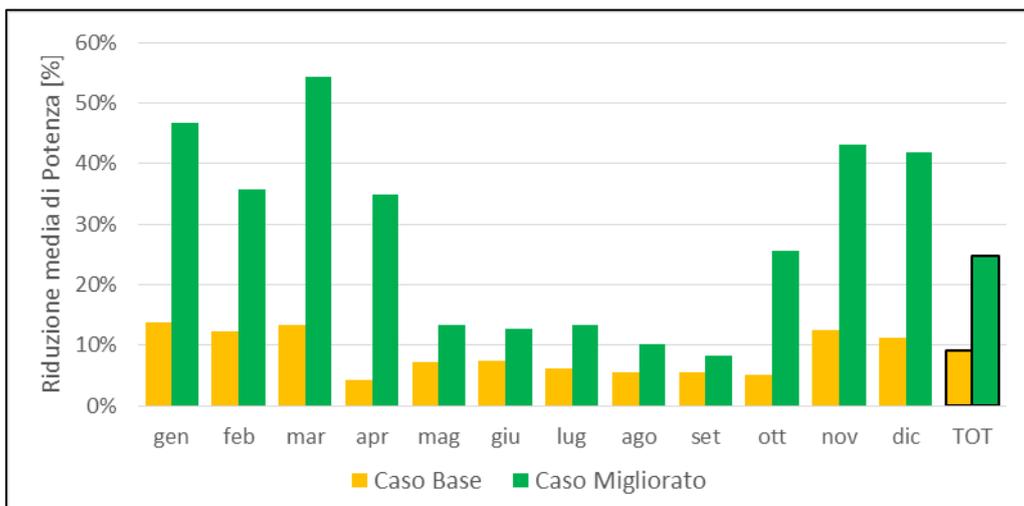
**Figura 23. Confronto tra varianti in termini di Indice di Flessibilità medio mensile ed annuale (Sede di Bari).**

<sup>15</sup> Questi risparmi sono virtuali e non confrontabili con quelli osservabili nella realtà perché presuppongono un prezzo dell’energia elettrica che cambia di ora in ora e a cui non si applicano tasse e oneri di sistema.



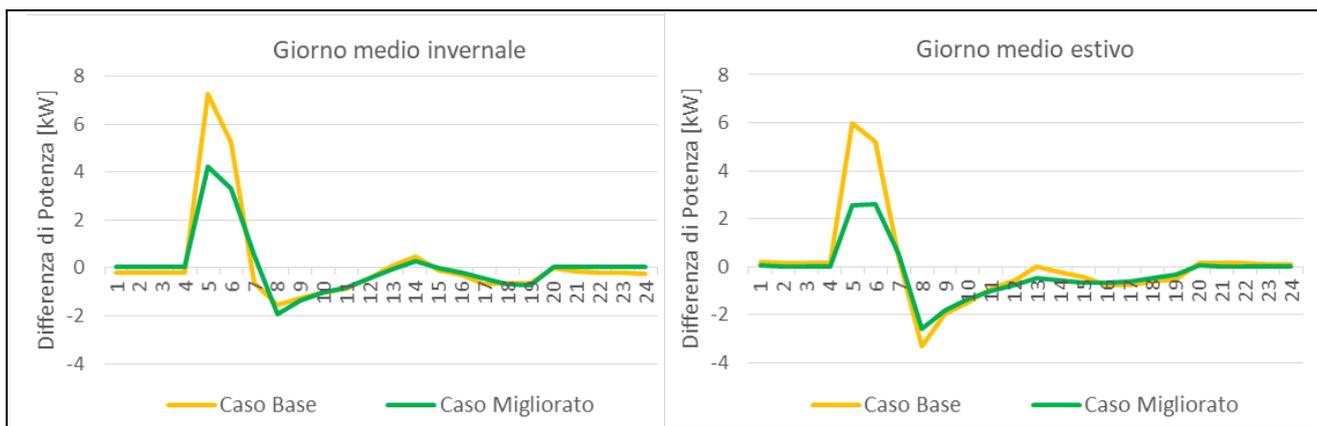
**Figura 24. Confronto tra varianti in termini di risparmi economici mensili (Sede di Bari).**

L'analisi dei carichi di potenza elettrica del sistema di condizionamento in corrispondenza dei picchi di PUN permette di valutare le potenzialità della flessibilità in termini di *peak shave* (Figura 25). Per il Caso Base si registra una riduzione media annuale inferiore al 10%, mentre per il Caso Migliorato del 25% circa. Tale indicatore risulta maggiore nei mesi invernali.



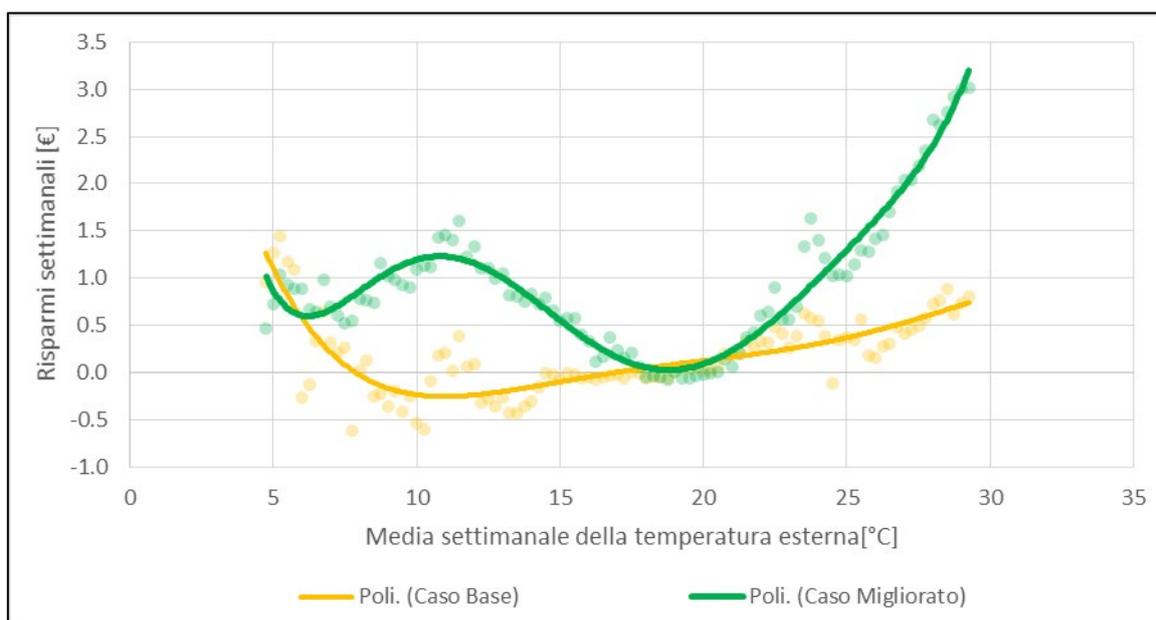
**Figura 25. Confronto tra varianti in termini di riduzione media mensile e annuale di potenza in corrispondenza dei picchi di PUN (*peak shave*) (Sede di Bari).**

Gli andamenti medi giornalieri della potenza assorbita dalle pompe di calore durante le stagioni di riscaldamento e raffreddamento permette di comprendere meglio come avviene il controllo flessibile associato all'andamento del PUN (Figura 26). Il controllo flessibile comporta un aumento del carico tra le 4 e le 7 del mattino che comporta un pre-riscaldamento (o pre-raffreddamento) in corrispondenza del valore minimo giornaliero del PUN. Ciò permette di ridurre la domanda tra le 8 e le 12 e tra le 15 e le 19, ossia quando il PUN registra valori massimi. È interessante notare che il Caso Migliorato necessita una minore potenza (quasi la metà) per pre-caricare il volume confinato rispetto al Caso Base.



**Figura 26. Andamenti medi giornalieri in inverno ed estate della differenza di carico termico tra caso flessibile e caso standard (Sede di Bari).**

Infine, risulta interessante correlare i risparmi con la temperatura esterna (Figura 27). Le curve di regressione che si ricavano confermano che il controllo flessibile è maggiormente efficace nelle settimane più fredde e più calde dell’anno. Al Caso Migliorato sono associati risparmi settimanali quasi sempre maggiori e mai negativi.



**Figura 27. Correlazione tra risparmi e temperatura esterna per i due casi studiati (Sede di Bari).**

#### 4.1.3 Risultati per l’Edificio F40 di Casaccia

L’analisi dell’Indice di Flessibilità (IF) medio mensile relativo ai carichi pesati (Energia\*PUN) rivela un miglioramento passando da Caso Base a Caso Migliorato, con eccezione delle mezze stagioni rappresentate dai mesi di Marzo e Novembre. Il valore annuale di IF passa dal 3.7% all’11.1% (Figura 28). Ciò significa che l’approccio di regolazione flessibile degli impianti termici permette di risparmiare più del 10% dei costi energetici. In termini assoluti si passa da un guadagno annuale di 111 Euro a 188 Euro<sup>16</sup>.

L’analisi mensile (Figura 29) mostra che i guadagni maggiori si registrano in estate (Luglio, Agosto, Giugno, Settembre e Maggio). In Inverno, i risparmi assoluti registrati per il Caso Migliorato sono inferiori rispetto al

<sup>16</sup> Questi risparmi sono virtuali e non confrontabili con quelli osservabili nella realtà perché presuppongono un prezzo dell’energia elettrica che cambia di ora in ora e a cui non si applicano tasse e oneri di sistema.

Caso base anche perché la domanda energetica è stata drasticamente ridotta dall'involucro più performante.

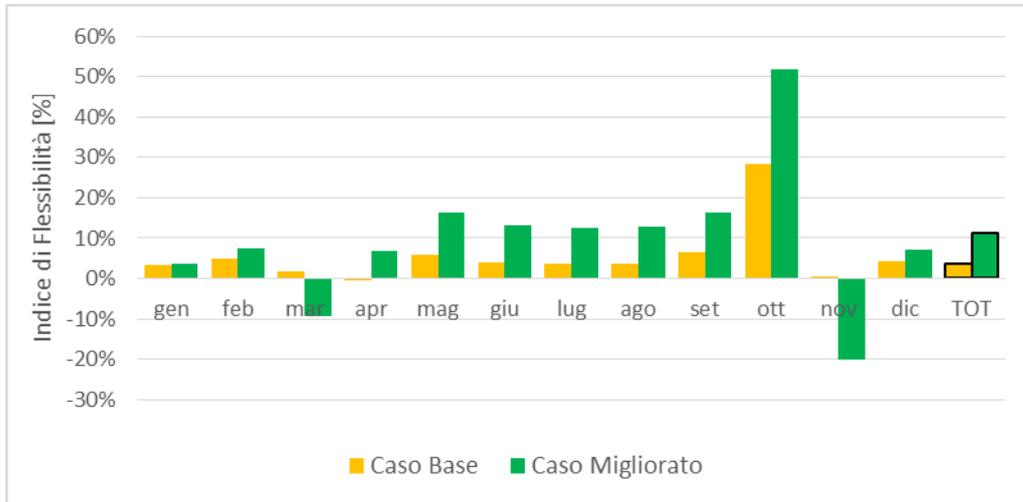


Figura 28. Confronto tra varianti in termini di Indice di Flessibilità medio mensile ed annuale (F40 Casaccia).

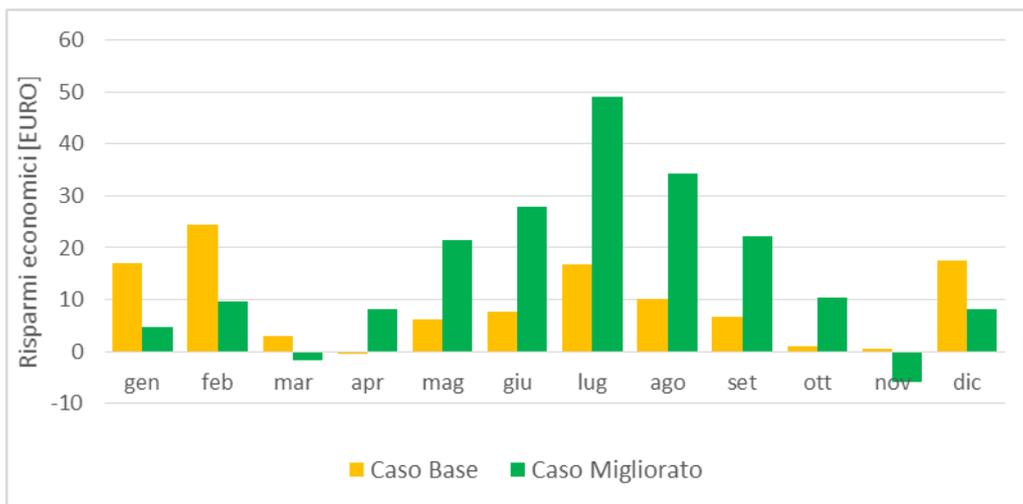


Figura 29. Confronto tra varianti in termini di risparmi economici mensili (F40 Casaccia).

Dall'analisi dei carichi di potenza elettrica del sistema di condizionamento in corrispondenza dei picchi di PUN, si trae un'indicazione più univoca: il Caso Migliorato permette sempre di ottenere un maggiore *peak shave* che il Caso Base (Figura 30). Infatti, la riduzione media annuale si raddoppia. A differenza degli altri indicatori, questo parametro risulta minore nei mesi estivi.

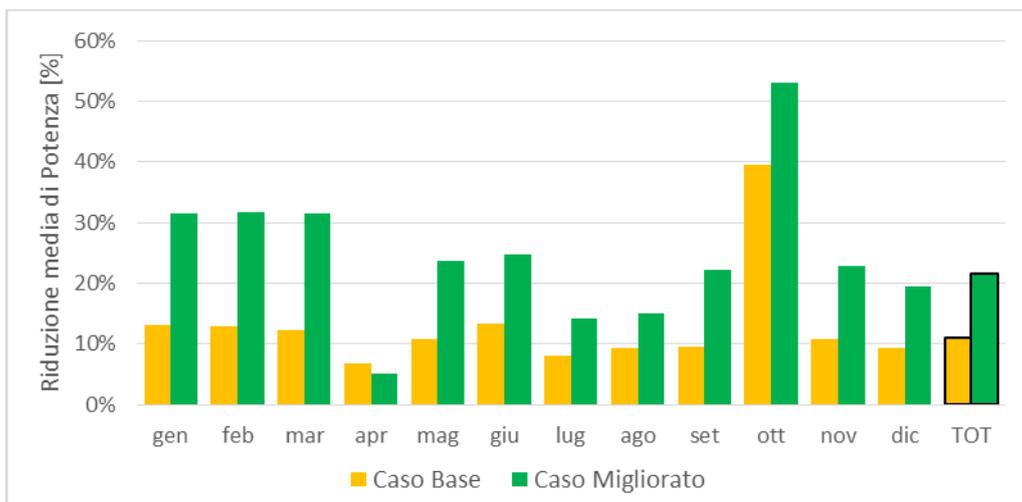


Figura 30. Confronto tra varianti in termini di riduzione media mensile e annuale di potenza in corrispondenza dei picchi di PUN (peak shave) (F40 Casaccia).

Gli andamenti medi giornalieri della potenza assorbita dalle pompe di calore durante le stagioni di riscaldamento e raffreddamento permette di comprendere meglio come avviene il controllo flessibile associato all’andamento del PUN (Figura 26). Il controllo flessibile comporta un aumento del carico tra le 4 e le 7 del mattino che comporta un pre-riscaldamento (o pre-raffrescamento) in corrispondenza del valore minimo giornaliero del PUN. Ciò permette di ridurre la domanda tra le 8 e le 12 e tra le 15 e le 19, ossia quando il PUN registra valori massimi. È interessante notare che il profilo associato al Caso Migliorato non differisce sensibilmente da quello del Caso Base durante l’inverno. Un guadagno più apprezzabile si osserva invece in estate.

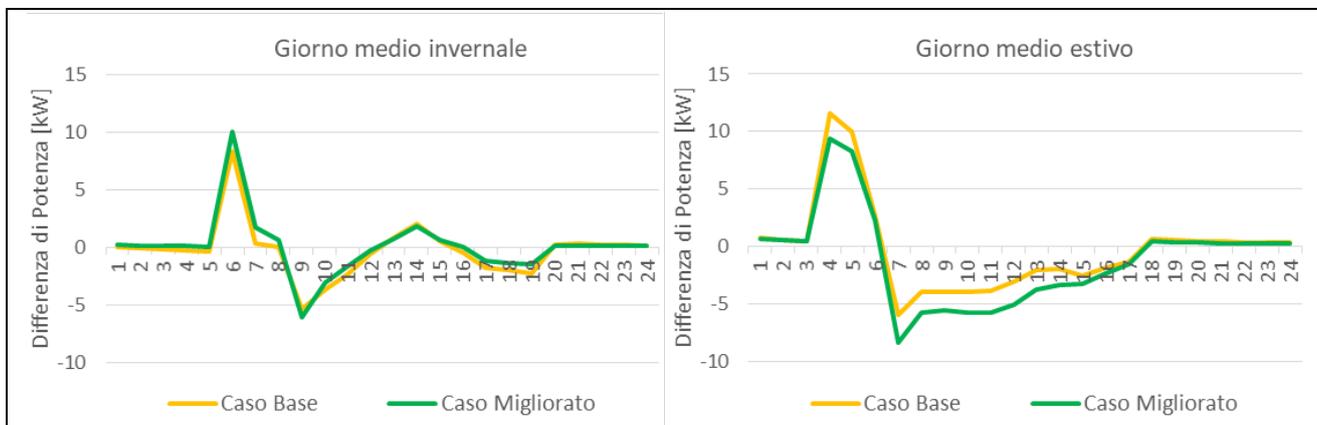
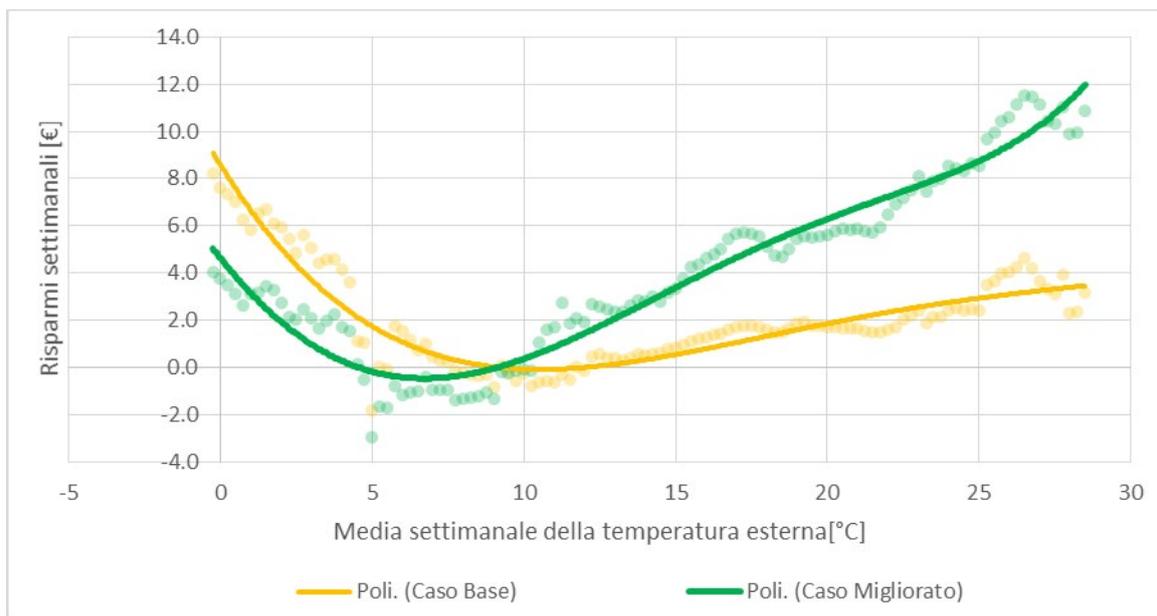


Figura 31. Andamenti medi giornalieri in inverno ed estate della differenza di carico termico tra caso flessibile e caso standard (F40 Casaccia).

Anche in questo caso la correlazione tra i risparmi e la temperatura esterna risulta buona (Figura 32). Le curve di regressione che si ricavano confermano che il controllo flessibile è maggiormente efficace nelle settimane più fredde e più calde dell’anno. Al Caso Migliorato sono associati risparmi settimanali maggiori solo in corrispondenza di temperature medie settimanali maggiori di 10°C circa.



**Figura 32. Correlazione tra risparmi e temperatura esterna per i due casi studiati (F40 Casaccia).**

Nell'ambito delle attività in essere volte a definire, implementare e supportare nuovi modelli di *Smart Energy Communities*, un aspetto rilevante è quello della flessibilità degli usi finali elettrici.

La capacità di spostare, programmare e modulare dei carichi risulterà sempre più preziosa con la prevista espansione della generazione rinnovabile distribuita e la graduale elettrificazione degli usi finali. Sarà una risorsa imprescindibile per i gestori di rete e di conseguenza per i distributori, tanto da poter assumere un valore economico in grado di attivare nuove logiche di consumo virtuoso da parte degli utenti finali.

In particolare per gli usi termici risulta necessario esplorare in dettaglio qual è la flessibilità potenziale rispetto a curve di premialità e/o penalità strategiche per una Comunità Energetica. Ciò dovrebbe essere studiato al variare della destinazione dell'edificio, delle sue prestazioni energetiche, della sua architettura d'impianto e del contesto climatico. L'attività di ricerca qui *esposta rappresenta un primo passo in questa direzione e i suoi futuri sviluppi potranno portare alla costituzione di un database direttamente integrabile agli strumenti e servizi della piattaforma Local Energy Community. Per esempio, l'integrazione all'interfaccia Cruise di ENEA permetterà all'amministratore/aggregatore della comunità di valutare la flessibilità energetica degli edifici che la compongono e definire di conseguenza opportune logiche di gestione e incentivo, nonché negoziare le forniture energetiche con maggiore cognizione di causa.*

Per quanto concerne i risultati ottenuti, si ritiene di poter derivare le seguenti condizioni generali:

- La flessibilità energetica legata agli usi termici di un edificio è strettamente connessa al livello di efficienza energetica dello stesso, e più in particolare ai suoi attributi inerziali.
- Gli indici di flessibilità sono strettamente connessi al clima esterno e risultano più interessanti in corrispondenza di condizioni climatiche più critiche.
- In edifici del terziario come quelli studiati il *peak shave* dovuto al controllo flessibile risulta maggiore durante la fase di riscaldamento.

## 4.2 Dimostratore di Bari

Come già ricordato nei paragrafi precedenti, la modellazione di logiche di flessibilità ha riguardato i casi pilota dell'edificio F40 e della sede degli uffici Enea di Bari, in particolare questo edificio è stato strumentato grazie alla disponibilità di budget che a causa Covid non è stato impiegato nei dimostrativi sperimentali delle Smart Homes, infatti a causa del Covid il coinvolgimento degli utenti residenziali è stata più difficile di quanto programmato, si veda per questo il report della Linea di Attività LA 1.3 (RdS/PTR(2021)/003).

In questi ultimi, come riportato e descritto nel report[1] , è stato installato un consistente numero di sensori locali di misurazione dei consumi elettrici, di rilevamento di parametri ambientali microclimatici e di Qualità dell'Aria, collegati ad una infrastruttura di rete dedicata e descritta nel seguente contributo, i cui dati vengono riversati in una dashboard di interfaccia progettata e realizzata ad hoc.

- Infrastruttura di rete
- Dashboard di interfaccia

Nel seguente contributo viene descritta sinteticamente la componente software del sistema caratterizzata da due componenti: l'architettura di rete e piattaforma di monitoraggio con il server di interoperabilità.

### 4.2.1 Architettura di Rete

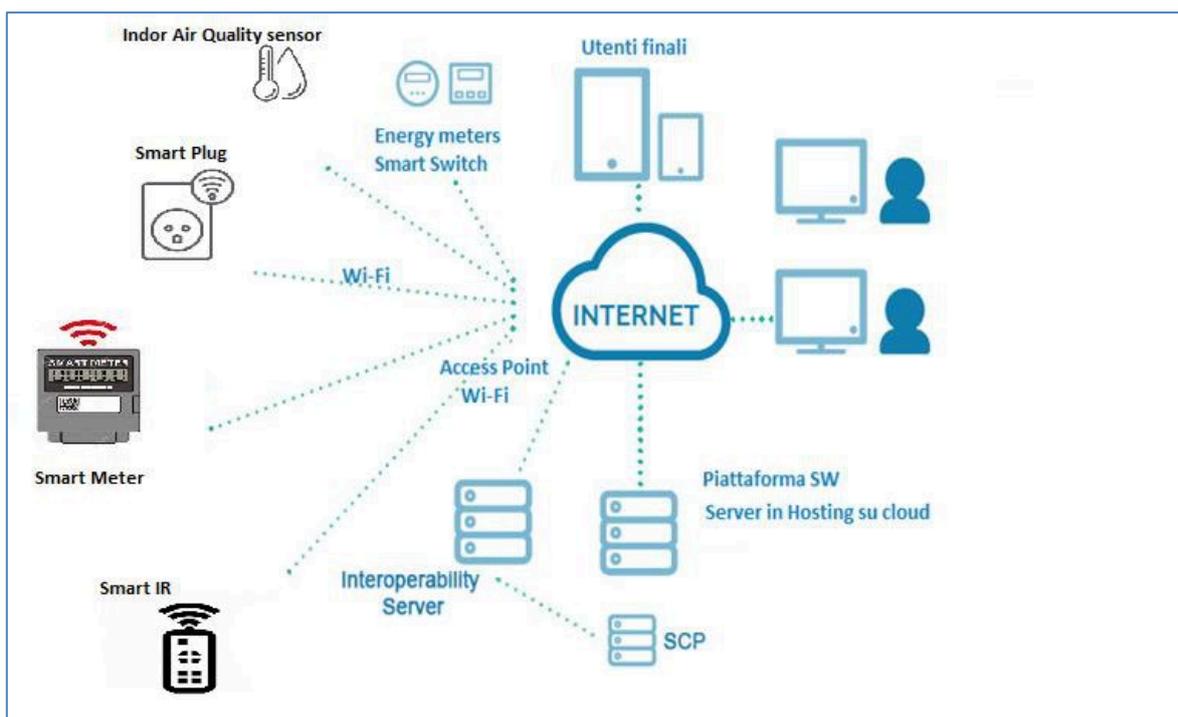
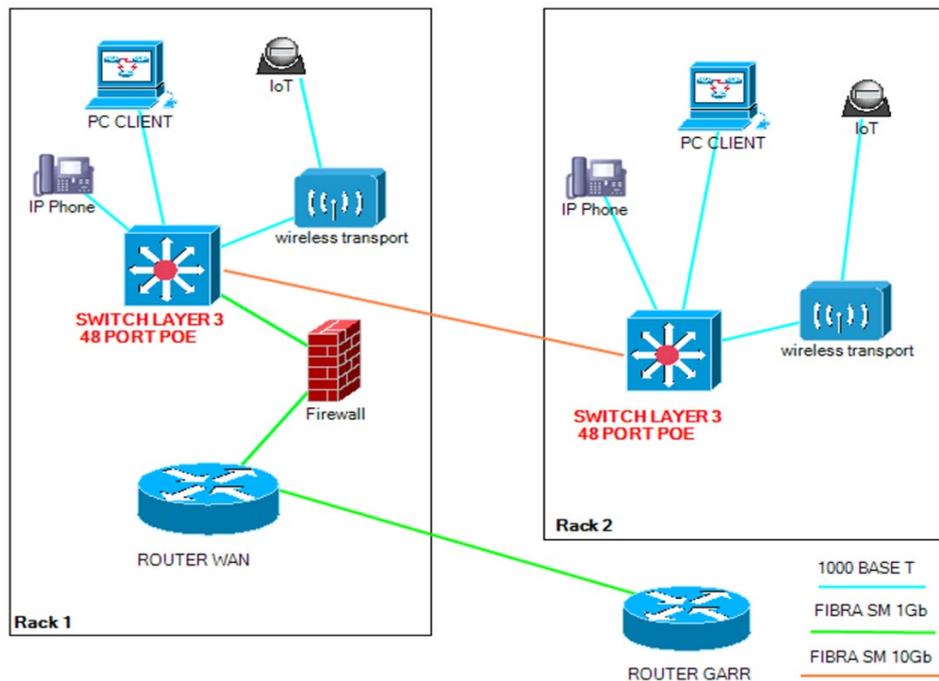


Figura 33: Architettura di Sistema

### Architettura di Rete

La rete dati del Centro di Bari ha avuto un considerevole ampliamento e ad oggi, seppur di modeste dimensioni in termini di numeri di apparati, è di alto profilo tecnologico e si estende per la totalità del piano di competenza ENEA. Uno schema fisico della rete presente in Figura 34.

In particolare, la rete è stata ridisegnata dal punto di vista fisico e strutturale, con la stesura di cavi ethernet per il collegamento della LAN e l'acquisto di apparati di networking di ultima generazione, tra i quali switch Layer 3 con interfacce di uplink con capacità fino a 10 Gb/s, Firewall applicativo con interfacce a 10 Gb/s e Access Point managed, e dal punto di vista logico, mediante segmentazione della rete, con la creazione di VLAN specifiche, ad esempio per la gestione del traffico derivante dai dispositivi IoT, gestione del traffico VoIP, controllo dell'accesso alla rete mediante NAC e implementazione di regole specifiche di sicurezza e routing verso le altre sedi ENEA.



**Figura 34: Schema Fisico di Rete**

In particolare, sono stati installati e configurati i seguenti apparati di rete:

- **Firewall applicativo** – FortiGate 60E con FortiOS v6.4.6
- **Switch Layer 3 PoE** – HUAWEI S5720-52X-PWR-SI-ACF-C
  - Transceiver SFP – 1 Gb Single Mode
  - Transceiver SFP – 10 Gb Single Mode
- **Gateway Wireless Controller** – Watchguard XTM810 (presso il C.R. Enea di Brindisi)
- **Access Point Wireless** – WatchGuard AP200
- **Cablaggio LAN** – Brand-Rex 10GPlus, 100 Ω, 4x2, AWG23/1

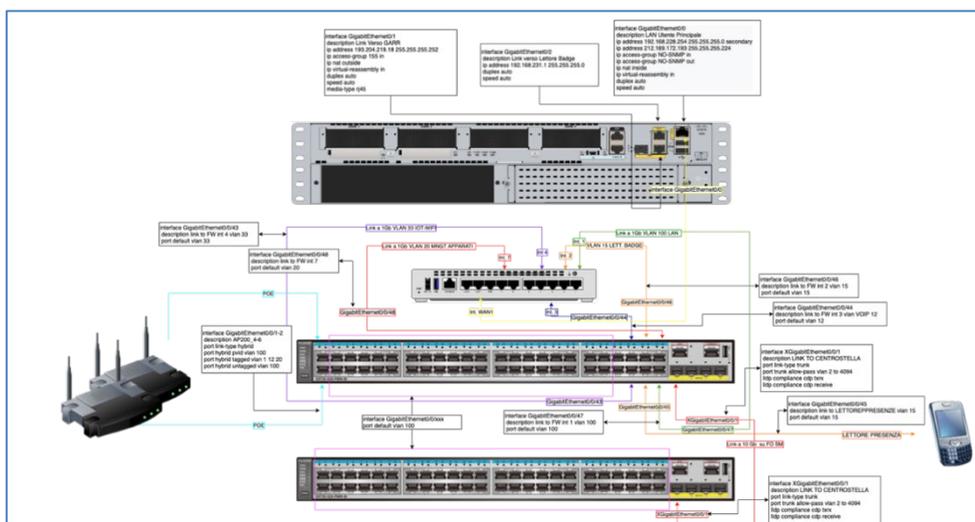


Figura 35: Schema degli apparati di Rete

Tutti gli apparati di networking godono di altissima affidabilità e sicurezza, hanno indirizzamento in classe privata e sono accessibili solo alle utenze abilitate ed esclusivamente mediante autenticazione sul Firewall previa autenticazione LDAP su pagina [Login Firewall BARI](#)

**Funzionamento**

Nel caso particolare la “VLAN 33 WIFI IOT” è dedicata al traffico generato dai dispositivi IoT. Accetta traffico di rete esclusivamente dai dispositivi abilitati ed è terminata sul Firewall. Ha indirizzamento IP privato, per ovvie ragioni di sicurezza, ed ha disponibilità di 1/2 classe di tipo C, ovvero possono collegarsi esattamente 126 dispositivi IoT, numero al di sopra del massimo indicato in fase progettuale.

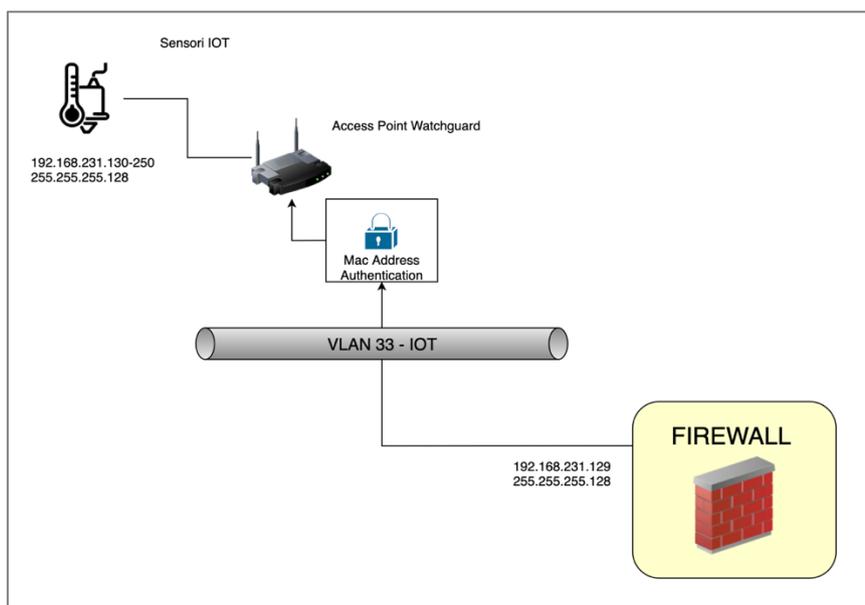


Figura 36: Schema di rete per la VLAN 33 WIFI IOT

Tutti gli apparati IoT attivi sono configurati su specifiche definite in fase progettuale dai colleghi della sede di Brindisi, che ne hanno la supervisione riguardo la connettività di rete.

Tutti i dispositivi IOT installati ricadono nelle seguenti categorie:

- Smart Plug
- Power Meter
- Telecomando connesso
- Sensore microclimatico

Per ciascuna categoria sono descritte, in forma tabellare ed estesa, i principali protocolli e porte TCP/UDP utilizzate.

Smart Plug, Power meter				
Servizio	porta	Uscita/ingresso	IP	Da esporre all'esterno
mqtt	1883 TCP/UDP	Uscita	mqtt.digimat.it	n.a
NTP	123 UDP	Uscita	time.google.com	n.a
http	80 TCP	ingresso		no

Telecomandi connessi				
Servizio	porta	Uscita/ingresso	IP	Da esporre all'esterno
mqtt	1883 TCP/UDP	Uscita	mqtt.digimat.it	n.a
NTP	123 UDP	Uscita	time.google.com	n.a
http	80 TCP	Ingresso		no

Sensori microclimatici				
Servizio	porta	Uscita/ingresso	IP	Da esporre all'esterno
mqtt	1883 TCP/UDP	Uscita	mqtt.digimat.it	n.a
NTP	123 UDP	Uscita	0.debian.pool.ntp.org	n.a
			1.debian.pool.ntp.org	
			2.debian.pool.ntp.org	
VPN	443 TCP	uscita	93.61.107.181	n.a
VPN	41641	ingresso	93.61.107.181	si
VPN	3478	ingresso	93.61.107.181	si
ssh	22	ingresso		no

**Tabella 3: VLAN 33 IoT - principali protocolli e porte di rete utilizzate**

Collegamento fisico alla rete Wi-Fi – I dispositivi IOT comunicano con la piattaforma software tramite la rete Wi-Fi. Il collegamento dei dispositivi IOT alla rete Wi-Fi è gestito dal Gateway Wireless Controller Watchguard XTM810 sito presso il C.R. Enea di Brindisi mediante MAC Filtering. Gli apparati censiti vengono autorizzati, si collegano alla rete Wi-Fi e iniziano a generare traffico. Il traffico verso il Controller

sito a Brindisi è veicolato in modo sicuro tramite i tunnel GRE istaurati tra i Centri ENEA. Uno dei compiti del router, infatti, è quello di indirizzare il traffico da e verso le reti delle sedi Enea attraverso interfacce di Tunnel e inocularla dentro una rete privata. Il tunnel viene realizzato costruendo una interfaccia GRE, una interfaccia di Loopback e impostando delle rotte statiche.

```
!
interface Tunnel11
  description *** TUNNEL_vs_BRINDISI ***
  ip address 10.7.12.26 255.255.255.252
!
ip route 192.168.160.0 255.255.240.0 Tunnel11 name PRIV-BRINDISI
```

Mediante il Controller Watchguard è possibile ottenere anche delle statistiche di utilizzo della rete, un esempio in Figura 37

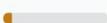
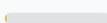
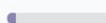
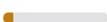
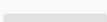
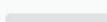
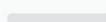
NAME	SENT	RECEIVED	TOTAL	USERS
AP200_2	 3.61 GB	 477 MB	 4.08 GB	46
AP200_4	 468 MB	 48 MB	 517 MB	13
AP200_5	 511 MB	 45 MB	 556 MB	13
AP200_1	 0 KB	 0 KB	 0 KB	0
AP200_3	 0 KB	 0 KB	 0 KB	0

Figura 37: Statistiche Top Access Points by Users

**Collegamento alla rete LAN** – Affinché l’apparato si connetta alla rete LAN ed ottenga un indirizzo IP valido della *VLAN 33 WIFI IOT*, esso deve preventivamente essere autorizzato dal Firewall FortiGate 60E e configurato in modo appropriato. Solo dopo l’autorizzazione questi può generare il traffico per cui è stato abilitato, vedi Tabella 3.

Il Firewall, per il C.R. di Bari, assolve anche al compito di DHCP e VPN Server e per la *VLAN 33 WIFI IOT* anche da NAT, compito che in linea generale è affidato al Router di frontiera Cisco 2921.

Per la gestione dei molteplici apparati IoT da inserire, eliminare, gestire e monitorare sul Firewall, sono stati creati degli appositi script con funzioni di *set*, *delete*, *update* degli apparati. Di seguito un esempio di oggetto esplicitato sul firewall.

```
FGT60E_BARI # config firewall address

edit "NS_Mult_microclima_32_Stanza-10"
  set uuid 880ab49c-147e-51ec-8ca8-c56156ce832c
  set type mac
  set start-mac b8:27:eb:ad:5b:50
  set end-mac b8:27:eb:ad:5b:50
  set comment "Nodo sensore Multiparametrico"
  set associated-interface "internal4"
next
end
```

Regole impostate sul firewall perimetrale FortiGate 60E - Il set di regole impostate per il traffico IoT si compone di alcune regole specifiche e di altre di base per il comune traffico che attraversa il firewall di Bari.

Queste regole sono fondamentali per consentire il traffico da e verso la piattaforma di monitoraggio, il server di interoperabilità e per consentire che i dispositivi IoT siano controllabili da remoto mediante API aperte REST e MQTT. Tali regole consentono ad esempio il traffico verso mqtt.digimat.it ed ancora verso gli NTP server. Allo stesso tempo negano il traffico non voluto. Alcune di queste regole sono esplicitate di seguito.

#### set name "da\_wifi\_iot\_vs\_NTP"

```

set srcaddr "Tutti_Nodo_sensore_Multiparametrico"
"tutti_Power_meter_quadro_di_zona"
"Tutti_Smart_plug" "tutti_Telecomandi_IR"
set dstaddr "0.debian.pool.ntp.org"
"1.debian.pool.ntp.org"
"2.debian.pool.ntp.org"
"time.google.com"
set action accept
set service "NTP"
set logtraffic all
set comments "traffico NTP vs internet"
set nat enable

```

#### set name "da\_wifi\_iot\_vs\_mqtt.digimat.it"

```

set srcaddr "Tutti_Nodo_sensore_Multiparametrico"
"tutti_Power_meter_quadro_di_zona"
"Tutti_Smart_plug"
"tutti_Telecomandi_IR"
set dstaddr "mqtt.digimat.it"
set action accept
set service "Mosquitto"
set comments "traffico autorizzato vs mqtt.digimat.it"
set nat enable

```

Source	Device	Destination	Result	Policy ID
192.168.231.164	NS_Mult_microclima_45_Stanza-27	91.231.179.15 (mqtt.digimat.it)	✓ 318 B / 324 B	da_wifi_iot_vs_mqtt.digimat.it (25)
192.168.231.136	NS_Mult_microclima_29_Stanza-5	91.231.179.15 (mqtt.digimat.it)	✓ 318 B / 324 B	da_wifi_iot_vs_mqtt.digimat.it (25)
192.168.231.133	NS_Mult_microclima_42_Stanza-24	91.231.179.15 (mqtt.digimat.it)	✓ 318 B / 324 B	da_wifi_iot_vs_mqtt.digimat.it (25)
192.168.231.173	NS_Mult_microclima_41_Stanza-19	91.231.179.15 (mqtt.digimat.it)	✓ 370 B / 324 B	da_wifi_iot_vs_mqtt.digimat.it (25)
192.168.231.177	NS_Mult_microclima_40_Stanza-18	91.231.179.15 (mqtt.digimat.it)	✓ 318 B / 324 B	da_wifi_iot_vs_mqtt.digimat.it (25)

Figura 38: Forward Traffic Log - policy ID 25 (traffico verso MQTT)

La sicurezza del traffico è garantita da una serie di policy di sicurezza. **Le Security Profiles attive comprendono** – AntiVirus, Web Filter, DNS Filter, Application Control, File Filter, SSL Inspection.

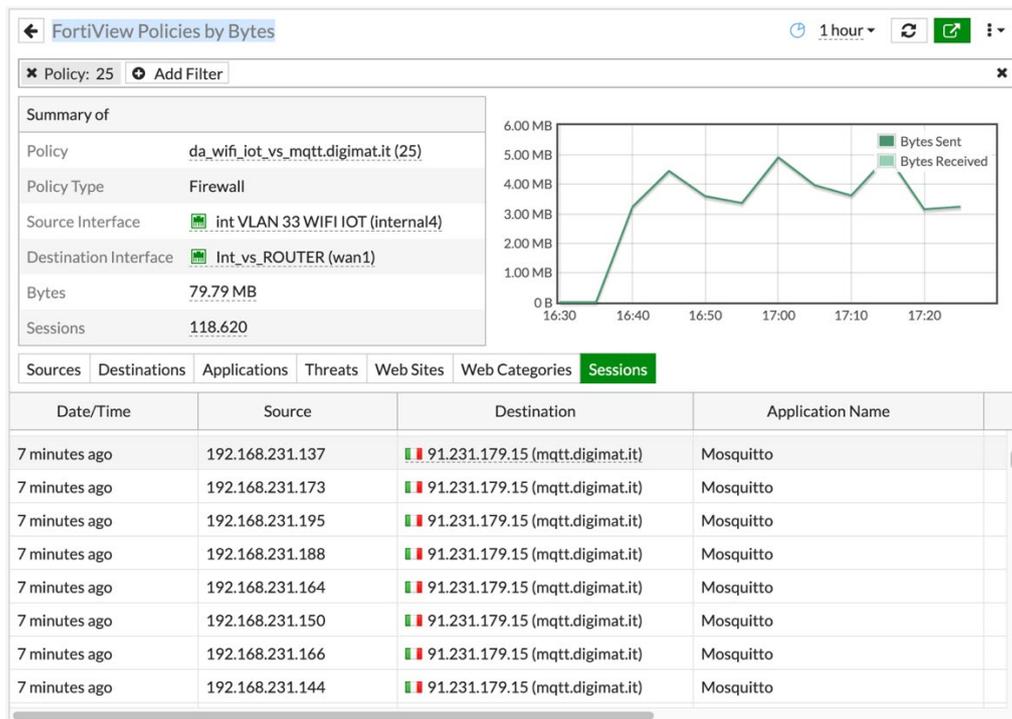


Figura 39: FortiView Policies by Bytes - policy ID 25 (traffico verso MQTT)

#### 4.2.2 Piattaforma software

La piattaforma SW è un sistema che consente di monitorare lo stato di tutti gli interruttori, dei sensori e dei consumi energetici in tempo reale e permette, se correttamente configurata, di inviare notifiche di allerta in caso di eventuali anomalie.

Attraverso di essa è possibile controllare i carichi a distanza e raccogliere in modo continuativo tutte le informazioni di dettaglio sull'attività dei punti di rete monitorati, compresi i consumi e le condizioni ambientali.

La piattaforma SW, che nel corso dei mesi relativi allo sviluppo della seguente attività è stata realizzata e validata, offre diversi servizi finalizzati a diversi scopi:

- Raccolta dei dati provenienti dai sensori
- Visualizzazione degli andamenti dei parametri ambientali rilevati
- Visualizzazione dei consumi energetici complessivi e parziali, identificabili nelle singole utenze

Tutti i dispositivi utilizzati offrono diverse interfacce e protocolli con cui trasferire i dati ed il protocollo utilizzato per far dialogare i dispositivi con la piattaforma è, in questo caso, il protocollo MQTT.

Le funzionalità principali messe a disposizione della piattaforma sono:

- Sistema di autenticazione e autorizzazione  
Questo consente l'accesso ai dati relativi al monitoraggio solo agli utenti che ne hanno i privilegi.



Figura 40 – Login

- **Geolocalizzazione dei sensori**

La piattaforma consente la localizzazione della struttura su una mappa e la visualizzazione dei sensori su una planimetria che rappresenta la distribuzione degli ambienti.

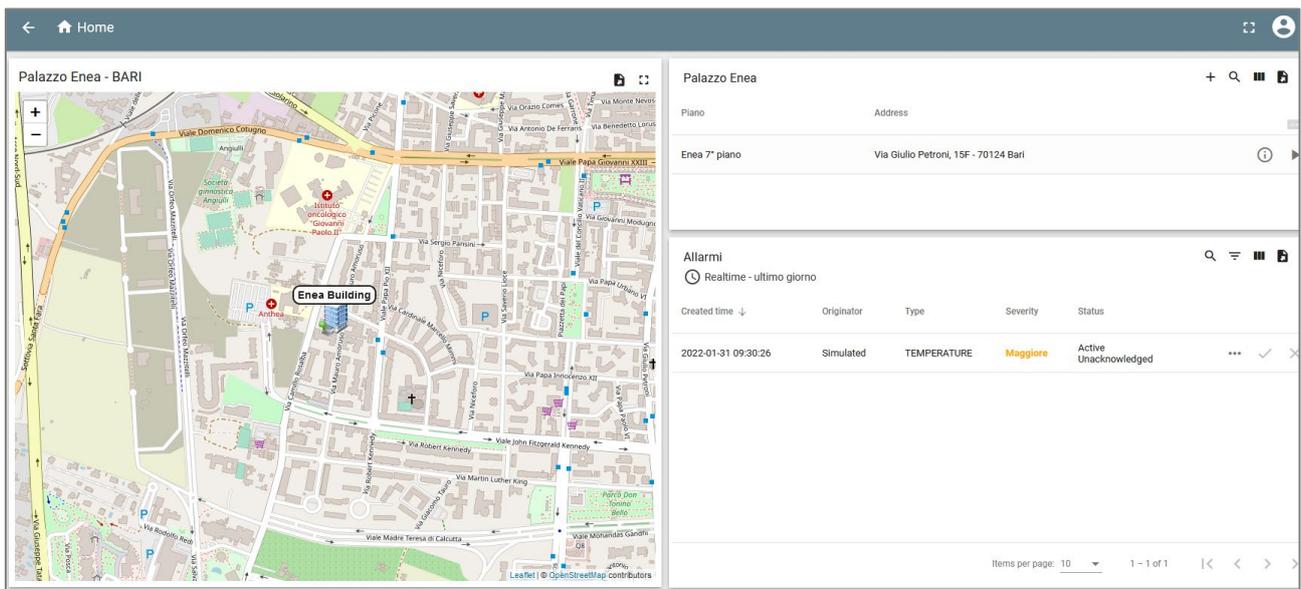


Figura 41 – Localizzazione struttura su mappa

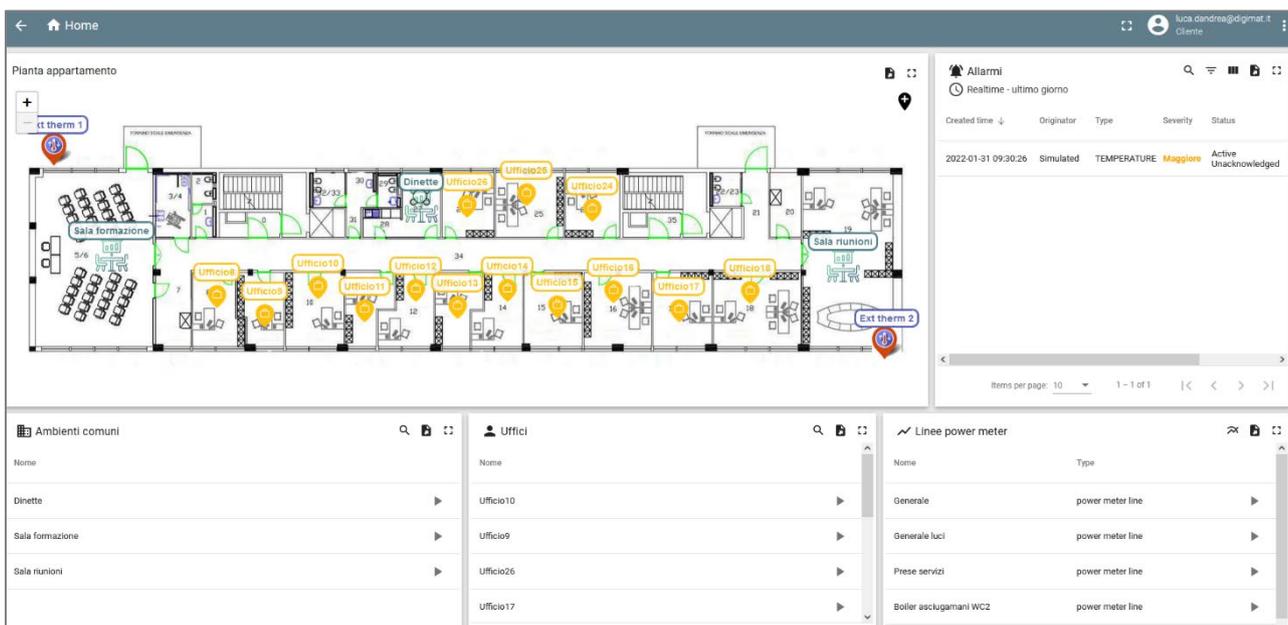


Figura 42 – Localizzazione sensori su pianta

- Quadro sintetico della sensoristica presente nel singolo ambiente (ufficio, sala riunioni, ..) con vista riassuntiva dei consumi energetici , che aiuta ad individuare le fonti di maggior consumo energetico.

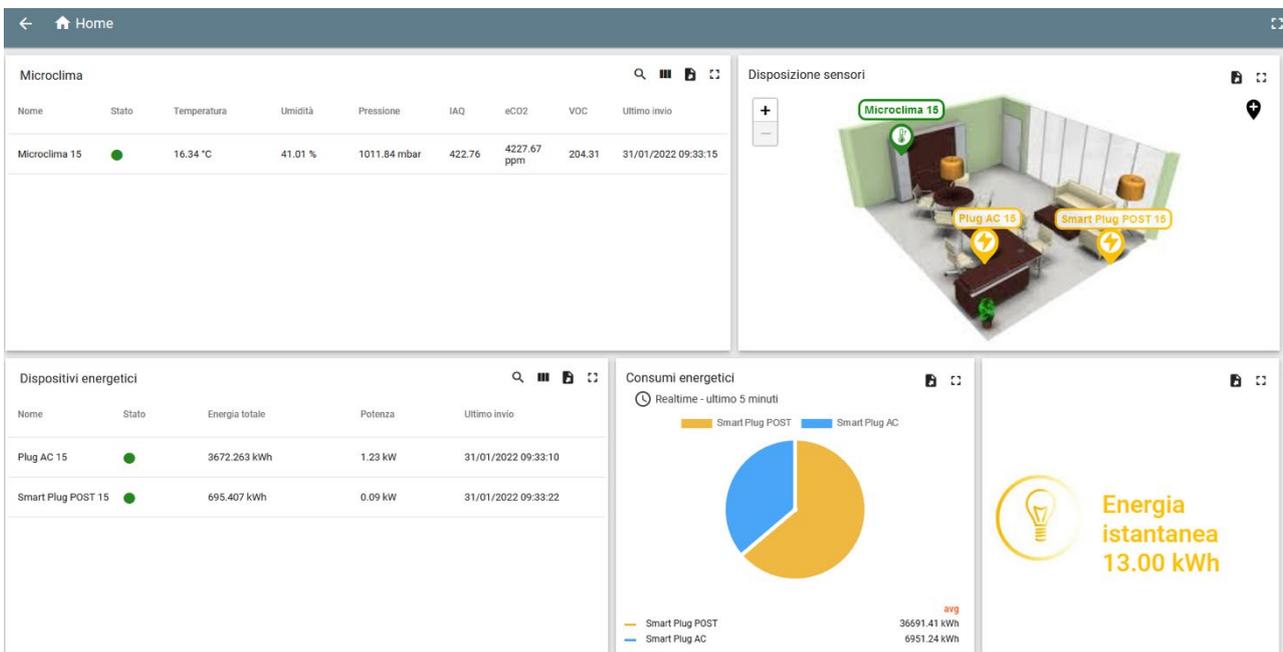


Figura 43 – Dettaglio ufficio/ambiente

- Visualizzazione in tempo reale degli andamenti dei dati provenienti dai sensori ambientali  
La piattaforma consente la visualizzazione dei dati provenienti dai sensori ambientali sia in modalità *real time*, sia dando la possibilità di accedere allo storico dei dati.

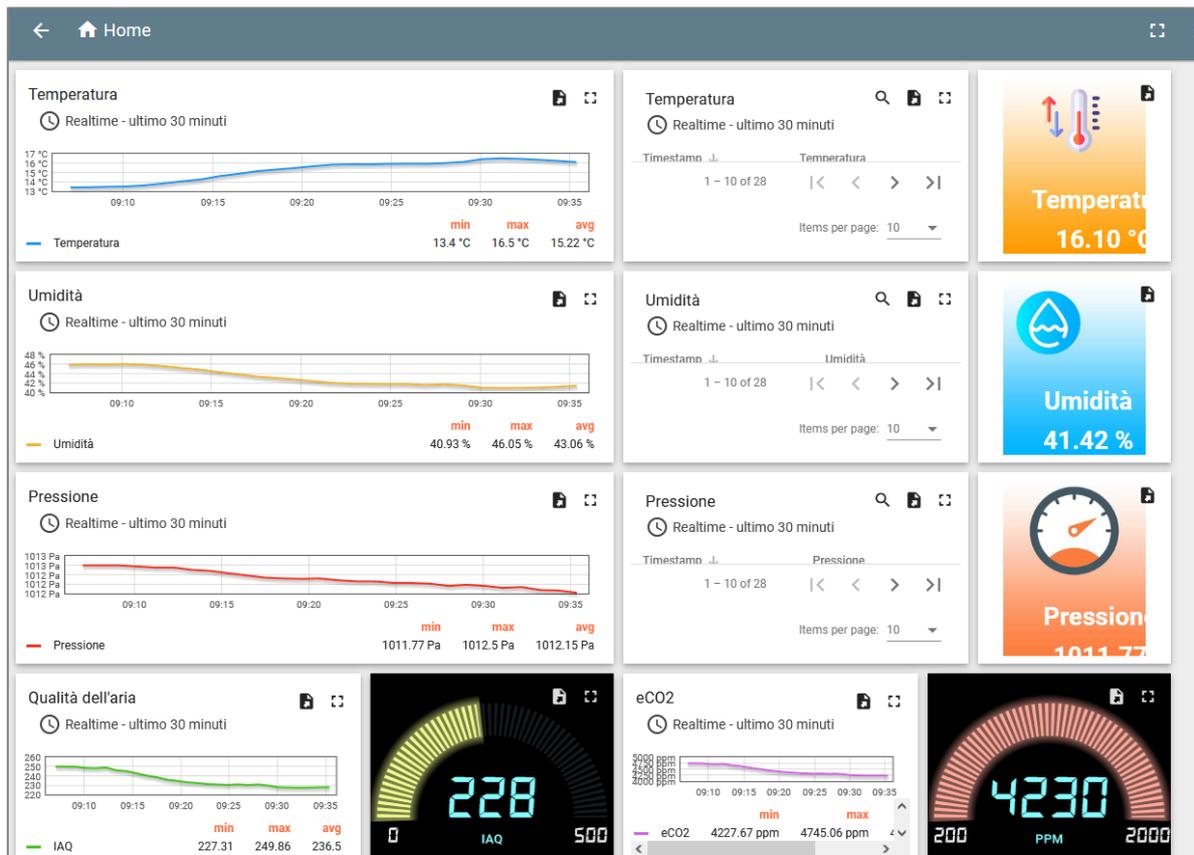


Figura 44 – Andamento dati ambientali

E' inoltre possibile filtrare i dati specificando un intervallo temporale o aggregarli con varie funzioni (come average, min, max, count) oltre a consentire l'export degli stessi in vari formati (csv, xls).

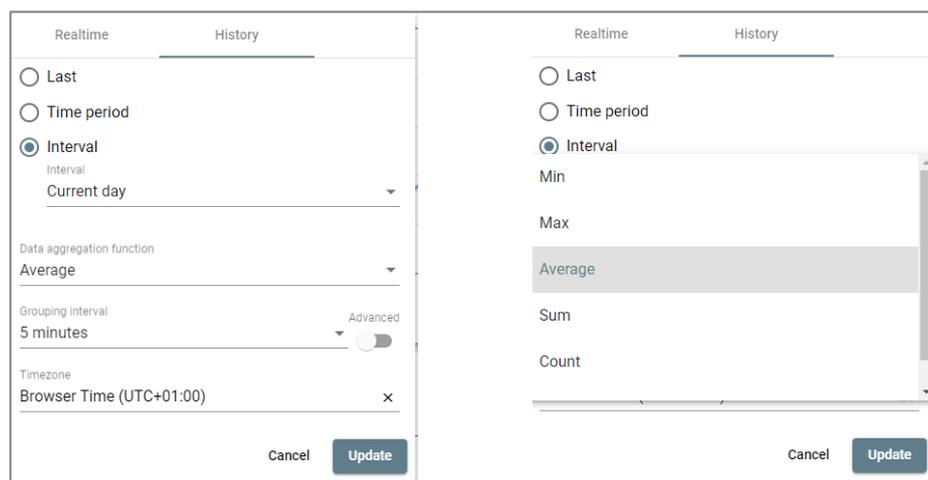


Figura 45 – Storico dati e filtri

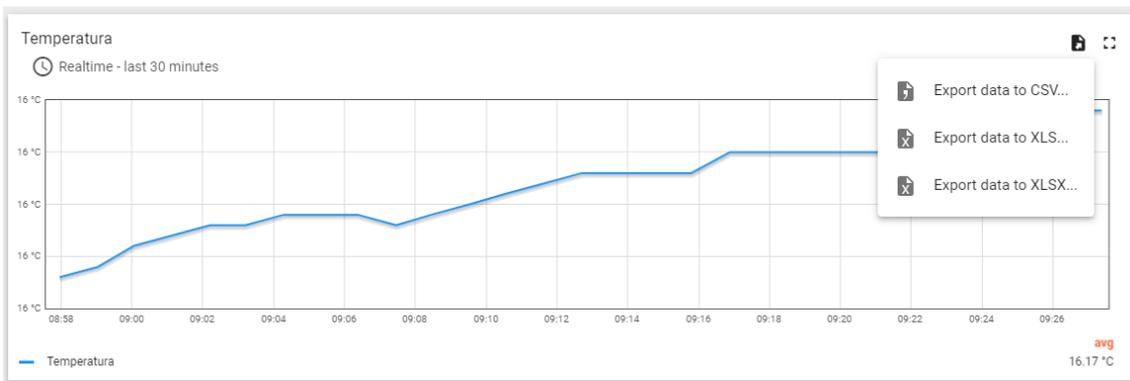


Figura 46 – Export dei dati

- Visualizzazione in tempo reale e storico dei consumi energetici delle singole utenze e possibilità di intervenire con lo spegnimento/accensione di alcune fonti di consumo (i.e. condizionatore)

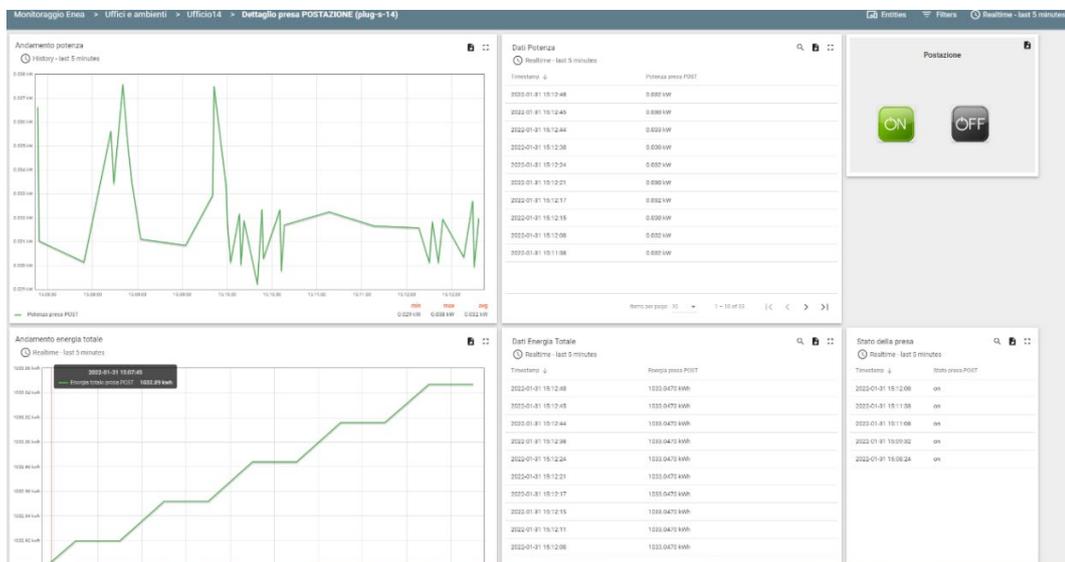


Figura 47 – Andamento consumi energetici

- Visualizzazione in tempo reale e storico dei consumi energetici complessivi di ciascun smart meter, che raccoglie varie linee (linea luci, linea boiler asciugamani, ..)

Generale							
Linea ↑	Stato	Energia	Energia totale	Potenza	Potenza reattiva	Voltaggio	Ultimo invio
L1	●	6.84 kWh	5711.40 kWh	6.52 kW	-836.12 VAR	221.32 V	31/01/2022 09:43:04
L2	●	1.38 kWh	5298.21 kWh	1.65 kW	-364.04 VAR	224.83 V	31/01/2022 09:43:01

Generale Luci							
Linea ↑	Stato	Energia	Energia totale	Potenza	Potenza reattiva	Voltaggio	Ultimo invio
L1	●	0.04 kWh	53.52 kWh	0.03 kW	-11.12 VAR	220.87 V	31/01/2022 09:43:19
L2	●	0.00 kWh	93.07 kWh	0.00 kW	0 VAR	224.49 V	31/01/2022 09:43:12

Prese Servizi							
Linea ↑	Stato	Energia	Energia totale	Potenza	Potenza reattiva	Voltaggio	Ultimo invio
L1	●	3.18 kWh	4544.06 kWh	3.17 kW	-210.30 VAR	221.32 V	31/01/2022 09:43:04
L2	●	0.93 kWh	3893.46 kWh	1.46 kW	-167.94 VAR	224.83 V	31/01/2022 09:43:01

Boiler asciugamani WC1 (disabili)							
Linea ↑	Stato	Energia	Energia totale	Potenza	Potenza reattiva	Voltaggio	Ultimo invio
L1	●	0.01 kWh	207.89 kWh	0.01 kW	11.97 VAR	225.71 V	31/01/2022 09:43:13

Boiler asciugamani WC2							
Linea ↑	Stato	Energia	Energia totale	Potenza	Potenza reattiva	Voltaggio	Ultimo invio
L1	●	0.00 kWh	169.03 kWh	0 kW	0.00 VAR	220.87 V	31/01/2022 09:43:19

Radiatori WC2							
Linea ↑	Stato	Energia	Energia totale	Potenza	Potenza reattiva	Voltaggio	Ultimo invio
L1	●	0.92 kWh	3559.22 kWh	1.4442000000000002 kW	-132.96 VAR	224.49 V	31/01/2022 09:43:12

Figura 48 – Consumi power meter

Per ciascuna linea è possibile visualizzare l'andamento dei consumi ed i consumi istantanei, oltre a poter eseguire un export dei dati, per consentire analisi successive.



Figura 49– Dettaglio linea

- **Definizione dei livelli di allarme per la generazione di alert**

La piattaforma permette la definizione di flussi e regole che azionano l'invio di allarmi e notifiche relativi sia ai dati che allo stato dei dispositivi.

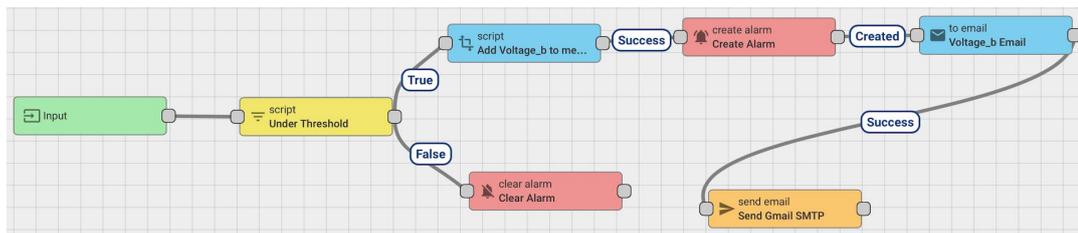


Figura 50– Esempio di una regola per la generazione di un allarme

Gli allarmi generati sono visibili nella piattaforma in un'apposita sezione ma è possibile anche riceverli via email.

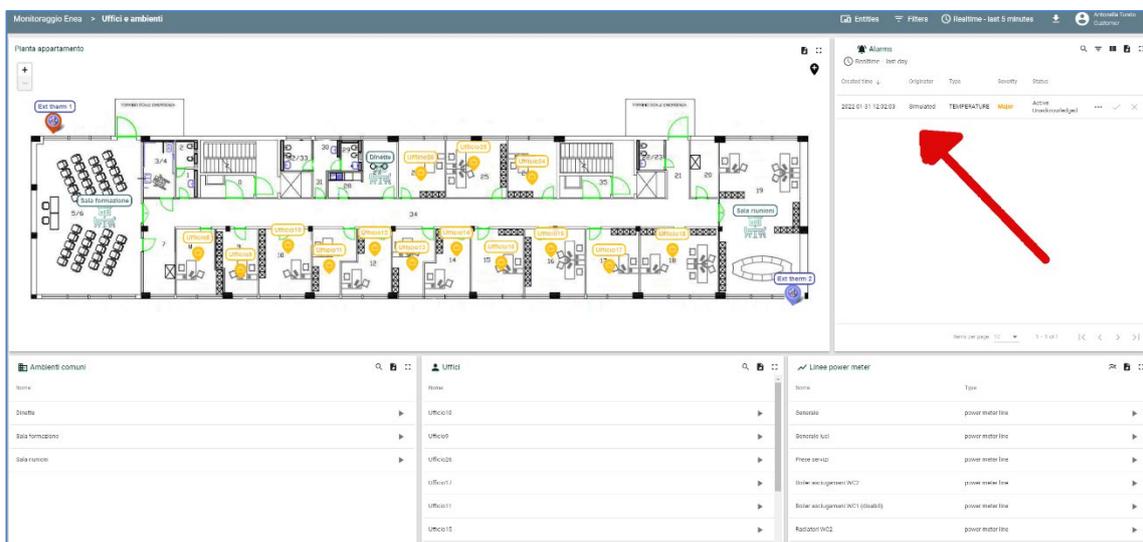


Figura 51– Visualizzazione sulla piattaforma dell'allarme generato

#### 4.2.3 Server di Interoperabilità

L'interoperabilità tra la piattaforma e le altre piattaforme tra cui DHOMUS sarà garantita dal server di interoperabilità, ossia un modulo predisposto per rielaborare e formattare, nelle modalità che si definiranno, tutti i dati ricevuti via MQTT dai sensori (ambientali ed energetici)

Il componente di interoperabilità sfrutta le funzionalità messe a disposizione dalla piattaforma, ossia quelle di acquisire, archiviare ed analizzare i dati, e metterà tali dati a disposizione di piattaforme di terze parti come DOMUS, attraverso l'utilizzo di interfacce a messaggi asincroni. L'interfaccia a messaggi utilizzerà il formato JSON (JavaScript Object Notation), noto per la semplicità e per il suo largo uso in ambito IoT.

## 5 ProsumerChain

### 5.1 Introduzione

Questo capitolo riprende l'attività intrapresa nell'annualità precedente, ovvero un Proof-of-Concept che sperimenta un approccio innovativo per stimolare i membri di una Comunità Energetica a comportamenti energeticamente virtuosi.

Tale sistema è stato chiamato ProsumerChain e, in sintesi, mira a creare:

1. Un modello innovativo per la gestione della flessibilità da parte del TSO/DSO;
2. Un modello di incentivazione di atteggiamenti virtuosi per i Prosumers, attraverso dinamiche di premialità e penalità;
3. La certificazione degli scambi tra i diversi soggetti che caratterizzano una Energy Communities.

L'approccio utilizzato mira a garantire trasparenza al processo di flessibilità con svariati vantaggi per il soggetto aggregatore, i suoi clienti e l'operatore di rete, il tutto in un'ottica di un'incentivazione all'autoconsumo all'interno di una Comunità Energetica.

Gli obiettivi prefissati sono tra i principali punti di forza di una Blockchain (BC) che permetta l'utilizzo di Smart Contract per la scrittura automatica di transazioni e la gestione di una cripto-valuta utilizzata negli scambi di valore.

L'ambito di applicazione è l'edificio F40 di Casaccia che, per vari aspetti, può rappresentare a tutti gli effetti un prototipo di Comunità Energetica, dove vi sono più utenti rappresentati dai differenti quadri elettrici dei piani e differenti usi finali, mentre vi è un unico impianto fotovoltaico la cui energia prodotta viene condivisa tra i vari utenti.

L'obiettivo è proporre un modello che premia i comportamenti virtuosi dei membri della comunità energetica, incentivi l'autoconsumo e penalizzi al tempo il prelievo di energia in momenti della giornata inopportuni, ad esempio quando il prezzo dell'energia è più alto, prendendo come riferimento il PUN.

In presenza di Building Energy Management System (BEMS) e EMS (Energy Management System), come quelli esistenti presso l'edificio F40 è possibile adottare differenti strategie di ottimizzazione dei carichi e degli stati di carica e scarica della batteria. Nel presente capitolo sono descritte nei paragrafi successivi le strategie adottate e testate:

- una prima strategia, basata sul PUN, che mira a concentrare il consumo energetico quando il prezzo dell'energia è più basso, per questo motivo il sistema di gestione della batteria programma la carica di quest'ultima quando il prezzo dell'energia è più basso per poi utilizzare l'energia immagazzinata in batteria quando il costo dell'energia è più elevato, consentendo così un risparmio sul costo dell'energia
- una seconda strategia, basata sulla massimizzazione l'autoconsumo, ovvero consumare in loco presso l'edificio F40 tutta l'energia prodotta del fotovoltaico, grazie all'immagazzinamento nelle batterie del surplus di energia prodotta da fonte rinnovabile, per consentirne il consumo successivamente.

Per quantificare, valorizzando, le giuste premialità sopra descritte, si è pensato di creare una nuova 'Crypto-Valuta' che possa assumere il ruolo di unità di misura monetaria di una Energy Community con la quale ogni singolo membro può effettuare altri tipi di transazioni, incentivando da una parte una gestione più intelligente possibile dell'energia elettrica e dall'altra dare "potere di spesa" all'interno di un circuito privato dove poter spendere tale valuta. Abbiamo quindi creato l'EnergyToken, la 'crypto-valuta' che sarà utilizzata negli scambi interni tra i membri della Comunità Energetica, si vedano a tal riguardo anche i report EC RdS/PTR(2021)/036 e RdS/PTR(2021)/039.

Il presente capitolo si compone di due parti distinte:

- una relativa alle evidenze statistiche generate dalle transazioni registrate nella BlockChain ProsumerChain, basata su Quorum<sup>17</sup>, e residente su sistemi ENEA. Questo capitolo è suddiviso a sua volta in due casi d’uso distinti:
  - Strategia basata su PUN<sup>18</sup>;
  - Incentivazione all’autoconsumo.
- l’altra è relativa alla replicazione del sistema stesso su BlockChain IBSI<sup>19</sup>.

## 5.2 Evidenze statistiche relative all’anno 2021

Al termine di questa annualità si è deciso di estrarre alcune evidenze statistiche dalla BlockChain ProsumerChain.

In particolare le diverse viste sono relative al numero di transazioni effettuate e al valore da esse prodotte, espresso in EnergyToken; tale crypto-valuta è stata realizzata ad-hoc per assegnare un valore economico alle singole transazioni.

### 5.2.1 Modello dei dati

Si ricorda che il modello dei dati sottostante l’intera applicazione prevede l’acquisizione dei dati in modo capillare, da ogni singolo smart-meter, ogni 15 minuti. Tali dispositivi sono a loro volta raggruppati per “proprietario”, i quali possono avere in linea teorica più di un dispositivo.

Infine, mutuando la metafora del condominio, alcuni di questi proprietari sono a loro volta raggruppati sotto vari “amministratori”.

Questa architettura gerarchica consente di estrarre evidenze statistiche via via sempre più di sintesi, pur mantenendo la possibilità di avere viste particolarmente di dettaglio.

### 5.2.2 Viste specifiche per l’analisi dei dati

Per comodità di analisi si sono create viste specifiche che innanzi tutto tengono conto di un sottoinsieme di dati relativi al solo anno 2021.

A queste viste si è assegnato il prefisso `_2021_`xxx.

Dato l’estremo livello di dettaglio dei dati, si sono costruite due viste intermedie:

1. Riepilogo dei dati di ogni singola giornata, per ogni account;
2. Riepilogo dei dati dell’intero anno, per ogni account.

### 5.2.3 Riepilogo dei dati di ogni singola giornata, per ogni account

Il nome di tale vista, su cui lavorano alcune delle viste quelle successivamente illustrate è `_2021_daily_trx_account`.

È una vista utile per estrarre gli andamenti nell’anno di ogni singolo account, eventualmente aggregati per mese.

È creata con la seguente query:

```
SELECT
  eth_address,
  day,
  SUM(num_token) AS daily_token,
  SUM(num_trx) AS daily_trx
FROM
```

<sup>17</sup> ConsenSys Quorum consente di sfruttare Ethereum per le loro applicazioni blockchain di alto valore. <https://consensys.net/quorum/>

<sup>18</sup> Il PUN (Prezzo Unico Nazionale) è il prezzo di riferimento dell’energia elettrica rilevato sulla borsa elettrica italiana (IPEX, Italian Power Exchange). Il valore dell’indice PUN è pubblicato dal Gestore dei Mercati Energetici sul sito <https://www.mercatoelettrico.org>.

<sup>19</sup> Italian Blockchain Service Infrastructure, <https://ibsi.azurewebsites.net/>

```
token_by_account_hour
WHERE
  day between '2021-01-01' and '2021-12-31'
GROUP BY
  eth_address, day
ORDER BY
  eth_address, day
```

#### 5.2.4 Riepilogo dei dati dell'intero anno, per ogni account

Il nome di tale vista, su cui lavorano alcune delle viste quelle successivamente illustrate è **\_2021\_yearly\_trx\_account**.

È una vista utile per estrarre aggregati annuali per ogni singolo account, eventualmente aggregati per proprietario e/o amministratore. Utilizza come input la vista precedentemente descritta **\_2021\_daily\_trx\_account**.

È creata con la seguente query:

```
SELECT
  d.eth_address,
  a.descrizione,
  a.owners_id,
  SUM(d.daily_token) AS token_2021,
  SUM(d.daily_trx) AS trx_2021
FROM
  _2021_daily_trx_account AS d
JOIN
  accounts a
ON
  d.eth_address = a.eth_address
WHERE
  day between '2021-01-01' and '2021-12-31'
GROUP BY
  d.eth_address
ORDER BY
  a.owners_id
```

### 5.3 Dati relativi alla strategia basata su PUN

Questa strategia di gestione [2] e si basa sulla modulazione della domanda di energia a seconda del suo prezzo (PUN). Dato un certo fabbisogno energetico giornaliero dell'utente, la strategia consente di prelevare maggiormente dalla Rete quando il PUN è basso, e in misura minore quando il PUN è alto.

La strategia di gestione che ne deriva è stata chiamata "Prelievo Concordato"<sup>20</sup>.

La relativa Curva di Prelievo (CP), ossia la domanda, sarà funzione della curva di carico dell'utente, del profilo di produzione fotovoltaico e dal PUN.

La presenza dello Storage elettrico, opportunamente gestito, è fondamentale per assicurare quanto più possibile il rispetto della Curva di Prelievo CP.

Nel Proof of concept descritto di seguito si fa riferimento alle premialità associate alla strategia di gestione basata sul PUN, tale premialità incentiva il consumo nelle fasce orarie più di minor prezzo secondo una data curva oraria del prezzo dell'energia a partire dal dato di consumo fornito dal singolo smart-meter che monitora i consumi all'interno dello Smart Building F40 della Casaccia.

---

<sup>20</sup> E' stato scelto questo nome perché lo scenario di riferimento è quello in cui Prosumer dotati di un impianto FV con accumulo interagiscono con un Aggregatore per concordare una propria curva di prelievo.

### 5.3.1 Valutazione sulla numerosità delle transazioni

Di seguito vengono riportati alcuni risultati numerici relativi alle transazioni effettuate in BlockChain nell'anno 2021.

#### Numero di transazioni complessivo

Il numero complessivo di transazioni per l'anno 2021 è di **255.451**.

Questo numero tiene conto non solo delle transazioni relative alle letture dati dei singoli smart-meter ma anche alle registrazioni orarie dei singoli coefficienti orari con cui vengono calcolate le premialità.

La vista che restituisce tale informazione è **\_2021\_numero\_trx**.

Di seguito la sintassi SQL:

```
SELECT
  count (*)
FROM
  transactions
WHERE
  date between '2021-01-01 00:00:00' and '2021-12-31 23:59:59'
```

#### Numero di transazioni complessivo, per account

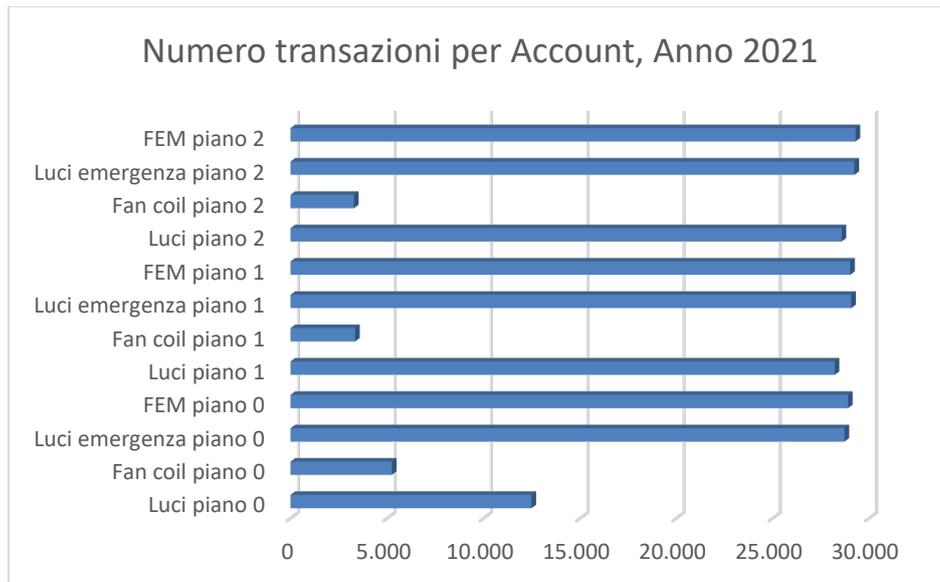
Di seguito sono riportati i numeri totali di transazione generati per ogni singolo account.

La vista utilizzata per ottenere tali informazioni è **\_2021\_yearly\_trx\_account**.

Questi i risultati:

**Tabella 4 - Numero di transazioni complessivo, per account**

Smart-meter (account)	Numero trx
Luci piano 0	12.485
Fan coil piano 0	5.249
Luci emergenza piano 0	28.730
FEM piano 0	28.913
Luci piano 1	28.222
Fan coil piano 1	3.341
Luci emergenza piano 1	29.077
FEM piano 1	29.024
Luci piano 2	28.578
Fan coil piano 2	3.285
Luci emergenza piano 2	29.245
FEM piano 2	29.302
<b>Totale transazioni 2021</b>	<b>255.451</b>



**Figura 52 - Numero transazioni per Account, Anno 2021**

### Numero di transazioni complessivo, per proprietario

Di seguito sono riportati i numeri totali di transazione generati per ogni account e accumulati per singolo proprietario. Nel caso della nostra sperimentazione si è suddivisa la proprietà degli smart-meter in base al piano dell'edificio F40.

La vista utilizzata per ottenere tali informazioni è `_2021_yearly_trx_account` a cui è stato aggiunta un'aggregazione sul campo `owner_id`.

Di seguito la query:

```
SELECT
  d.owners_id,
  o.descrizione,
  SUM(d.trx_2021) AS trx_2021
FROM
  _2021_yearly_trx_account AS d
JOIN
  owners o
ON
  d.owners_id = o.id
GROUP BY
  d.owners_id
ORDER BY
  d.owners_id
```

Questi i risultati:

**Tabella 5 - Numero di transazioni complessivo, per proprietario**

Proprietario	Numero trx
<b>Piano 0</b>	75.377
<b>Piano 1</b>	89.664
<b>Piano 2</b>	90.410
<b>Transazioni totali</b>	<b>255.451</b>

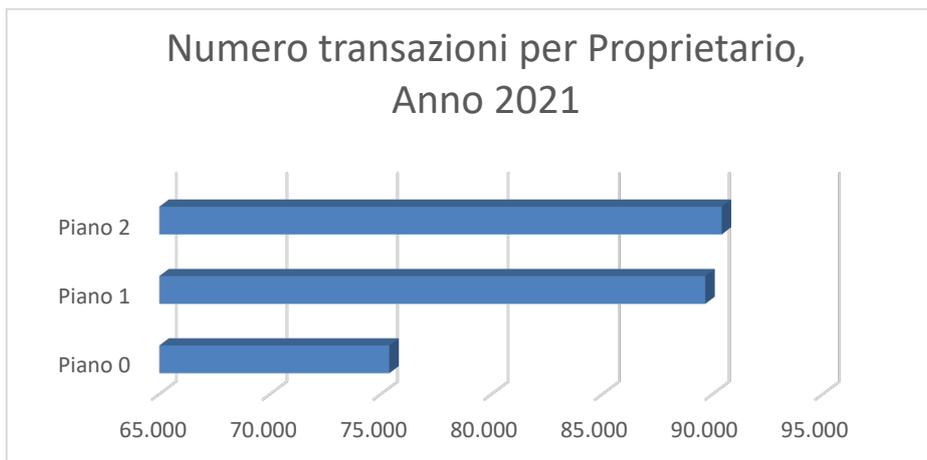


Figura 53 - Numero transazioni per Proprietario, Anno 2021

### 5.3.2 Valutazione sul valore delle transazioni

Di seguito vengono riportati alcuni risultati numerici relativi al valore delle transazioni effettuate in Blockchain nell'anno 2021. I valori sono espressi in EnergyToken.

È importante notare che i numeri sono valori interi ma sono da intendersi come cifre con 6 decimali; questo è dovuto al fatto che gli smart contract realizzati in Solidity non gestiscono valori decimali ma solo interi.

#### Valore totale delle transazioni

Il numero complessivo di token distribuiti nell'anno 2021 è di **3.402.106,748188**.

Questo numero tiene conto solo delle transazioni relative alle letture dati dei singoli smart-meter a cui vanno le premialità relative all'autoconsumo.

La vista che restituisce tale informazione è **\_2021\_token\_totale**. Di seguito la sintassi SQL:

```
SELECT
  sum(value)/1000000 as Valore
FROM
  transactions
WHERE
  date between '2021-01-01 00:00:00' and '2021-12-31 23:59:59'
```

#### Valore complessivo delle transazioni, per account

Di seguito sono riportati i numeri totali di EnergyToken distribuiti per ogni singolo account.

La vista utilizzata per ottenere tali informazioni è **\_2021\_yearly\_trx\_account**.

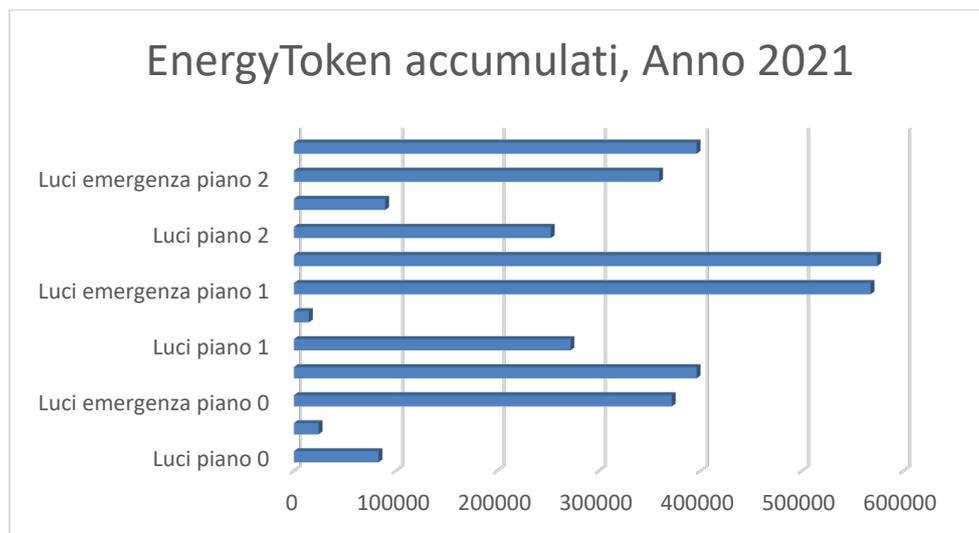
I numeri sono stati arrotondati all'intero più vicino.

Questi i risultati:

Tabella 6 - Valore complessivo delle transazioni, per account

Smart-meter (account)	EnergyToken
Luci piano 0	83.144
Fan coil piano 0	24.229
Luci emergenza piano 0	371.837
FEM piano 0	396.278
Luci piano 1	272.058

<b>Fan coil piano 1</b>	14.739
<b>Luci emergenza piano 1</b>	567.686
<b>FEM piano 1</b>	574.193
<b>Luci piano 2</b>	252.703
<b>Fan coil piano 2</b>	89.677
<b>Luci emergenza piano 2</b>	359.302
<b>FEM piano 2</b>	396.261
<b>Totale EnergyToken Distribuiti</b>	<b>3.402.107</b>



**Figura 54 - EnergyToken accumulati, Anno 2021**

### Andamento giornaliero di un account campione (Luci piano 1)

In questa sezione vengono riportati alcuni esempi di sintesi giornaliere di token accumulati da un account in particolare, Luci Piano 1, ora per ora.

In un primo esame vengono messi a confronto gli accumuli giornalieri di 4 mercoledì a caso, in particolare il 17/02/2021, il 12/05/2021, il 25/08/2021 e il 17/11/2021.

La query tipo utilizzata è la seguente:

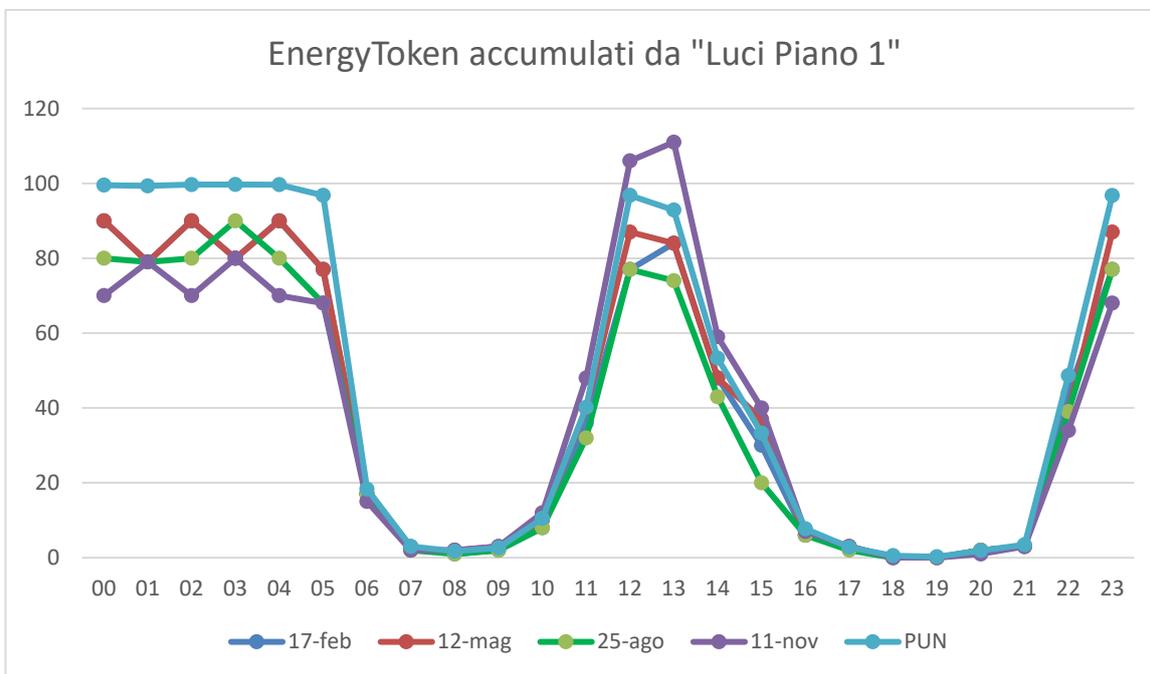
```
SELECT
  hour,
  num_token
FROM
  token_by_account_hour
WHERE
  day between '2021-02-17' and '2021-02-17' AND
  eth_address = '0x493F9ED2EB1974D0f08D11DCE5Ce909d8C6bDc8D'
ORDER BY
  hour
```

I numeri sono stati arrotondati all'intero più vicino.

Questi i risultati:

**Tabella 7 - Andamento giornaliero di un account campione (Luci piano 1)**

Ora	17-feb	12-mag	25-ago	17-nov	PUN
00	90	90	80	70	99,526
01	79	79	79	79	99,322
02	90	90	80	70	99,664
03	80	80	90	80	99,699
04	90	90	80	70	99,658
05	77	77	68	68	96,792
06	17	17	17	15	18,345
07	3	2	2	2	2,996
08	1	2	1	2	1,706
09	2	3	2	3	2,622
10	8	10	8	12	10,496
11	36	40	32	48	40,149
12	77	87	77	106	96,792
13	84	84	74	111	92,866
14	48	48	43	59	53,297
15	30	37	20	40	33,273
16	6	6	6	7	7,737
17	3	3	2	3	2,785
18	0	0	0	0	0,544
19	0	0	0	0	0,251
20	2	2	2	1	1,910
21	3	3	3	3	3,472
22	44	39	39	34	48,675
23	77	87	77	68	96,775



**Figura 55 - EnergyToken accumulati da "Luci Piano 1"**

**Valore complessivo delle transazioni, per proprietario**

Di seguito sono riportati i numeri totali di EnergyToken distribuiti per ogni account e raggruppati per proprietario.

La vista utilizzata per ottenere tali informazioni è \_2021\_yearly\_trx\_account.

Questi i risultati:

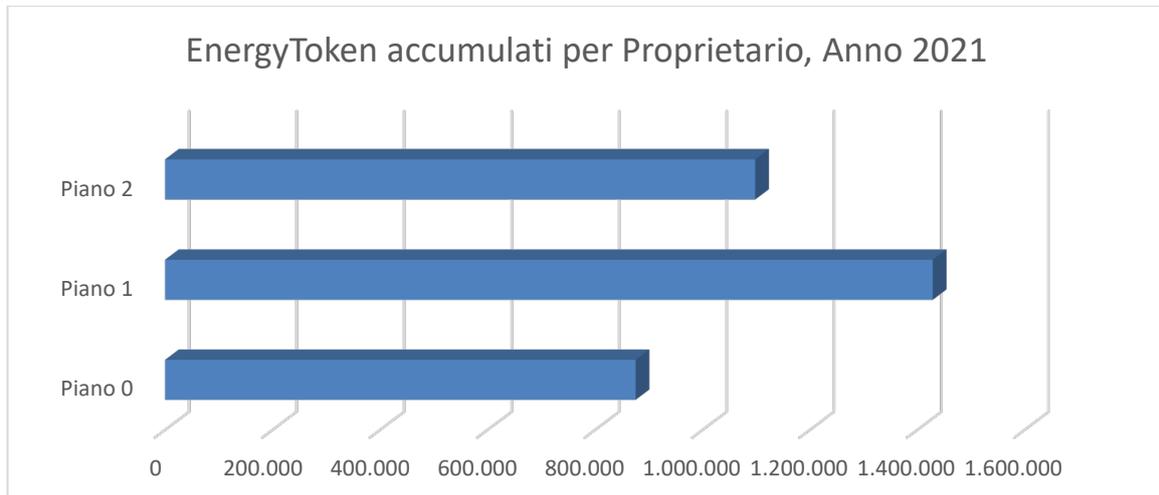
La vista utilizzata per ottenere tali informazioni è **\_2021\_yearly\_trx\_account** a cui è stato aggiunta un'aggregazione sul campo **owner\_id**.  
I numeri sono stati arrotondati all'intero più vicino.

Di seguito la query:

```
SELECT
  d.owners_id,
  o.descrizione,
  SUM(d.token_2021) AS token_2021
FROM
  _2021_yearly_trx_account AS d
JOIN
  owners o
ON
  d.owners_id = o.id
GROUP BY
  d.owners_id
ORDER BY
  d.owners_id
```

**Tabella 8 - Valore complessivo delle transazioni, per proprietario**

Proprietario	EnergyToken
<b>Piano 0</b>	875.487
<b>Piano 1</b>	1.428.677
<b>Piano 2</b>	1.097.943
<b>Totale EnergyToken</b>	<b>3.402.107</b>



**Figura 56 - EnergyToken accumulati per Proprietario, Anno 2021**

### 5.3.3 Osservazioni sui risultati ottenuti sulla strategia basata su PUN

Nell'assegnazione dei token secondo la strategia basata sul PUN, risulta penalizzata l'utenza che consuma in valore assoluto di meno nell'arco di tempo considerato, nel caso in esame dell'edificio F40 risulta essere il piano terra. In effetti i valori di transazioni registrate per il piano terra sono in tutti i casi inferiori agli altri, dovuto al fatto che il piano terra consuma di meno grazie ad una migliore gestione energetica che in questo caso d'uso non viene valorizzata. In effetti la strategia basata sul PUN, corrisponde ad un caso d'uso

specifico d’interesse per il DSO/TSO che non ha alcun interesse nella riduzione dei consumi, ma esclusivamente ad incentivare l’impiego dell’energia in determinate fasce orarie, in questo senso il segnale di prezzo può incentivare l’utente a spostare i propri consumi, ottenendo in cambio un incentivo in token energetici o direttamente monetari.

#### 5.4 Dati relativi all’autoconsumo

I dati partono dal 15 marzo 2021 e le transazioni sono state effettuate solo quando l’autoconsumo era positivo, mentre in caso di prelievo non viene fatta alcuna registrazione, in quanto sarebbe risultata negativa.

Il numero di transazioni per l’autoconsumo fino al 31 dicembre 2021 sono 13.801.

Le valutazioni statistiche relative all’autoconsumo sono solo relative ai token accumulati nel periodo aprile-dicembre 2021.

Utilizzando la vista `_2021_daily_trx_account` è stata estratta una sintesi degli EnergyToken accumulati dall’account Autoconsumo (`eth_address = "0x7C05a70A00D27A6a385F51376ef2337F20a7F793"`) mese per mese, da aprile a dicembre 2021, per un totale di 12.795 transazioni.

Di seguito la query, il risultato numerico e il grafico relativo:

```
SELECT
  MONTH(day) as Mese,
  sum(daily_token)/1000000 as ETkn
FROM
  _2021_daily_trx_account
WHERE
  eth_address = "0x7C05a70A00D27A6a385F51376ef2337F20a7F793"
GROUP BY
  MONTH(day)
ORDER BY
  MONTH(day)
```

**Tabella 9 - EnergyToken accumulati per autoconsumo**

Mese	EnergyToken
aprile	49
maggio	129
giugno	130
luglio	133
agosto	123
settembre	141
ottobre	145
novembre	75
dicembre	65
<b>Totale EnergyToken</b>	<b>990</b>

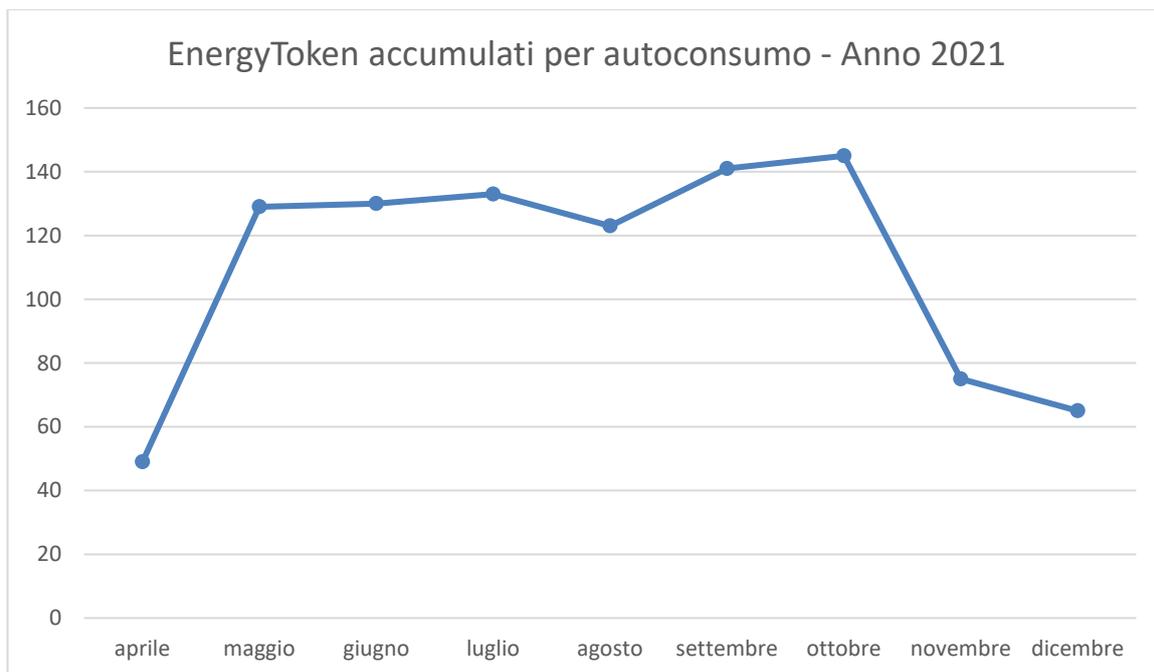


Figura 57 - EnergyToken accumulati per autoconsumo - Anno 2021

#### 5.4.1 Andamento giornaliero a campione dell'autoconsumo

In questa sezione vengono riportati alcuni esempi di sintesi giornaliera di token accumulati dall'account Autoconsumo ora per ora. Come periodo di campionamento si è presa la settimana dal 8 al 14 novembre 2021.

La query tipo utilizzata è la seguente:

```
SELECT
  hour,
  num_token
FROM
  token_by_account_hour
WHERE
  day between '2021-11-08' and '2021-11-08' AND
  eth_address = '0x7C05a70A00D27A6a385F51376ef2337F20a7F793'
ORDER BY
  hour
```

I numeri sono x 1000 e arrotondati all'intero più vicino.

Questi i risultati:

Tabella 10 - Andamento giornaliero a campione dell'autoconsumo

Ora	8-nov	9-nov	10-nov	11-nov	12-nov	13-nov	14-nov
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0,44
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0,44	0	0	0	0	0
6	0,44	0	0	0	0	0	0

7	15,07	20,68	11,22	2,2	9,13	31,02	31,35
8	133,54	222,2	169,4	49,39	89,76	293,04	258,72
9	172,81	192,5	359,37	177,43	250,47	343,64	365,64
10	231,55	260,81	444,73	385,77	431,09	415,8	382,69
11	76,01	502,37	687,06	305,03	507,98	414,7	293,37
12	67,87	575,3	660,77	370,37	587,4	391,05	177,98
13	52,03	349,36	321,31	392,37	645,48	411,4	108,68
14	67,54	208,34	238,15	232,98	574,53	371,8	111,21
15	45,54	61,49	72,6	136,62	245,85	221,21	141,35
16	20,35	9,02	5,61	75,57	133,32	72,6	43,89
17	0,44	0,88	0,88	1,76	1,76	1,32	0,44
18	0	0	0	0	0,44	0,44	0,44
19	0	0	0	0,44	0,44	0,44	0
20	0	0	0	0	0,44	0	0
21	0	0	0	0	0,44	0,44	0
22	0	0	0	0	0,44	0,44	0
23	0	0	0	0	0,44	0	0

5.4.2 Osservazioni sui risultati ottenuti sulla strategia basata su Autoconsumo.

Nell’assegnazione dei token secondo la strategia basata sull’autoconsumo si nota una perfetta corrispondenza tra il valore degli energy token e l’autoconsumo.

Si ricorda che per valutare l’energia auto consumata viene considerata ogni ora pari al minimo tra l’energia prodotta dall’impianto fotovoltaico e quella consumata dall’edificio.

In questa valutazione non si tiene al momento conto dell’apporto dovuto all’energia prodotta e immagazzinata in batteria per poter essere impiegata successivamente.

Nelle Figura 58 sono graficate le premialità in EnergyToken (x1000) della fascia oraria più significativa che va dalle 7 alle 17, per il mese di Novembre 2021 preso come esempio.

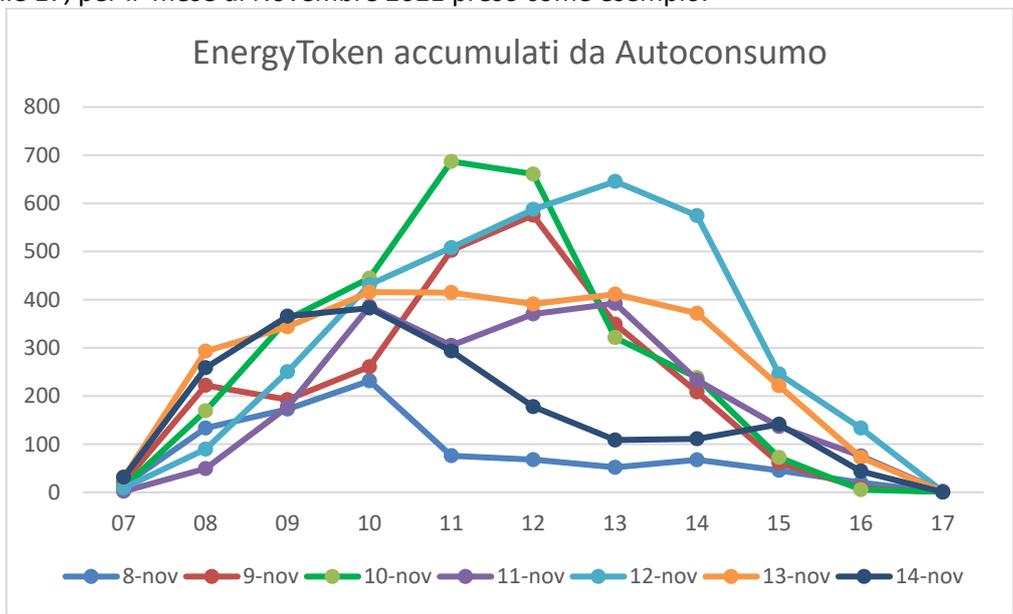


Figura 58 - EnergyToken accumulati da Autoconsumo

Se si confrontano con i dati reali come rappresentato nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, si nota come l’andamento dei token è direttamente proporzionale al valore dell’energia auto consumata dall’edificio.

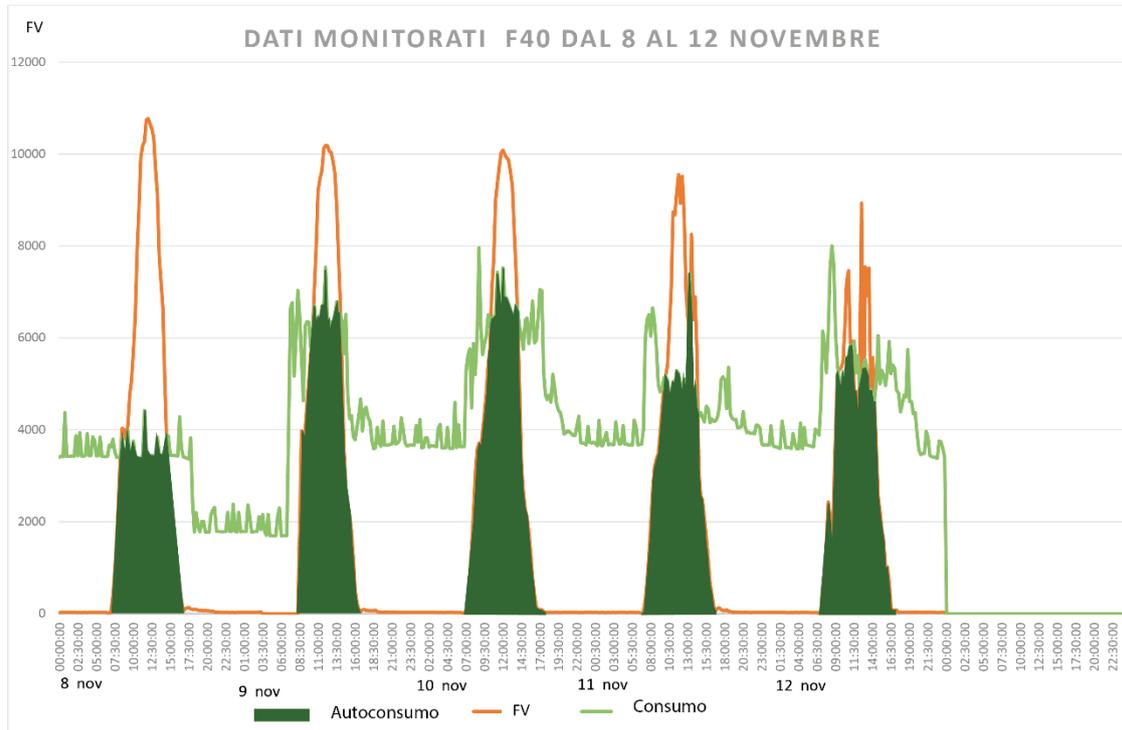


Figura 59. Valori monitorati dell'autoconsumo presso l'edificio F40 dall'8 al 12 novembre

## 5.5 Replicazione Blockchain su rete IBSI

Come partner fondatori della rete Italian Blockchain Services Infrastructure (IBSI)<sup>21</sup>, emanazione nazionale dell'europea EBSI<sup>22</sup>, si è pensato di replicare l'esperienza su tale Blockchain.

Questo ha permesso di testare il livello di interoperabilità tra le varie piattaforme, le eventuali rettifiche da apportare agli smart-contract, gli adattamenti degli script automatici di lettura dati.

IBSI è implementato tramite HyperLedger BESU<sup>23</sup> che, come Quorum, rappresenta una versione personalizzata della rete Ethereum.

Da qui la sperimentazione ha preso spunto per testare la reale compatibilità tra piattaforme diverse.

## 5.6 Predisposizione ambiente

Su IBSI si è reso necessario innanzi tutto configurare alcune utenze e qualche parametro.

IBSI è una Blockchain pubblica ma "permissioned"; questo significa che tutti possono leggere i blocchi al suo interno ma non tutti possono registrare transazioni.

Per questo motivo gli amministratori di sistema hanno creato due tipologie di utenza a nome ENEA: una come Master Account per la gestione complessiva degli account, e l'altra con lo scopo di pubblicare gli smart-contract.

Con la prima sarà in seguito possibile autonomamente creare altre utenze proprietarie di smart contract.

<sup>21</sup> IBSI, acronimo di Italian Blockchain Services Infrastructure, è un progetto sperimentale avviato nel 2021 da un raggruppamento di soggetti pubblici e a partecipazione pubblica e avente come obiettivo la creazione di una infrastruttura blockchain su cui testare nuove modalità di erogazione di servizi di pubblica utilità.

<sup>22</sup> European Blockchain Services Infrastructure, <https://ec.europa.eu/cefdigital/wiki/display/CEFDIGITAL/EBSI>

<sup>23</sup> Interfaccia client verso reti Ethereum, <https://www.hyperledger.org/use/besu>

Per ogni account ci è stato fornito l'indirizzo esadecimale e la corrispondente chiave privata, necessaria per firmare le transazioni.

### 5.6.1 Definizione variabili di ambiente

Per tenere traccia di questi account si è provveduto ad aggiungere al tool MetaMask<sup>24</sup> le informazioni relative al nuovo nodo:

**Tabella 11 - Variabili di ambiente**

Property	Value
Node name	ProsumerChain SC Owner
Network name	IBSI_ENEA
URL RPC Port	http://ibsi-node.enea.it:8545
enode	a64f1c85ad056f06ebec0e71bae2ab9287662cc16b4343efdbcf9a4801cc9e986a02c3c3c3e8f2101916414f054ad02f094fee04dcf6963c4fd7a2224fe9257b@192.107.88.211:30303
Node address	0x8a48ce05f4e558fb4c72051ca382492d52f447ee
Chain ID	2022
Simbolo	ETKN

### 5.6.2 Distributed App per gestire il master account

Una volta ottenute tutte le necessarie credenziali, è possibile gestire le proprie utenze con una specifica DApp (Distributed App) appositamente configurata per la rete IBSI.

Per visualizzare la DApp è necessario collegarsi con un browser all'URL <http://13.94.186.146:9097>

Nella prima pagina vanno inserite le credenziali del master account Enea che, per ovvi motivi di sicurezza, non vengono pubblicate in questo report.

Vi sono quattro aree, disposte su altrettante schede, che permettono di gestire i vari aspetti di amministrazione:

1. Amministrazione Smart Contract
2. Gestione dei nodi
3. Lista degli Amministratori
4. Gestione della Black List

Ogni singola utenza è contraddistinta dal suo indirizzo esadecimale.

#### 5.6.2.1 Amministrazione Smart Contract

In questa sezione è possibile indicare quali sono gli utenti che possono pubblicare Smart Contract. In questo modo si evita che chiunque possa iniettare codici più o meno malevoli all'interno della Blockchain o quanto meno sfrutti le risorse della rete per usi non autorizzati.

<sup>24</sup> Metamask è uno strumento che permette di gestire sul proprio browser, la piattaforma Ethereum e le Dapps costruite su tale piattaforma, <https://metamask.io/>

Admins Smart Contract	Nodes	Admins	Black List
<b>Admin Smart Contract (3)</b>		<a href="#">+ Add Admin Smart Contract</a>	
Account Address	Status		
0x1DE34c0c787F607532B41b4EbF6A670b4E4b7843	Active		
0x3deF0BbD9d4e7E29588a892d20a31eC16e07dEAE	Active		
0x724b041AF458fa60FEed345bC306223113889CB4D	Active		

Figura 60 - Amministrazione Smart Contract

### 5.6.2.2 Gestione dei nodi

In questa sezione è possibile gestire i nodi della rete IBSI, su quale porta rispondono e se sono attivi.

Admins Smart Contract	Nodes	Admins	Black List
<b>Nodes (21)</b>			<a href="#">+ Add Node</a>
Node ID	IP Address	Port	Status
52e745f7cf2259bb1b4ca7f3ae53bb779...	3.127.201.116	30303	Active
de79ba50c3deeaaff40ec44ed7cb416f3d...	143.225.21.22	30303	Active
52e745f7cf2259bb1b4ca7f3ae53bb779...	131.1.255.143	30303	Active

Figura 61 - Gestione dei nodi

### 5.6.2.3 Lista degli Amministratori

In questa sezione è possibile gestire gli amministratori della rete IBSI e il loro status.

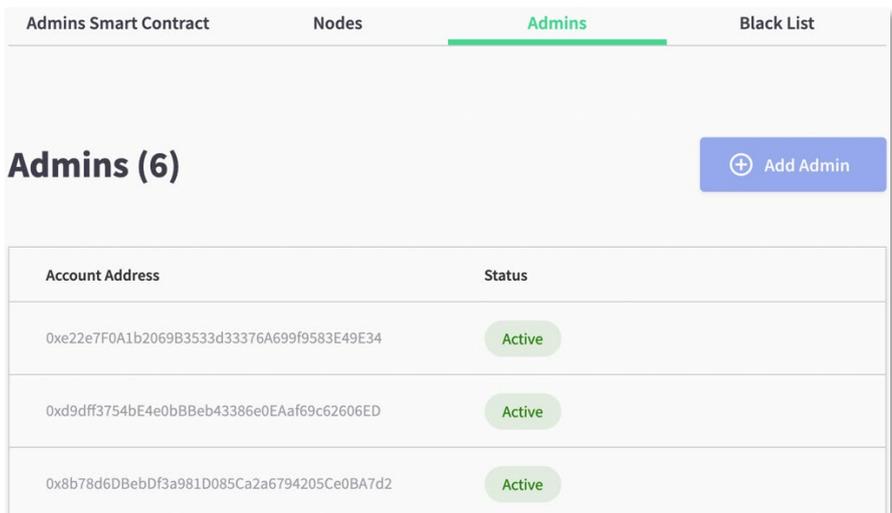


Figura 62 - Lista degli Amministratori

### 5.6.2.4 Gestione della Black List

In questa sezione è possibile indicare eventuali nodi che non hanno l'autorizzazione ad entrare in rete per eventuali problemi riscontrati. Al momento la lista è vuota.

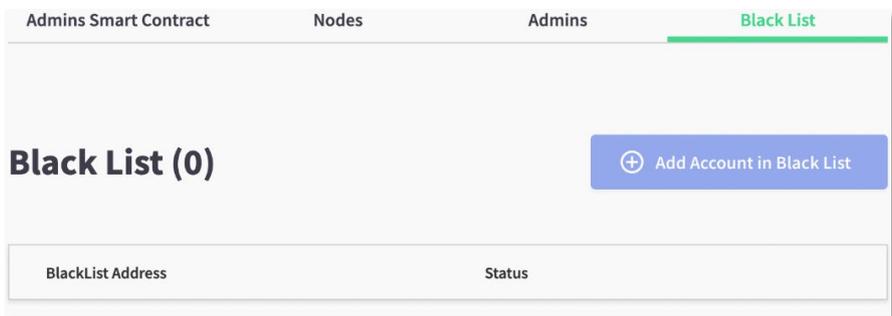


Figura 63 - Gestione della Black List

### 5.6.3 Blockchain Explorer

Per tenere sotto controllo le transazioni su IBSI è necessario collegarsi ad un apposito explorer disponibile all'indirizzo <http://13.94.186.146:3500/>.

Come da snapshot riportato nella figura seguente, è possibile ottenere molte informazioni puntuali sullo stato della rete IBSI, sui propri nodi e sulle performance in generale.

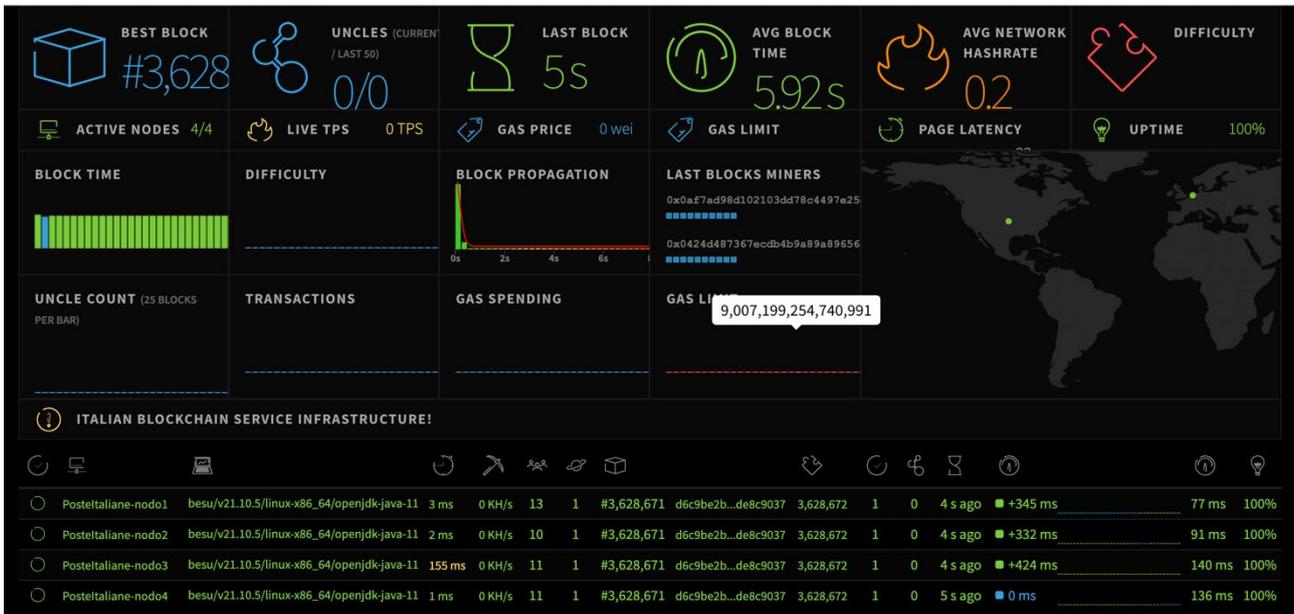


Figura 64 - Blockchain Explorer

## 5.7 Pubblicazione Smart Contract

Per poter replicare gli smart contract originali della ProsumerChain su rete IBSI si è utilizzato Remix<sup>25</sup>. Questi sono stati scritti in linguaggio Solidity.

Di seguito un'immagine del front-end di Remix on-line.

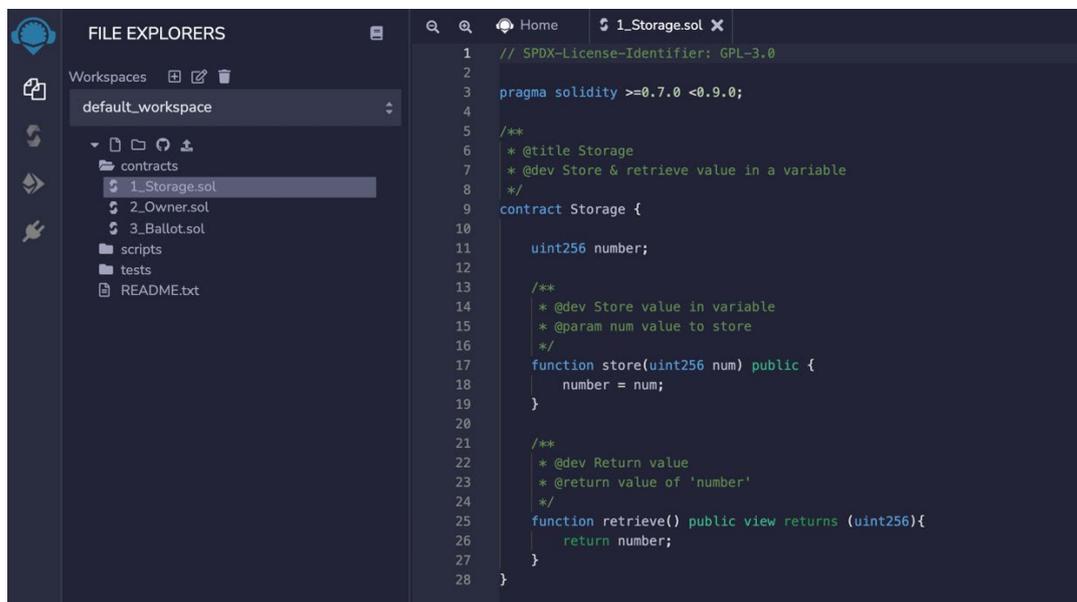


Figura 65 - Interfaccia grafica di Remix

Ogni singolo Smart Contract è stato caricato nell'ambiente di sviluppo, compilato e registrato su rete IBSI. Data l'elevata compatibilità tra le due piattaforme, Quorum e HyperLedger BESU, la pubblicazione degli smart-contract non ha dato particolari problemi.

<sup>25</sup> Remix è un tool web che permette la gestione di Smart Contract su reti di tipo Ethereum, <https://remix.ethereum.org/>

Lo smart contract che realizza la “tesoreria” dell’applicazione, EnergyToken, è stato inizializzato con i seguenti parametri:

Property	Value
Initial supply	1.000.000.000
Name	EnergyToken
Symbol	ETKN

**Tabella 12 - Valori di inizializzazione EnergyToken**

Ad ogni smart contract è stato assegnato un indirizzo esadecimale ovviamente diverso da quello presente sulla Blockchain ENEA.

### 5.8 *Replicazione automatismi di registrazione dati*

Tutti gli script realizzati in JavaScript per l’applicazione originale sono stati duplicati in un’apposita cartella sul server *prosumerchain.enea.it*.

Tali programmi fanno ampio utilizzo di librerie *nodes.js* per l’acquisizione dei dati e integrano la libreria *web3js* per l’interfacciamento alle reti di tipo Ethereum.

I file di configurazione dell’applicazione sono stati adattati ai nuovi indirizzi di rete e ai nuovi indirizzi degli smart contract.

Per tutto quanto sopra descritto si è trovato un ottimo livello di compatibilità.

Si sono tuttavia verificati almeno un paio di situazioni per le quali si è dovuti ricorrere ad una personalizzazione dell’interfacciamento alla Blockchain: la necessità di firmare con chiave privata le transazioni che si intende registrare e il formato della ricevuta di ritorno.

La rete Quorum installata in ENEA non è stata configurata per la firma delle transazioni; al contrario IBSI, essendo una rete aperta al pubblico, deve necessariamente cautelarsi dall’eventualità che dall’esterno provengano transazioni non ammesse, o formalmente scorrette. Quindi quello che si invia a IBSI non è una transazione in chiaro bensì il ritorno di un’operazione di firma e cifratura dei dati da mettere in-chain. Questa operazione comporta un’ulteriore gestione degli eventi asincroni che si è dovuta inserire nelle procedure di acquisizione dati, con la conseguente perdita di performance su ogni singola operazione.

Inoltre, la ricevuta di ritorno di IBSI è di formato diverso da quanto restituito da Quorum, mancano alcune informazioni che devono essere decifrate con un’apposita funzionalità; anche in questo caso si ha un appesantimento delle performance del sistema.

Dal giorno di inizio esercizio ad oggi sono state effettuate circa 83.000 transazioni su rete IBSI.

## 6 Serramenti smart

Questa attività ha come obiettivo la quantificazione dei benefici a livello energetico, termico e di comfort per gli utenti derivante dall'applicazione di sistemi trasparenti innovativi e dinamici, la cui gestione è integrata nel sistema di smart energy management dell'edificio F40 del Centro Ricerche Casaccia di ENEA. I risultati, parte della presente linea di attività, fanno riferimento a quanto conseguito nell'annualità e alle azioni poste in essere per successivi sviluppi. Si ricorda che l'attività riguarda sette uffici posti sul fronte ovest dell'edificio sopra indicato:

- Le stanze 1 e 2 (104 e 105 codice ENEA) sono equipaggiate con serramenti smart con doppio vetro innovativo e lamelle in intercapedine
- Le stanze 3 e 4 (104 e 105 codice ENEA) sono equipaggiate con serramenti smart con triplo vetro innovativo e lamelle in intercapedine tra vetro esterno e vetro intermedio
- Le stanze 5, 6 e 7 (106, 107 e 108 codice ENEA) sono equipaggiate con i doppi vetri convenzionali installati al momento della costruzione dell'edificio

Per individuare gli ambiente suddetti si faccia riferimento a Figura 66.

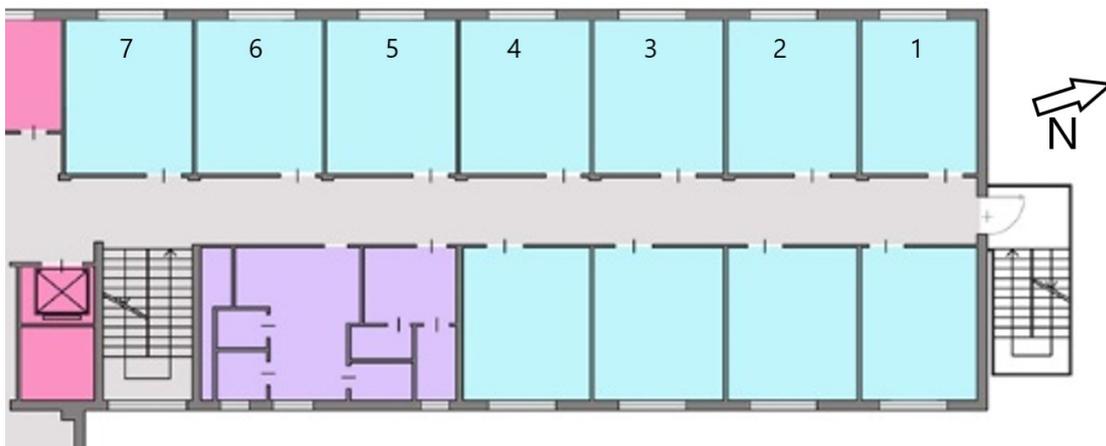


Figura 66- Layout della porzione di F40 interessata alle attività di smart windows



Figura 67- Vista dell'edificio F40 dopo l'installazione dei condizionatori negli uffici monitorati

## 6.1 Integrazioni di condizionatori a pompa di calore nel sistema di controllo dell'edificio

L'uso di energia per riscaldamento/raffrescamento è uno degli indicatori principali per valutare l'efficacia di un sistema innovativo integrato in un edificio, in funzione di diverse strategie di controllo e gestione degli elementi dinamici del serramento stesso. Nel corso delle precedenti annualità sono state implementate diverse soluzioni per determinare l'uso termico a livello di singolo ufficio, misurando temperature di mandata e ritorno, nonché portata dell'acqua nel fan-coil ambiente. La misura della temperatura non ha presentato particolari difficoltà, ben diverso è stato il tentativo di misura della portata idronica locale. In particolare, la misura è stata effettuata nei seguenti modi:

- Svasamento dell'acqua in recipiente graduato e tempo misurato.
- Misura con strumento a ultrasuoni.
- Misura con strumento massico Coriolis

I vari tentativi sono stati infruttuosi a causa dello stato altamente deteriorato delle tubazioni, vecchie di oltre 35 anni. La sporcizia presente all'interno delle tubazioni, a partire da distacchi all'interno delle tubazioni stesse, ha causato valori molto variabili anche nei tempi brevi di misura, nonostante l'alimentazione del circuito fosse a portata costante. I lavaggi del circuito ad opera dei manutentori dell'impianto non hanno portato al miglioramento della prestazione. La strada intrapresa è stata così abbandonata, in favore di una soluzione alternativa: il distacco delle sette stanze oggetto di studio dall'impianto centralizzato, equipaggiandole, ciascuna, con un condizionatore a pompa di calore ad espansione diretta. Figura 67 riporta una vista dell'edificio dopo l'installazione dei condizionatori. Questi ultimi sono dei monosplit in modo da poter misurare l'energia utilizzata in ciascuna stanza, e poter così comparare la risposta energetica in funzione della tipologia di serramento e di strategia di controllo.



Figura 68- Condizionatore a pompa di calore installato

Obiettivo del lavoro è stata l'installazione di macchine con sistemi di comunicazione a bordo, in modo da integrarli col sistema di gestione dell'edificio. Sulla base di una ricerca di mercato che tenesse conto dei vincoli dimensionali degli ambienti e le funzioni richieste, sono stati selezionate delle macchine Mitsubishi, modello mfz-kt25; le principali specifiche sono di seguito elencate:

Potenza in raffreddamento	2.5 kW
Potenza in riscaldamento	3.4 kW
Assorbimento elettrico in raffreddamento	7 W
Assorbimento elettrico in riscaldamento	7 W
Classe di efficienza energetica in raffreddamento	a++
Classe di efficienza energetica in riscaldamento	a+
Portata d'aria	7 m <sup>3</sup> /h

Installazione	pavimento
Lunghezza	750 mm
Profondità	215 mm
Altezza	600 mm

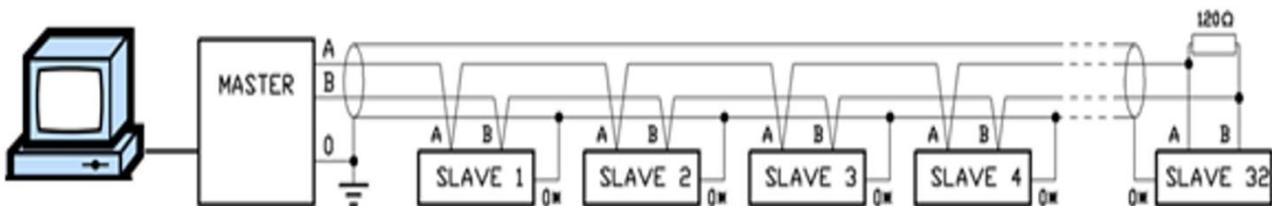
Le caratteristiche di design della macchina scelta possono essere evinte dalle immagini in Figura 68, che riportano la vista quotata frontale, laterale e dall'alto.

I condizionatori sono stati quindi equipaggiati con la scheda di comunicazioni Procon A1N, della quale si riportano immagini esemplificative in Figura 69.



**Figura 69- Immagine e dettaglio costruttivo della scheda di comunicazione installata**

A valle dell'installazione, è stata eseguita le opere (quadro di zona, interruttori, cablaggio), necessarie a causa dell'aumentato carico elettrico nell'edificio, ed in particolare al primo piano. Sono stati inoltre eseguiti i cablaggi per la comunicazione tra i terminali e la centralina di controllo, in particolare è stata realizzata linea bus con cavo twistato schermato 2 poli stesa fino al rack di rete posto in fondo al corridoio del primo piano; la linea di comunicazione è del tipo a catena evitando configurazioni a stella e limitando le derivazioni a pochi metri vedi Figura 70. Sull'ultimo slave della catena (condizionatore della stanza 1 o Slave 32 in Figura 70) è stata inserita in parallelo una resistenza di terminazione (valore tipico 120Ω). La scheda di controllo impianto in funzioni di interfaccia modbus e rete lan tcp-ip è stata posizionata nel rack dati del corridoio piano, la centralina è dotata di suo alimentatore a spina 230v-5vdc ed ha un collegamento lan rj45 con indirizzo ip fisso dedicato.



**Figura 70- Schema di collegamento del sistema di comunicazione e controllo dei condizionatori**

Nella fase successiva è stato sviluppato il sistema di controllo e la sua integrazione nello smart management system dell'edificio. Ogni singolo condizionatore può essere gestito remotamente dal sistema (oltre che localmente con telecomando), le seguenti variabili e funzioni sono controllabili e programmabili:

- Programmazione annuale
- Gestione cambio di stagione
- Occupazione ufficio settimanale ed orario
- Scenari complessi di varia natura

- Combinazione con altri sensori, tipo sensori, meteo, presenza, etc..
- Ufficio numero,
- Temperatura rilevata
- Set point temperatura,
- Velocità del ventilatore

Inoltre sono stati installati dei dispositivi atti a misurare il consumo energetico dei condizionatori.

Questa installazione consentirà di approfondire il tema dell'impatto di serramenti dinamici sulle prestazioni energetiche degli edifici, ampliando gli studi iniziali, effettuati sull'edificio in libera fluttuazione termica e quindi focalizzati sugli aspetti del comfort termico, come discussi nella sezione successiva 7.2.

## 6.2 Analisi in campo

Parallelamente all'upgrade impiantistico dell'edificio, sono state condotte delle analisi termiche in regime di libera fluttuazione termica durante l'estate 2021. Obiettivo di tali analisi era il confronto tra gli uffici con serramenti convenzionali e quelli con serramenti innovativi, inoltre, in questi ultimi sono state implementate diverse strategie di controllo al fine di verificare sia la robustezza dello smart energy system nella gestione dinamica dei serramenti, sia gli impatti del controllo medesimo sull'evoluzione del microclima indoor. Questa attività va ad integrare e completare le misure condotte nella linea di attività LA.13 del presente Piano Triennale di RSE, introducendo ulteriori controlli sulla gestione dei serramenti e uniformando le modalità di occupazione degli ambienti, che sono sempre vuoti durante il periodo di sperimentazione.

Si riporta, anche in questo report, la descrizione dei serramenti per completezza di informazione: *Sono stati forniti 4 serramenti per quattro ambienti posti al primo piano dell'edificio F40, tutti con orientamento ovest. In due stanze (numero 104 e 105 dell'edificio) sono stati installati vetro-camera doppio (DGU) con rivestimento basso emissivo selettivo in faccia 2 e schermature di color alluminio in intercapedine; nelle altre due stanze (numero 106 e 107 dell'edificio) sono stati installati tripli vetri (TGU) con rivestimento a filtro solare (faccia 2) e basso emissivo (faccia 5), e tende di colore bianco. Gli altri uffici hanno installata una finestra in alluminio a taglio non termico, con un vetro camera convenzionale (4-9-4mm) e due tipi di schermatura: una tenda esterna a rullo di colore marrone scuro per la protezione solare e una veneziana interna di colore intermedio essenzialmente per il controllo della luce naturale (numeri 108, 109 e 110). I serramenti innovativi sono gestiti in modo automatizzato, quelli esistenti sono gestiti manualmente dagli utenti.* (da Report LA.13)

Facendo riferimento allo schema di Figura 66, le temperature ambiente dei seguenti ambienti sono state monitorate utilizzando i termostati ambiente (ove disponibili) o termo igrometri portatili posizionati all'uso:

1. Ufficio 1 (ex 104)
2. Ufficio 2 (ex 105)
3. Ufficio 3 (ex 106)
4. Ufficio 4 (ex 107)
5. Ufficio 5 (ex 108)
6. Ufficio 6 (ex 109)
7. Ufficio 7 (ex 110)
8. Corridoio
9. Uffici corrispondenti al piano 2 (superiore)
10. Uffici corrispondenti al terra 2 (inferiore)

Va tuttavia notato che l'ufficio 6 è stato scartato dall'analisi, in quanto climatizzato durante il periodo di sperimentazione, perché giornalmente occupato da personale ENEA. Sono state inoltre misurate i seguenti parametri outdoor, con sensori installati sull'edificio medesimo:

- Temperatura dell'aria (°C)
- Radiazione solare globale su piano orizzontale (W/m<sup>2</sup>).

Non sono stati acquisiti altri dati microclimatici locali, in quanto non necessari per le analisi da eseguire. Come infatti descritto nel report relativo alla linea di attività LA.13 del presente Piano Triennale di RSE, il

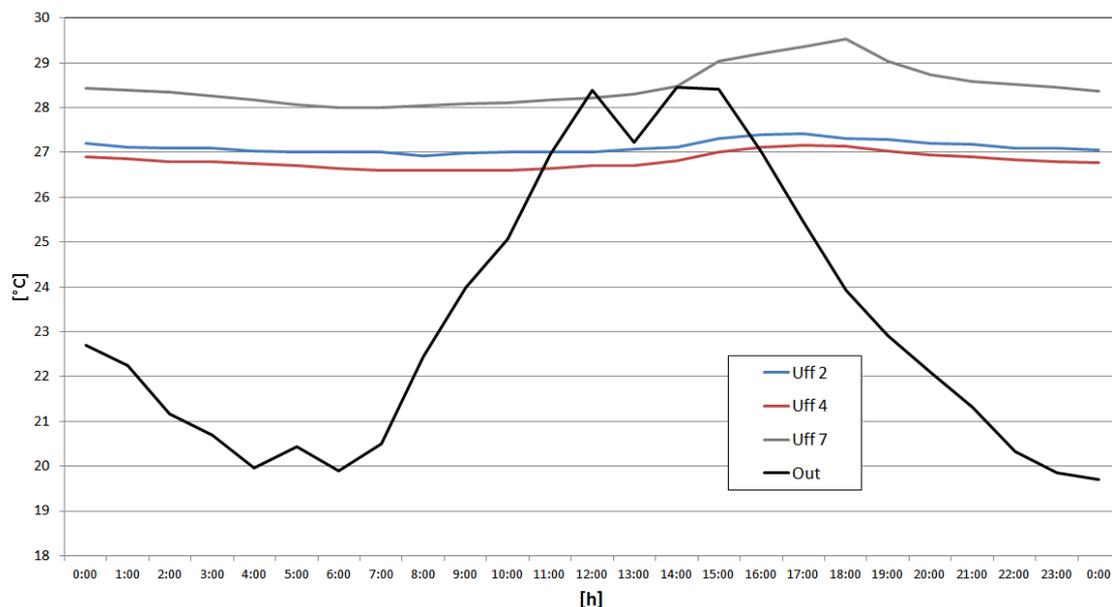
parametro principale per valutare la qualità termica degli ambienti in libera fluttuazione termica è la temperatura operativa, che per gli uffici oggetto dello studio può essere sostituita dalla temperatura dell'aria con ottima approssimazione.

Un primo set di risultati fa riferimento ai giorni dal 23 a 30 agosto (8 in totale), durante i quali:

- I serramenti innovativi hanno lavorato in modo statico, come serramenti convenzionali (tende alzate e ante chiuse)
- La finestra in stanza 6 aveva la veneziana interna abbassata coprendo circa il 60% della superficie vetrata durante tutto il periodo.
- La finestra in stanza 7 aveva la tenda esterna abbassata coprendo circa il 60% della superficie vetrata durante tutto il periodo.

Le ultime due configurazioni sono state introdotte per tener conto delle preferenze degli utenti dell'edificio per il controllo solare e l'abbagliamento. Sempre dall'analisi del comportamento dell'utenza, la configurazione scelta non cambia in funzione all'evoluzione delle condizioni climatiche giornaliere ma tende a rimanere inalterata nel tempo.

Questo monitoraggio è stato condotto per raccogliere dati in campo che possano essere utilizzate in futuro per calibrare modelli numerici dell'edificio. È comunque interessante osservare il diverso comportamento termico degli ambienti con serramenti che si comportano in maniera statica. Figura 71 riporta l'andamento della temperatura dell'aria in tre uffici e all'esterno durante la giornata del 26 agosto 2021. La giornata non è stata particolarmente calda, con picco diurno intorno a 28.5°C e valore minimo poco al di sotto di 20°C. L'ufficio 7, con tenda interna parzialmente abbassata, ha un picco di un grado superiore rispetto al valore esterno ed un minimo introno ai 28° nelle ore mattutine. Gli uffici 2 (vetrata doppia) e 4 (vetrata tripla) hanno andamento simile, col secondo circa 0.5°C più caldo del primo. Si noti che l'oscillazione termica in questi due uffici è quasi inesistente, essendo i rispettivi valori minimi e massimi compresi in circa 0.5°C. Su base giornaliera le finestre innovative garantiscono una temperatura interna circa 1.5°C più bassa rispetto alla finestra convenzionale, grazie essenzialmente a un basso fattore solare che limita gli apporti solari nelle ore pomeridiane – si osservi a riguardo l'innalzamento della curva grigia in tale periodo.



**Figura 71- Andamento delle temperature indoor e outdoor durante il 26 agosto**

I principali risultati ottenuti negli otto giorni di monitoraggio sono condensati in Tabella 13, che riporta per ogni parametro il dato di temperatura medio giornaliero; il valore massimo, medio e minimo su base oraria e per l'intero periodo; il numero di ore in cui la temperatura indoor supera determinati valori di riferimento.

**Tabella 13. Andamento delle temperature giornaliere e altri parametri con serramenti “statici”**

Parametro	T_U1	T_U2	T_U3	T_U4	T_U6	T_U7	T_out
T giorn. 23/8/21 [°C]	28.0	27.9	27.9	27.6	28.7	30.1	24.8
T giorn. 24/8/21 [°C]	28.0	27.9	28.2	27.6	28.4	29.6	23.1
T giorn. 25/8/21 [°C]	27.5	27.4	27.5	27.0	27.6	28.7	23.8
T giorn. 26/8/21 [°C]	27.2	27.1	27.3	26.8	27.1	28.5	23.3
T giorn. 27/8/21 [°C]	27.1	27.0	27.2	26.8	27.1	28.5	23.1
T giorn. 28/8/21 [°C]	26.8	26.8	26.9	26.8	27.1	28.5	21.6
T giorn. 29/8/21 [°C]	26.2	26.2	26.4	26.2	26.3	27.9	21.5
T giorn. 30/8/21 [°C]	26.0	24.6	26.2	25.8	26.2	27.4	21.1
T media [°C]	27.1	26.9	27.2	26.8	27.3	28.6	22.8
T max [°C]	28.5	28.4	28.5	28.1	29.3	31.0	24.8
T min [°C]	25.0	23.5	25.8	25.0	25.7	26.8	21.1
ore T>28°C (h)	22	21	35	2	47	150	-
ore T>29°C (h)	0	0	0	0	4	60	-
ore T>30°C (h)	0	0	0	0	0	12	-

Dall’analisi emergono alcuni elementi di sicuro interesse:

- Le stanze con serramenti innovativi presentano profili termici simili, con temperature medie comprese tra 26.8 e 27.2°C. Da notare che le differenze tra gli uffici 1 e 2, con vetrate doppie, sono molto ridotte 0.2°C circa, nonostante la prima stanza abbia una parete in più esposta verso l’esterno (fronte nord). La differenza è maggiore nelle stanze con vetrate triple, cosa che potrebbe dipendere dal fatto che la stanza 4 ha una parete in comune con la stanza 5, climatizzata per tutto il periodo e con temperature di circa 24°C. I valori massimi sono anch’essi ravvicinati, essendo 0.4°C la massima differenza riscontrata; il trend cambia solo per i valori minimi, a causa della stanza 2 che registra un valore (3.5°C), oltre 1.5°C inferiore rispetto al valore medio dei minimi misurato negli altri tre uffici. È infine interessante notare che la temperatura è sempre inferiore a 28.5°C negli uffici da 1 a 4. Il monitoraggio infine non evidenzia differenze significative in termini di performance tra i due tipi di componente vetrato; il comportamento è spiegabile da valori di fattore solare molto vicini (0.36 per la vetrata doppia, 0.33 per la tripla), le temperature leggermente più elevate nelle stanze con vetrata tripla sono giustificate dal maggiore isolamento termico di queste ultime rispetto alla doppia, 0.5 e 1.1 W/m<sup>2</sup>K rispettivamente, che limitano maggiormente le dispersioni termiche verso l’esterno nella fase notturna.
- La stanza 6 è ben protetta dallo schermo esterno, tuttavia la sua temperatura media è più alta di 0.3°C rispetto alle finestre innovative; inoltre, pur registrando valori minimi all’interno del range definito da queste ultime, il picco massimo risulta più elevato mediamente di un grado centigrado. Questo ambiente ha un numero di ore con temperature superiori a 28°C mediamente doppio rispetto agli uffici con serramenti nuovi e in quattro ore la temperatura supera i 29°C. In definitiva, i dati evidenziano che serramenti statici, con controllo solare, hanno prestazioni termiche comunque superiori rispetto a serramenti convenzionali accoppiati a schermature solari esterne.
- Ben diversa è la comparazione verso la stanza sette, che ha un sistema di protezione solare interno. La temperatura media sul periodo è qui più elevata di 1.6°C rispetto alla media delle quattro stanze con le nuove finestre, con un picco di 1.8°C rispetto alla stanza 4. La temperatura indoor si mantiene oltre 28°C per il 78% del periodo monitorato, contro un 10% registrato nelle stanze con nuovi serramenti; inoltre le ore con temperature superiori a 29°C rappresentano il 30% del totale e in 12 casi si superano 30°C. Il valore massimo di temperatura è di 1.5-1.9°C più elevato di quello registrato negli uffici riqualificati, mentre l’incremento sul valore minimo è nel range 1.0-1.8°C. In definitiva, i risultati evidenziano il miglioramento della risposta termica degli ambienti con

serramenti ad elevate prestazioni rispetto a soluzioni obsolete (vetrate poco performanti e schermatura solare interna).

Il periodo precedente, che va dal 12 al 22 agosto, è stato dedicato al monitoraggio ambientale, implementando diverse strategie di controllo dei serramenti e comparando le prestazioni con quelle monitorate negli uffici 6 e 7, aventi i serramenti con la medesima configurazione descritta precedentemente in questa sezione. Le regole sono di seguito elencate:

- Ufficio 1
 

Apertura finestra	no
Chiusura finestra	si
Attivazione schermatura solare	$H > 150 \text{ W/m}^2$
Disattivazione schermatura solare	$H < 100 \text{ W/m}^2$
- Ufficio 2
 

Apertura finestra	21.00
Chiusura finestra	8.00 (del giorno successivo)
Attivazione schermatura solare	14.00
Disattivazione schermatura solare	20.00
- Ufficio 3
 

Apertura finestra	$(T_{in}-T_{out}) > 3^{\circ}\text{C}$
Chiusura finestra	$(T_{in}-T_{out}) < 2^{\circ}\text{C}$
Attivazione schermatura solare	$H > 150 \text{ W/m}^2$
Disattivazione schermatura solare	$H < 100 \text{ W/m}^2$
- Ufficio 4
 

Apertura finestra	$(T_{in}-T_{out}) > 3^{\circ}\text{C}$
Chiusura finestra	$(T_{in}-T_{out}) < 2^{\circ}\text{C}$
Attivazione schermatura solare	no
Disattivazione schermatura solare	si

Essendo:

$H$  irradiazione globale sul piano orizzontale,  $T_{in}$  la temperatura dell'aria interna,  $T_{out}$  la temperatura dell'aria esterna.

Nella stanza 1 è stato valutato il solo impatto delle schermature solari e nella stanza 4 il solo impatto della ventilazione naturale, utilizzando in entrambi i casi un parametro fisico per l'attivazione del controllo. Nell'ufficio 1, la schermatura nell'intercapedine del vetro piano si attiva con valori della radiazione solare superiori a  $150 \text{ W/m}^2$ , che avviene generalmente nelle ore mattutine delle giornate soleggiate, e si disattiva con valori inferiori a  $100 \text{ W/m}^2$ , tipicamente in prossimità del tramonto; è inserita quindi un'isteresi di  $50 \text{ W/m}^2$  per evitare fluttuazioni nel controllo, soprattutto nelle giornate con cielo variabile. Nella stanza 4 la ventilazione è attivata quando la temperatura interna supera di  $3^{\circ}\text{C}$  quella esterna, la finestra si chiude quando tale differenza diventa inferiore a  $2^{\circ}\text{C}$ , garantendo quindi che l'aria in ingresso mitighi efficacemente quella indoor. Nell'ufficio 3 sono applicate entrambe le strategie di controllo, per avere informazioni sul potenziale di raffrescamento di entrambe le tecnologie. Nella stanza 2 sono di nuovo applicate entrambe le soluzioni, ma l'attivazione è determinata non più da parametri fisici ma da una semplice programmazione temporale, la quale tiene conto dell'esposizione per il controllo solare e delle ore notturne per la ventilazione.

A titolo esemplificativo si riporta in Figura 72 la relazione grafica tra i parametri fisici e lo stato dei serramenti secondo le strategie di controllo inserite per l'ufficio 3. Si può notare che la chiusura degli schermi avviene sempre entro le nove del mattino in giornate con radiazione solare che arriva a un picco compreso tra  $700$  e  $800 \text{ W/m}^2$ . Le schermature si disattivano intorno alle 18.00, che corrisponde alle 19.00 nel caso dell'ora legale. Si noti anche come, trattandosi di giornate con temperatura notturna piuttosto elevata, la ventilazione notturna è assicurata per un numero limitato di ore (6), mentre in giornate più fresche si sono registrate fino a 10 ore di ventilazione naturale.

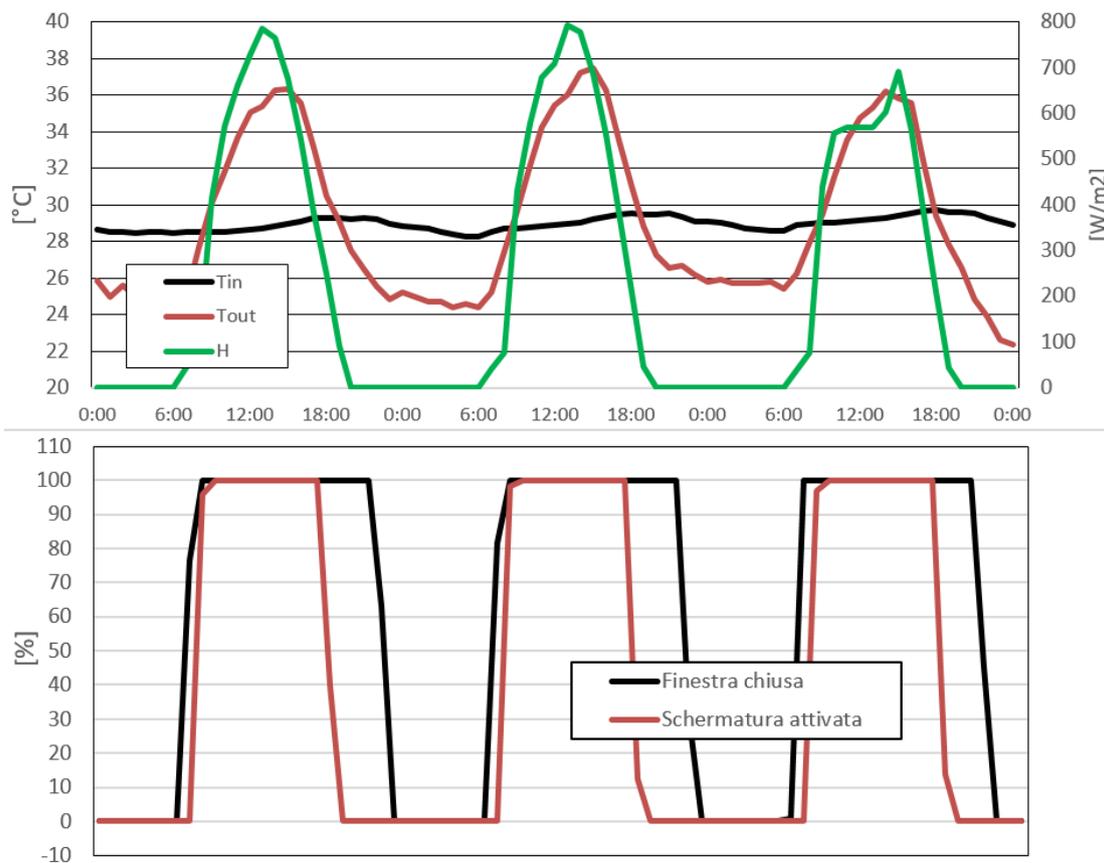


Figura 72- Profilo dei parametri fisici e dello stato di controllo dei serramenti in ufficio 3 nei giorni 13-15 agosto

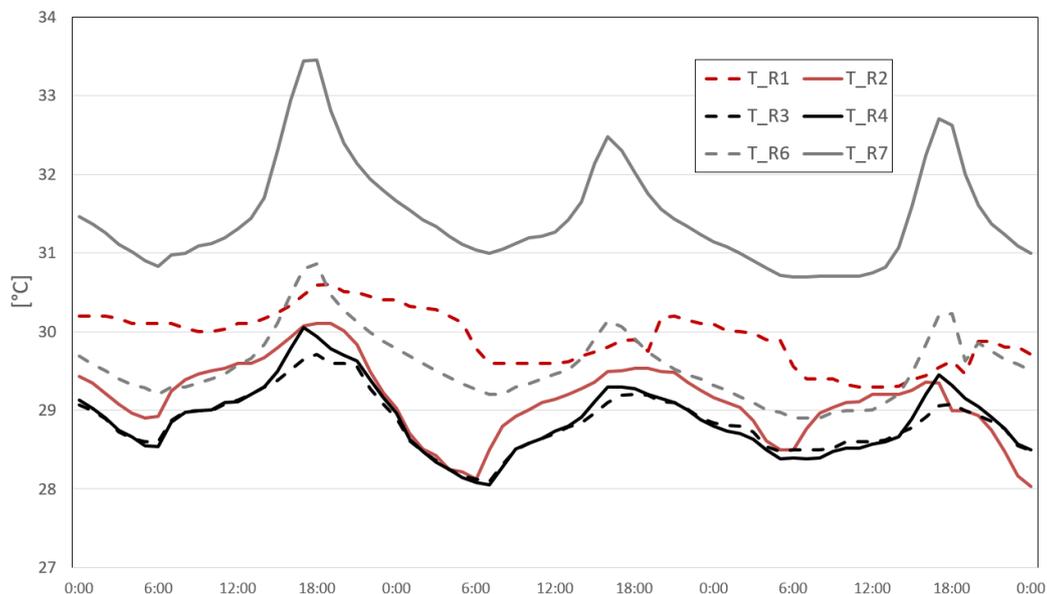


Figura 73- Profilo delle temperature nei sei uffici nei giorni 15-17 agosto

Figura 73 riporta l'andamento delle temperature indoor nelle sei stanze in tre giorni di agosto, i diagrammi hanno il medesimo colore per stanze con serramenti uguali. La stanza 7 con solo schermi interni ha un profilo termico decisamente superiore rispetto alle altre. La stanza 6 con schermatura esterna ha prestazioni decisamente migliori, mediamente allineate con la stanza 1 che ha vetrata doppia con schermatura in intercapedine attivata; differenze si notano nei picchi giornalieri, più bassi in 1 per via della

copertura totale dello schermo ma l'elevato isolamento termico di quest'ultima causa un profilo di temperature più alto di notte per il mancato raffreddamento radiativo. Decisamente più efficace è l'effetto della ventilazione nelle stanze 2, 3 e 4. Si noti, comparando 2 e 3, che la gestione dei serramenti in base a parametri fisici è più efficace di quella ad orari prefissati, potendo attivare le funzioni dei serramenti smart secondo le dinamiche delle forzanti ambientali, interne ed esterne. È infine interessante notare, comparando 3 e 4, che il contributo delle veneziane in intercapedine è modesto (circa 0.5°C sui picchi giornalieri), questo a causa dell'esposizione ovest-nord/ovest della facciata, moderatamente stressata dalla radiazione solare, e del basso fattore solare delle vetrate, che provvede a tagliare significativamente gli apporti solare anche senza l'attivazione delle veneziane in intercapedine

Tabella 14 riporta i dati di temperatura media giornaliera, medi, minimi e massimi sul periodo nelle sei stanze monitorate, nonché il valore di temperatura outdoor. Primo dato è la differenza delle schermature dei serramenti originali (U6 e 7): la stanza con veneziane interne segna una media (30.9°C) superiore di ben 1.7°C rispetto alla stanza on schermature esterne. Quest'ultima ha prestazioni di fatto identiche all'ufficio 1, che ha vetrate innovative con la schermatura attivata in base alla radiazione solare. Il fenomeno è spiegabile dal carico solare moderato che agisce sulla facciata a causa dell'orientamento di quest'ultima, come già evidenziato precedentemente. I valori minimi sono di fatto identici in queste due stanze, mentre il massimo di U1 è inferiore di 0.3°C rispetto alla stanza 7. L'effetto della ventilazione notturna introduce benefici significativi con riduzione di 2.5°C mediamente negli uffici 2, 3 e 4 rispetto al 7, quello con schermatura interna; stesse differenze sono riscontrate sui valori minimi, mentre sui picchi la riduzione supera i 3.5°C. L'abbassamento medio rispetto alla stanza 6 è di circa 0.8°C, grazie all'effetto dello schermo esterno di quest'ultima; le riduzioni sui valori minimi e massimi sono leggermente superiori a 1°C. La distribuzione cumulata sintetizzata in Tabella 14 evidenzia come l'effetto della ventilazione notturna azzeri il numero di ore con temperature superiori a 30°C, mentre le ore con temperature superiori a 29°C sono all'incirca il 20% dell'intero periodo. La sola schermatura solare integrata nel vetro con serramenti avanzati provoca temperature indoor superiori a 30°C nel 15% del periodo, valori allineati con quelli dell'ufficio 6. Notevole è il miglioramento del comfort termico confrontato con l'ufficio 7, nel quale si registrano temperature superiori a 30°C per il 38% del periodo e per il 10% addirittura a 32°C.

**Tabella 14. Andamento delle temperature giornaliere e altri parametri con serramenti con controllo dinamico**

Parametro	T_U1	T_U2	T_U3	T_U4	T_U6	T_U7	T_out
T giorn. 12/8 [°C]	28.9	28.6	28.5	28.1	28.7	30.5	29.8
T giorn. 13/8 [°C]	29.3	28.8	28.8	28.6	29.2	31.0	29.1
T giorn. 14/8 [°C]	30.0	29.3	28.9	29.0	29.5	31.4	29.3
T giorn. 15/8 [°C]	30.2	29.5	29.1	29.2	29.8	31.7	28.8
T giorn. 16/8 [°C]	29.9	29.0	28.7	28.7	29.5	31.5	26.2
T giorn. 17/8 [°C]	29.6	28.9	28.7	28.7	29.3	31.2	25.9
T giorn. 18/8 [°C]	29.4	28.2	28.3	28.1	29.4	30.8	25.1
T giorn. 19/8 [°C]	28.7	28.2	28.1	27.6	29.1	30.4	24.6
T giorn. 20/8 [°C]	28.5	27.9	27.9	27.5	28.9	30.3	25.0
T giorn. 21/8 [°C]	28.6	27.8	27.8	27.7	28.9	30.3	25.6
T giorn. 22/8 [°C]	28.5	27.7	27.8	27.7	28.9	30.3	25.5
T media [°C]	29.2	28.5	28.4	28.3	29.2	30.9	26.8
T min [°C]	28.2	26.8	27.2	26.7	28.1	29.3	20.3
T max [°C]	30.6	30.1	29.7	30.1	30.9	33.5	37.5
T>29°C (h)	143	74	40	47	160	265	-
T>30°C (h)	42	4	0	1	18	216	-
T>31°C (h)	0	0	0	0	0	105	-
T>32°C (h)	0	0	0	0	0	26	-

L'analisi sul campo ha evidenziato le potenzialità di serramenti innovativi con elementi dinamici, gestiti da sistemi intelligenti per gli edifici. Il potenziale di miglioramento del comfort termico è stato misurato comparando le soluzioni innovative con quelle tradizionali, anche se i risultati sono rimasti vincolati a due aspetti non favorevoli: i) l'orientamento ovest-nord/ovest penalizza il potenziale delle schermature solari, per la quantità di irradiazione solare sulla facciata dell'edificio, specialmente in agosto avanzato; ii) le temperature esterne molto elevate (anche in ore) notturne che influiscono sul potenziale di raffrescamento, che sfrutta soprattutto il drop termico nelle ore serali e notturno. Si noti che l'effetto delle schermature solari esterne offre buone prestazioni anche per i vecchi serramenti (ufficio 6), tuttavia questo tipo di soluzione causa bassi livelli di illuminamento ambiente durante le ore mattutine fino al pomeriggio, e non è in grado di rispondere alla dinamicità del microclima esterno, anche a causa della scarsa interazione tra l'utente e le features dell'edificio da attivare manualmente.

L'installazione di condizionatori è, infine, la premessa per ulteriori analisi finalizzate alla prestazione energetica estiva e invernale, e al raffrescamento passivo nelle stagioni intermedie, che potrebbero essere approfondite nel prossimo Piano Triennale di RdS.

### 6.3 Analisi numeriche

Questa attività è stata condotta per poter condurre studi futuri generalizzati su base stagionale, sulla base di modelli calibrati sulla base dei risultati ottenuti durante la fase di monitoraggio. La procedura adottata è stata la seguente:

- Implementazione di un modello numerico basato sulla calibrazione del medesimo rispetto alle misure in campo
- Sviluppo di un modello avente i serramenti come varianti, in particolare sono condotte simulazioni del caso base, ossia con serramenti del tipo in uffici 6 e 7, e serramenti con doppio vetro e schermatura in intercapedine, del tipo in uffici 1 e 2.
- Simulazioni per la stagione estiva, calcolando l'energia netta per raffrescamento (sensibile e latente) con set-point: temperatura dell'aria 26°C e umidità relativa dell'aria 55%, per diverse configurazioni di utilizzo.

La calibrazione del modello è stata effettuata sulla base di un monitoraggio durato negli ambienti interessanti nelle seguenti condizioni:

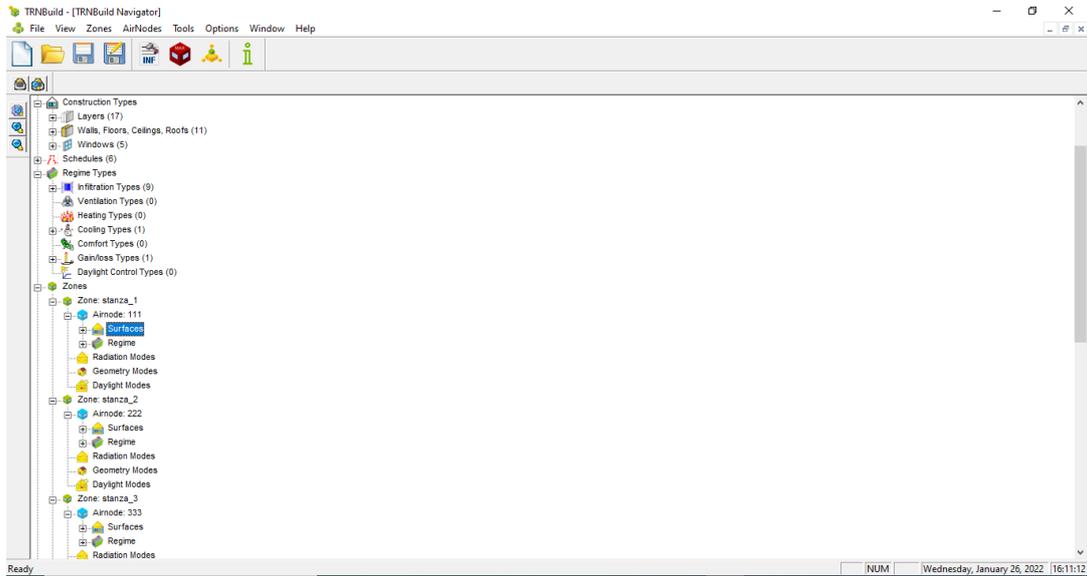
- a) 11-14 agosto: tutti gli uffici hanno schermature solari disattivate e finestre chiuse;
- b) 15-19 agosto: le stanze 6 e 7 hanno finestre chiuse, nelle stanze da 1 a 4 l'anta automatizzata si apre dalle 21.00 alle 8.00 della mattina successiva. Le schermature rimangono disattivate in tutti gli ambienti;
- c) Nel periodo gli uffici non erano occupati, risultano quindi nulli gli apporti termici interni dovuti a persone, illuminazione e altri carichi elettrici (PC, stampanti, ecc.)
- d) Nel periodo sono altresì acquisiti: temperatura esterna, umidità relativa e radiazione solare su piano orizzontale; temperatura dell'aria nel corridoio che serve gli uffici monitorati e in tutte le stanze che con essi confinano. Tutte queste grandezze sono usate come boundary condition nel modello numerico dell'edificio

Si noti che il monitoraggio è iniziato qualche giorno prima, per consentire al modello di assorbire le dinamiche iniziali della simulazione; le date sopra riportate sono quelle effettivamente usate per la calibrazione.

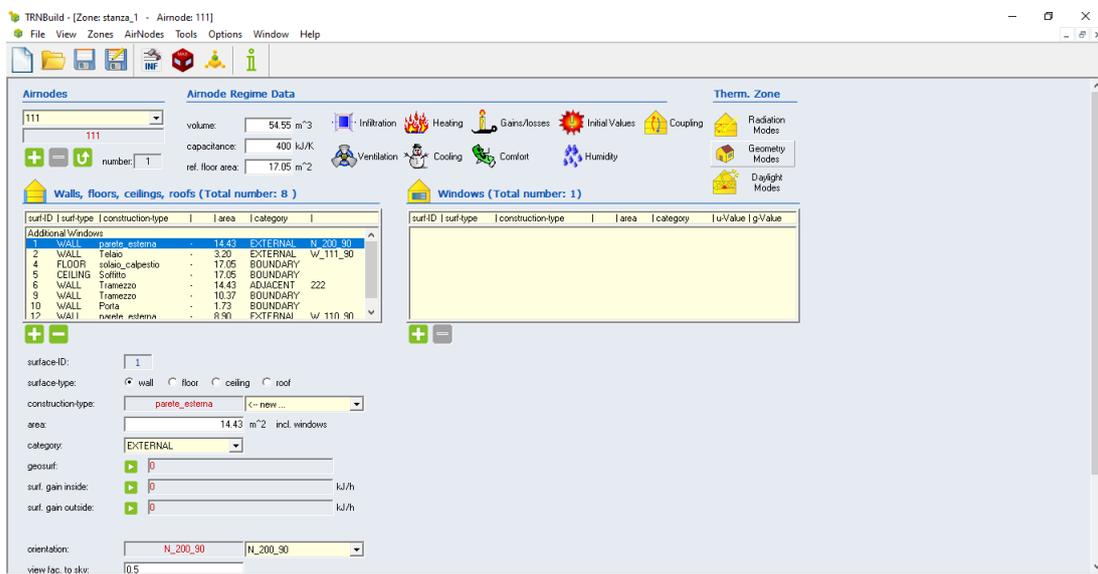
Il modello numerico è stato sviluppato in TRNSYS 17, software calibrato e largamente usato per la modellazione di sistemi termici, in particolar modo edifici e sistemi solari attivi e passivi, che utilizza il metodo della Z-trasformata per la modellazione del trasferimento di calore.

Figura 74 illustra la schermata principale di TRNbuild, il modulo TRNSYS, all'interno del quale viene descritto l'edificio; tale figura evidenzia le "parti" del sistema edificio-impianto (involucro opaco e trasparente, impianto di raffrescamento/riscaldamento, ecc.) da descrivere e l'individuazione delle varie zone termiche di cui consta l'edificio stesso. Figura 75 riporta la schermata di dettaglio della specifica zona termica, è qui che sono inseriti i dati specifici della zona: geometria e caratteristiche dei muri e delle

finestre; tipologia di scambio termico con gli ambienti confinanti; geometria e capacità termica della zona nelle condizioni di utilizzo; set-point di impianti eventualmente presenti; collegamenti ad eventuali schedule nel caso di input dettagliati di alcuni elementi del sistema-edificio impianto. Questa descrizione deve necessariamente essere fatta per tutte le zone dell'edificio interessate al calcolo dei profili termici, quindi, a titolo di esempio, non è modellato il corridoio in quanto la sua temperatura misurata durante il monitoraggio diventa una boundary condition delle stanze in esame.



**Figura 74- Individuazione delle zone termiche nel modulo TRNbuild di TRNSYS**



**Figura 75- Esempio di dati di input in una zona termica nel TRNbuild di TRNSYS**

TRNbuild è solo uno delle varie routines di TRNSYS, che lavora attraverso una moduli, opportunamente collegati tra loro, a ognuno dei quali è assegnato un set di calcoli specifici; Figura 76 illustra le routine e i collegamenti implementati per il caso studio. In particolare per il progetto in esame sono state utilizzati i seguenti moduli:

- Dati meteo misurati localmente (temperatura, umidità relativa e velocità dell'aria; radiazione solare globale su piano orizzontale);
- Funzioni psicrometriche per il calcolo della temperatura di rugiada e altri parametri, necessari anche per il modulo successivo;

- Calcolo della temperatura fittizia della volta celeste, necessaria per il calcolo degli scambi radiativi tra cielo ed edificio;
- Descrizione dell'edificio, il sopra indicato TRNnbuild;
- Modulo per la descrizione geometrica di ostacoli ed oggi schermanti, necessaria nel caso specifico per la descrizione dell'imbotte delle finestre, che essendo profondo 30 cm risulta significativo ai fini dell'accesso alla radiazione solare dei componenti vetrati;
- Modulo per sistemi trasparente complessi, sviluppato ad hoc per vetrate multiple accoppiate a schermature solari, per le quali è calcolata oltre, al flusso termico, la distribuzione bi-direzionale del flusso radiativo solare e luminoso in trasmissione e riflessione. Tale modulo è necessario per risolvere lo scambio termico dei serramenti complessi installati negli uffici da 1 a 4 (si noti che il modulo non è utilizzato nella sola fase di calibrazione, poiché questa non è eseguita verso le schermature attive);
- Equazioni e controlli di vario tipo necessari per implementare le funzioni temporali e fisiche che gestiscono gli elementi dinamici del sistema (set-point, profili di occupazione, logiche di controllo dei serramenti, ecc.);
- File di presentazione dei risultati, in relazione alle tipologie di output previste dal progetto.

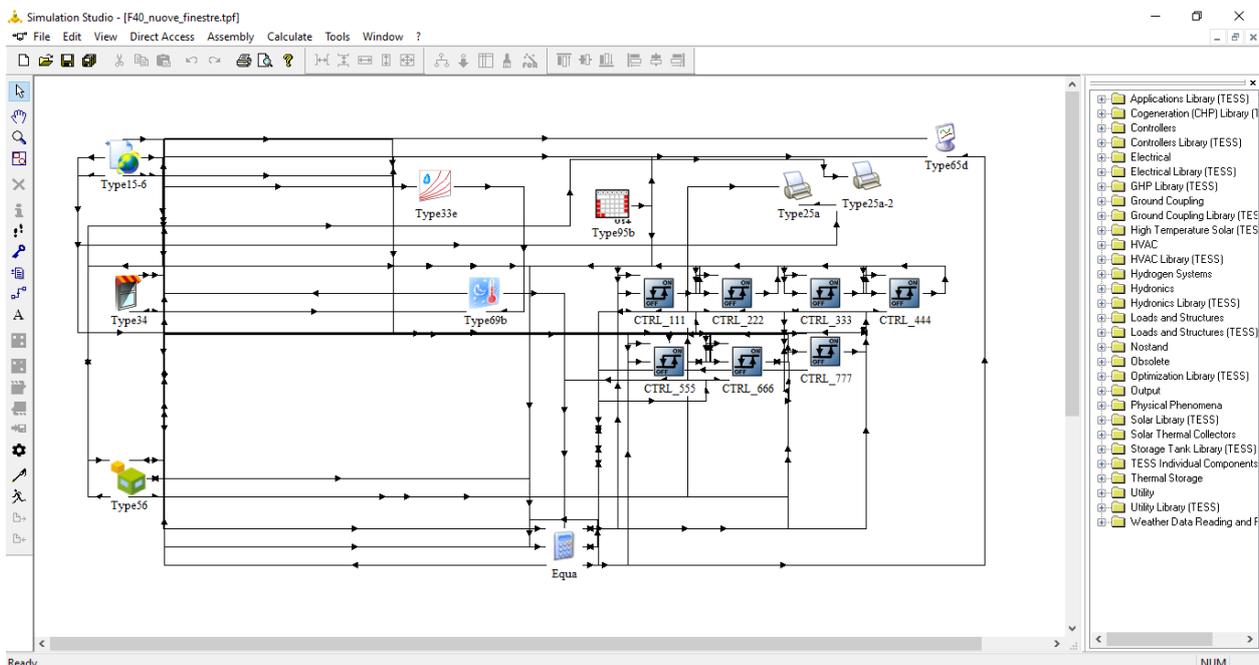


Figura 76- Progetto TRNSYS per la modellazione degli uffici nell'edificio F40 di ENEA

Tutti i dati geometrici e termo-fisici degli uffici sono stati debitamente modellati. Molti di questi dati sono rimasti fissi, vista la certezza della qualità del dato di input (trasmissione termica di serramenti e tamponature, guadagni solari attraverso i vetri, ponti termici finestra/muro, capacità termica interna), per alcuni dati è stato necessario eseguire una serie di varianti che assicurassero la calibrazione a causa dell'incertezza dei dati di ingresso (impatto dei ponti termici della struttura, carico di infiltrazione d'aria attraverso i serramenti verso l'esterno e attraverso la porta verso il corridoio)

A titolo esemplificativo, in Figura 77 si riporta il confronto tra dati misurati, linea rossa, e dati calcolati, linea tratteggiata nera). Si può osservare l'ottimo accordo dei profili della temperatura dell'aria durante i giorni con serramenti chiusi: considerando i dati orari si ha una differenza tra i dati misurati e calcolati compresa tra  $-0.25/+0.17^{\circ}\text{C}$ ; mediamente il valore assoluto della differenza tra le due grandezze su base oraria è di  $0.11^{\circ}\text{C}$ , su base giornaliera è sempre inferiore a  $0.05^{\circ}\text{C}$ , ossia variazione percentuale inferiore a 0.2%.

Con la ventilazione notturna dovuta all'apertura dei serramenti la calibrazione appare ancora accurata sui picchi massimi (differenze sempre inferiori a  $0.5^{\circ}\text{C}$ ), ma il modello (basato sul calcolo della ventilazione secondo Warren, si veda il report della linea di attività LA.13) non sembrava rispondere adeguatamente



## 7 Conclusioni

Sono state portate a compimento le attività sugli impianti Dimostrativi necessarie per poter implementare i servizi per le comunità energetiche. In particolare, per il Dimostratore F40 sono state svolte prove di comunicazione tra il BEMS dell'edificio F40 e l'EMS di impianto FV con accumulo e definite le interfacce di scambio dei dati tra di essi al fine di attuare logiche di ADR (Automated Demand Response). E' stato poi realizzato l'impianto fotovoltaico con accumulo predisposto per la ricarica di veicoli elettrici di tipo sperimentale e verificato il suo corretto funzionamento.

Per ciò che riguarda la flessibilità, l'attività di ricerca qui esposta rappresenta un primo passo in questa direzione e i suoi futuri sviluppi potranno portare alla costituzione di un database direttamente integrabile agli strumenti e servizi della piattaforma Local Energy Community di ENEA. Si potrà valutare la flessibilità energetica degli edifici che la compongono e definire di conseguenza opportune logiche di gestione e controllo per ottenere forniture energetiche adeguate alle necessità di una Community.

E' stata sviluppata una Blockchain (BC) che permette l'utilizzo di Smart Contract per la scrittura automatica di transazioni e la gestione di una cripto-valuta utilizzata negli scambi di valore. Tutto ciò è stato effettuato sul Dimostratore F40 di Casaccia che può rappresentare a tutti gli effetti un prototipo di Comunità Energetica avendo infatti un impianto fotovoltaico con accumulo la cui energia prodotta viene condivisa tra i vari utenti. In particolare, su tale Dimostratore sono state sviluppate sia le gestioni dell'energia più tradizionali come l'autoconsumo sia quelle più evolute basate sul PUN e sull'ADR. Per quest'ultima gestione, sono stati testati con successo cinque diversi scenari in cui DSO/Aggregatore può richiedere potenza sullo Storage del Dimostratore in modo automatico il giorno prima per il giorno dopo.

Infine, l'attività condotta sui serramenti smart nell'edificio F40 del CR Casaccia di ENEA ha consentito di rendere indipendenti gli uffici interessati rispetto al resto dell'edificio per quanto riguarda gli impianti di climatizzazione integrati nel sistema di controllo dell'edificio ed in grado di fornire i consumi elettrici a livello di singolo ambiente per le varie strategie di controllo. Queste ultime sono state implementate sui serramenti smart in funzione di grandezze fisiche o semplice temporizzazione, potendo così quantificare in campo i benefici in termini di mitigazione del microclima indoor di queste tecnologie rispetto a soluzioni convenzionali. Infine è stata eseguita una modellazione in regime dinamico della porzione di edificio interessata con il software TRNSYS; il confronto tra misure e simulazioni ha consentito di ottenere un modello calibrato che potrà essere utilizzato per generalizzare il comportamento termico dell'edificio per differenti condizioni climatiche, condizioni di utilizzo, strategie di controllo di elementi dinamici.

## 8 Riferimenti bibliografici

- [1] F. De Lia, R. Schioppo, R. Lo Presti, S. Pizzuti, S. Romano, A. Tundo, P. Zangheri, P. Zini, “Implementazione delle logiche di gestione per gli smart building di seconda generazione”, RdS/PAR2021/008
- [2] F. De Lia, S. Castello. Sviluppo in ambiente Matlab-Simulink di un gestore di flussi energetici per edifici intelligenti; Report RdS/PAR2016/010.
- [3] Warren PR. Ventilation through openings on one wall only. Int Conf Heat Mass Transf Build, Dubrovnik, Yugoslavia; 1977.

## 9 Abbreviazioni ed acronimi

BC BlockChain

IBSI Italian Blockchain Services Infrastructure