



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO



Ricerca di Sistema elettrico

## Tecnologie per gli Smart Buildings di seconda generazione

F. De Lia, R. Lo Presti, S. Pizzuti, F. Romanello, S. Romano, R. Schioppo, M. Zinzi

## TECNOLOGIE PER GLI SMART BUILDINGS DI SECONDA GENERAZIONE

F. De Lia, R. Lo Presti, S. Pizzuti, S. Romano, F. Romanello, R. Schioppo, M. Zinzi (ENEA)

Dicembre 2019

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - I annualità

Obiettivo: Tecnologie

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

Work package 1: Local Energy District

Linea di attività: 12 - Tecnologie per gli smart buildings di seconda generazione

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work package: Claudia Meloni, ENEA

Si ringrazia per la preziosa collaborazione Martina Botticelli (Università Politecnica delle Marche, Dip. Ingegneria Informatica)

## Indice

TECNOLOGIE PER GLI SMART BUILDINGS DI SECONDA GENERAZIONE .....	1
1 SOMMARIO .....	4
2 INTRODUZIONE .....	5
3 SMART BUILDING DI SECONDA GENERAZIONE .....	6
3.1 PREMESSA .....	6
3.2 DESCRIZIONE DEL PROTOTIPO SPERIMENTALE REALIZZATO IN ENEA .....	6
3.3 EDIFICIO F40 .....	8
3.4 BUILDING ENERGY MANAGEMENT SYSTEM F40 .....	9
3.4.1 <i>Architettura del sistema</i> .....	10
3.4.2 <i>Monitoraggio e controllo degli uffici</i> .....	15
3.4.3 <i>Gestione delle logiche dell'ADR</i> .....	18
3.4.4 <i>Centrale termica</i> .....	20
3.4.5 <i>Interfacciamento con impianto FV</i> .....	20
3.5 APPLICAZIONE SMART WINDOWS NELL'EDIFICIO F40 .....	25
3.5.1 <i>Implementazione dell'applicativo di gestione</i> .....	26
3.5.2 <i>Determinazione della portata d'acqua ai fan coil</i> .....	27
3.5.3 <i>Misura dell'illuminamento per il controllo delle schermature solari dinamiche</i> .....	29
4 L'IMPIANTO FOTOVOLTAICO CON ACCUMULO DELL'EDIFICIO F40 DI ENEA CASACCIA .....	32
4.1 DESCRIZIONE .....	32
4.2 IL GENERATORE FOTOVOLTAICO .....	32
4.3 I SENSORI METEO .....	35
4.4 L'INVERTER FOTOVOLTAICO E IL SISTEMA DI ACCUMULO .....	35
4.5 L'EMS .....	37
4.6 IL SISTEMA DI SMART METERING .....	38
4.7 TEST PRELIMINARI DI COMUNICAZIONE .....	39
4.8 IL LOCALE CABINA .....	44
5 L'IMPIANTO FOTOVOLTAICO CON ACCUMULO DI LAMPEDUSA .....	46
5.1 DESCRIZIONE .....	46
5.2 L'IMPIANTO FOTOVOLTAICO .....	46
5.3 IL LOCALE CABINA .....	47
6 CONCLUSIONI .....	49
7 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	50
8 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI .....	50

## 1 Sommario

Nel documento viene illustrato un prototipo sperimentale di Smart Building di 2° generazione realizzato nell'edificio F40 del CR ENEA Casaccia costituito da sistemi intelligenti per l'illuminazione e la climatizzazione, da sensori IoT, da sistemi di generazione rinnovabile con storage e da sistemi di gestione dell'energia dei carichi e della generazione. Il prototipo è dotato di un BEMS (Building Energy Management System) che offre differenti funzionalità tra cui il monitoraggio, la diagnostica, il controllo e l'ottimizzazione dei carichi di edificio. Il BEMS consente di scegliere differenti strategie di controllo dei carichi sia a livello di intero edificio che di piano, fino al controllo della singola stanza grazie ad una piattaforma aperta ed interoperabile che sfrutta sensori wireless dedicati di varia tipologia, come i sensori di presenza ed illuminamento. Gli uffici dell'edificio sono stati digitalizzati ed è possibile controllare l'accensione/spegnimento delle luci, rilevare la presenza negli ambienti, controllare la temperatura e lo stato dei fan coil e controllare i serramenti in apertura e chiusura. Il BEMS, inoltre, acquisisce e salva i dati dei meter di potenza posizionati sui vari quadri elettrici sia a livello generale che a livello di singoli circuiti (es: luce, forza motrice, Fan coil etc.). L'edificio F40 è dotato di una centrale termica che è possibile controllare e monitorare: in particolare, si può comandare l'accensione/spegnimento delle singole pompe, regolare il setpoint di mandata dell'acqua, monitorare le temperature di mandata e ritorno e regolare l'apertura delle valvole. La centrale termica può essere monitorata potendo visualizzare il consumo elettrico della FM dei compressori e la FM generale.

L'edificio F40 dispone di un impianto fotovoltaico con accumulo che aggiunge ulteriore flessibilità grazie all'accumulo elettrico di cui è dotato ed inoltre offre la possibilità di immettere energia in Rete. L'impianto è costituito da un sistema fotovoltaico di 18,2 kWp con moduli al silicio cristallino ad elevata efficienza, un sistema di accumulo al Litio da 12 kWh e un Energy Management System (EMS) dedicato. L'impianto è collegato in parallelo al Quadro Elettrico Generale dell'edificio F40. Le apparecchiature di potenza, così come quelle di trasmissione dati e il sistema di SMART Metering di cui è dotato, sono collocate dentro una cabina elettrica appositamente realizzata per l'impianto. L'EMS è un componente importante dell'impianto ed è costituito da un controller embedded nato per applicazioni in real-time di controllo e monitoraggio. Il software di controllo e monitoraggio sarà scritto in NI Labview e sarà sviluppato in ENEA e reso disponibile nel corso della prossima annualità. L'EMS ha diversi compiti, tra cui gestire l'impianto, applicare le strategie di gestione dei flussi energetici inviando opportuni setpoint di potenza alle batterie, interrogare il BMS delle batterie, interrogare i vari sensori di cui è dotato l'impianto, acquisire e salvare su NAS le grandezze di interesse a fine giornata. Altro compito dell'EMS riguarda lo scambio di informazioni con il BEMS dell'edificio al fine di rendere disponibili per entrambi le grandezze elettriche di interesse e/o scambiare comandi che sono importanti per il corretto funzionamento di entrambi.

## 2 Introduzione

Nell'ambito dell'accordo di programma, ed in particolare del piano triennale di realizzazione 2019-2021 della ricerca di sistema elettrico nazionale, è previsto lo sviluppo di tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali (Tema di Ricerca 1.7). Il ricorso ad edifici intelligenti in cui coesistono diversi sistemi che lavorano in modo sinergico tra loro al fine di fare efficienza energetica è uno dei modi con cui è possibile raggiungere tale obiettivo. La priorità a cui rispondono gli edifici intelligenti non è solo quella della riduzione dei consumi mediante l'uso di soluzioni tecnologiche dedicate ma anche quella di generare e gestire energia da fonti rinnovabili in modo SMART rendendo partecipe l'edificio, in forma singola o aggregata, al mercato dell'energia elettrica. Il Dimostratore di Smart Building descritto nel presente lavoro rappresenta un caso studio dove varie tecnologie trovano applicazione ed interagiscono tra loro al fine di utilizzare il vettore elettrico in modo consapevole e ottimale migliorando al tempo stesso il comfort degli occupanti. Lo Smart Building presentato, essendo dotato di sistemi di produzione rinnovabile e sistemi di accumulo sarà in grado dare servizi di flessibilità verso la Rete elettrica mediante tecnologie di dialogo machine to machine che faranno uso anche di tecniche di intelligenza artificiale.

### 3 Smart building di seconda generazione

#### 3.1 Premessa

Gli edifici consumano circa il 40 % dell'energia complessiva, rappresentano "il più grande consumatore unico di energia in Europa"[1], per questo motivo tra gli obiettivi proposti dall'Unione Europea c'è quello di costruire e ristrutturare gli edifici in modo da contare su parco immobiliare NZEB, ovvero a fabbisogno quasi zero d'energia da qui al 2050.

Gli Smart Buildings di nuova generazione, grazie all'impiego di tecnologie innovative e soluzioni informatiche rappresentano una soluzione efficace per raggiungere gli obiettivi prefissati, ai fini dell'efficienza, del comfort e della flessibilità degli edifici, in quanto capaci di adattarsi alle esigenze dell'occupante, interagire con la rete energetica e ottimizzare funzionamento e manutenzione.

#### 3.2 Descrizione del prototipo sperimentale realizzato in Enea

L'Enea sta sviluppando un modello replicabile di Smart Building terziario di nuova generazione 2.0, dotato di impianti di produzione e storage e sistemi software di gestione e controllo in grado di monitorare i consumi energetici, il grado di comfort ed implementare strategie di controllo automatiche ottimizzate in funzione delle richieste, della produzione da rinnovabile e degli andamenti dei mercati energetici.

L'obiettivo è la riduzione dei costi correlati ai consumi energetici attraverso logiche di automazione innovative, il punto di partenza è dotare gli edifici di sistemi di produzione e accumulo, un kit di dispositivi IoT, per il monitoraggio indoor/outdoor ed il controllo remoto delle utenze. La gestione di tutti i dispositivi è demandata a dei concentratori connessi alla rete internet ed a sistemi software.

In effetti il prototipo di Smart Building 2.0 realizzato nell'edificio F40 presso Centro Ricerche Enea della Casaccia è stato dotato dei seguenti sottosistemi come schematizzato nella Figura 1:

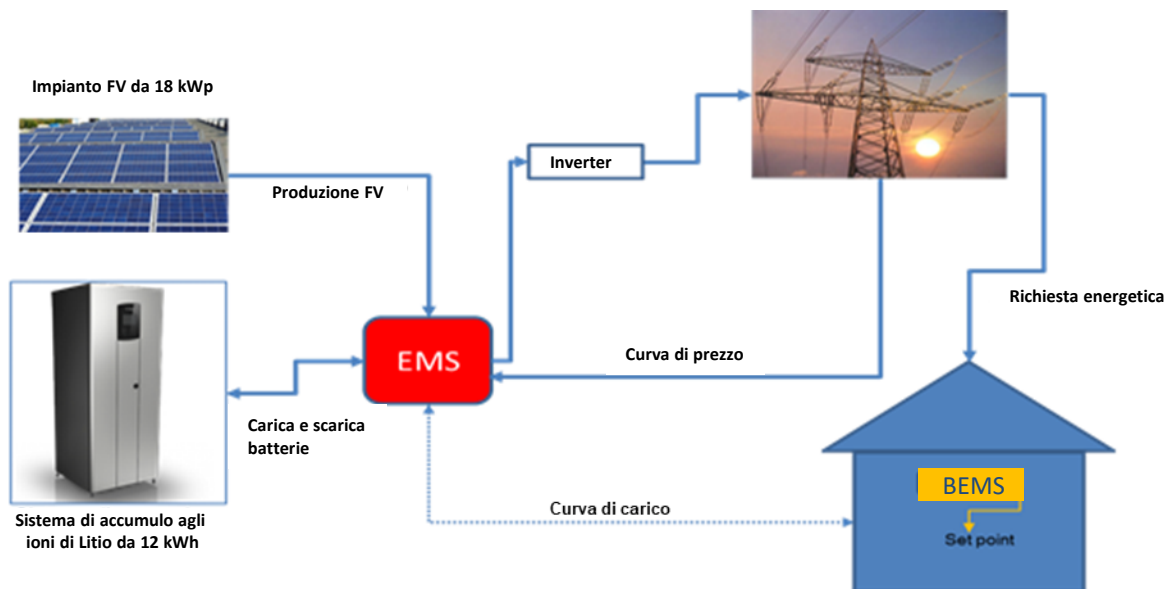


Figura 1. Principali sottosistemi dello Smart Building F40

- un impianto fotovoltaico da 18 kWp installato sulla copertura dell'edificio F40
- un sistema di accumulo da 12 kWh con batterie al Litio completamente comandabile da un EMS

- un Energy Management System (EMS) che gestisce i flussi energetici tra l'impianto fotovoltaico, il sistema di accumulo e i carichi di utente sulla base di strategie flessibili che verranno di volta in volta individuate. Potranno essere sviluppate diverse strategie, tra cui quelle che si basano sul prezzo dell'energia (PUN) o quelle che consentono di ottimizzare il tempo di vita delle batterie.
- un Building Energy Management System (BEMS) che si occupa di raccogliere i dati dai dispositivi IoT dei concentratori, implementare le strategie di diagnostica e controllo locali sull'edificio al fine di adattare dinamicamente la richiesta energetica dell'edificio.

Grazie all'interazione tra EMS E BEMS il prototipo realizzato è in grado di controllare sia gli usi finali (consumi) che i sistemi di accumulo in funzione della produzione propria di energia derivante da fonti rinnovabili e delle curve di prezzo dell'energia. Per ciò, è in grado di colloquiare con le piattaforme di aggregazione mediante lo scambio di informazioni (es. flessibilità, consumi, produzione, curve di prezzo,...) secondo principi che ne garantiscano l'interoperabilità, mediante l'utilizzo di protocolli e formati dati aperti e standard.

Uno degli aspetti caratterizzanti del prototipo dell'F40 sono l'utilizzo delle Reti Neurali Artificiali (ANNs) per la previsione della producibilità da fotovoltaico e del carico elettrico dell'edificio, attività che verranno sviluppate nelle successive annualità 2020 e 2021. Grazie a ciò si potrà gestire in modo intelligente il deficit/surplus energetico in modo da adattarsi dinamicamente al prezzo dell'energia.

### 3.3 Edificio F40

L'edificio F40, costruito nel 1982 si presenta come un fabbricato a stecca con tre piani fuori terra ed un seminterrato, connesso, dal lato maggiore, ad un secondo fabbricato più basso adibito a hall tecnologica che non rientra nelle considerazioni seguenti. L'edificio si struttura su 3 piani fuori terra più un seminterrato adibito a deposito, dallo studio resta escluso sia il piano interrato sia la hall tecnologica. A livello costruttivo l'edificio è caratterizzato da un'unica stratigrafia di involucro opaco verticale ( $K_{\text{pareti}} = 0.426 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) mentre la copertura è stata sostituita di recente ( $K_{\text{copertura}} = 0,229 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). La distribuzione, come indicato in figura 1, vede la maggior parte della superficie al piano terra occupata da laboratori, circa la metà della superficie al primo piano occupata da uffici, e il secondo piano dedicato completamente ad uso ufficio. In tutti i piani le aree distributive coprono più del 25% della superficie utile.

#### Aree funzionali



Figura 2. Distribuzione delle funzioni all'interno dell'edificio.



### 3.4 Building Energy Management System F40

L'edificio F40, nelle precedenti annualità è stato dotato di un Building Energy Management System (BEMS) [2], mentre nel corso di quest'ultima annualità è stato aggiornato per assicurare maggiore robustezza, sicurezza, efficienza e scalabilità al sistema in prospettiva di un'integrazione con piattaforme di Big data.

Il sistema consente differenti funzionalità: monitoraggio, diagnostica, controllo, ottimizzazione, active demand di diverso grado di complessità.

A tal fine è stato dotato di un elevato numero di sensori per il monitoraggio real time dei consumi energetici, elettrici e termici, e dei parametri ambientali outdoor e indoor, ciò consente di scegliere differenti strategie di controllo sia a livello di intero edificio che di piano, fino al controllo della singola stanza.

A **livello di edificio** viene contabilizzata, l'energia elettrica totale per l'intera struttura e vengono suddivise le quote per l'illuminazione, la forza motrice e le ventole dei fan coils. In centrale termica viene contabilizzata l'energia elettrica assorbita dai vari componenti, nonché l'energia termica.

Lo stesso vale a **livello di piano** dove l'energia elettrica viene monitorata separatamente per i differenti usi finali. In questo caso luci e ventole dei fan coils possono essere attuate da remoto.

A livello di **singola stanza**, sono stati installati sensori, termostati e rilevatori ad infrarossi di presenza, che inviano i dati di monitoraggio (temperatura dell'aria, temperatura di set point, on/off delle ventole dei fan coil e occupazione) e consentono di attuare differenti strategie di gestione e ottimizzazione.

Nello schema seguente viene illustrato lo schema unifilare dell'impianto elettrico e i punti misura presenti.

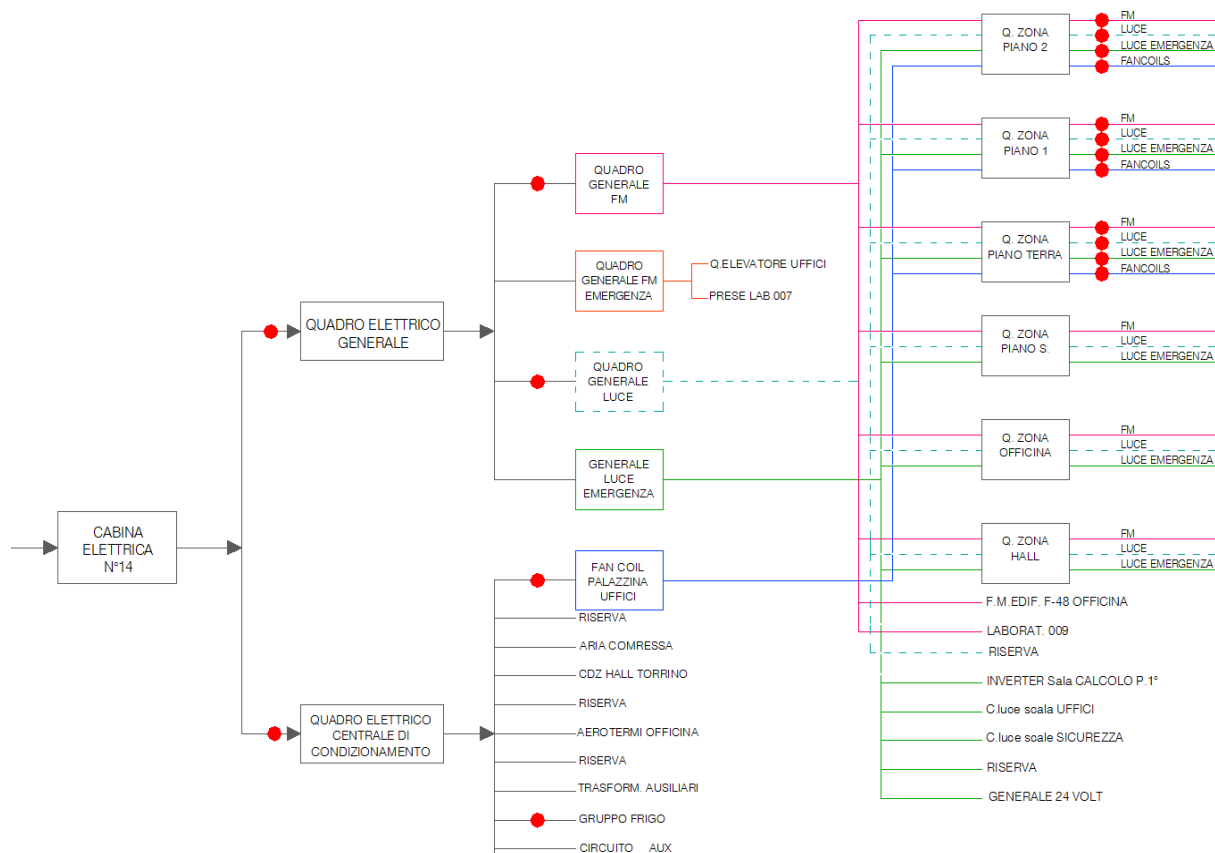


Figura 3. Schema a blocchi dell'impianto elettrico e punti di misura

Nella tabella successiva si riportano i consumi medi giornalieri distinti per linea di alimentazione e piano di riferimento:

**Tabella 1. Consumi medi giornalieri per linea di alimentazione**

Consumi medi giornalieri (kWh)	Linea di alimentazione											
	Piano 0				Piano 1				Piano 2			
	FEM	Luci Em	Luci	Fancoil	FEM	Luci Em	Luci	Fancoil	FEM	Luci Em	Luci	Fancoil
linea	29.2	28.3	11.0	0.2	57.4	51.9	17.5	0.2	63.4	40.6	12.2	0.2
piano	68.7				127.1				116.4			

Inoltre l’edificio è stato dotato di un impianto fotovoltaico da 18 kWp con accumulo al Litio da 12 kWh adibito ad operare in parallelo con la rete BT del CR ENEA Casaccia e dotato di un proprio sistema di gestione (EMS) come descritto in dettaglio nel paragrafo 3.

### 3.4.1 Architettura del sistema

Il sistema BEMS adottato per la gestione dell’edificio F40, rappresenta un adeguamento di un precedente sistema che in fase di impiego ha presentato notevoli problemi di robustezza e affidabilità. L’attuale sistema rispetta i seguenti requisiti che verranno descritti in dettaglio nelle pagine seguenti:

- Si tratta di una piattaforma **aperta, interoperabile**, programmabile in Javascript/Html, accessibile al link locale <http://192.107.92.149/>
- I dispositivi installati in campo impiegano una comunicazione wireless dedicata, pertanto non hanno richiesto nuovi cablaggi, ma solo la sostituzione di alcuni componenti.
- Dispongono di un’interfaccia **user friendly basata su web-app**, facile e intuitiva, che consente anche la partecipazione e coinvolgimento dell’utente finale.

Il BEMS installato si compone di un primo apparato mirato alla misurazione dell’energia elettrica e di un secondo dedicato alla misurazione dei parametri ambientali. I sensori di misura, che in alcuni casi fungono anche da attuatori, trasmettono i dati ad acquisitori che raccolgono e trasmettono l’informazione, prima via power line, poi via LAN, ad una piattaforma web. Tali dispositivi sono sensori/attuatori Smart Wireless Mesh connessi ad una piattaforma Cloud attraverso accentratori detti Gateway. Nella figura seguente è riportato lo schema dell’architettura del Sistema.

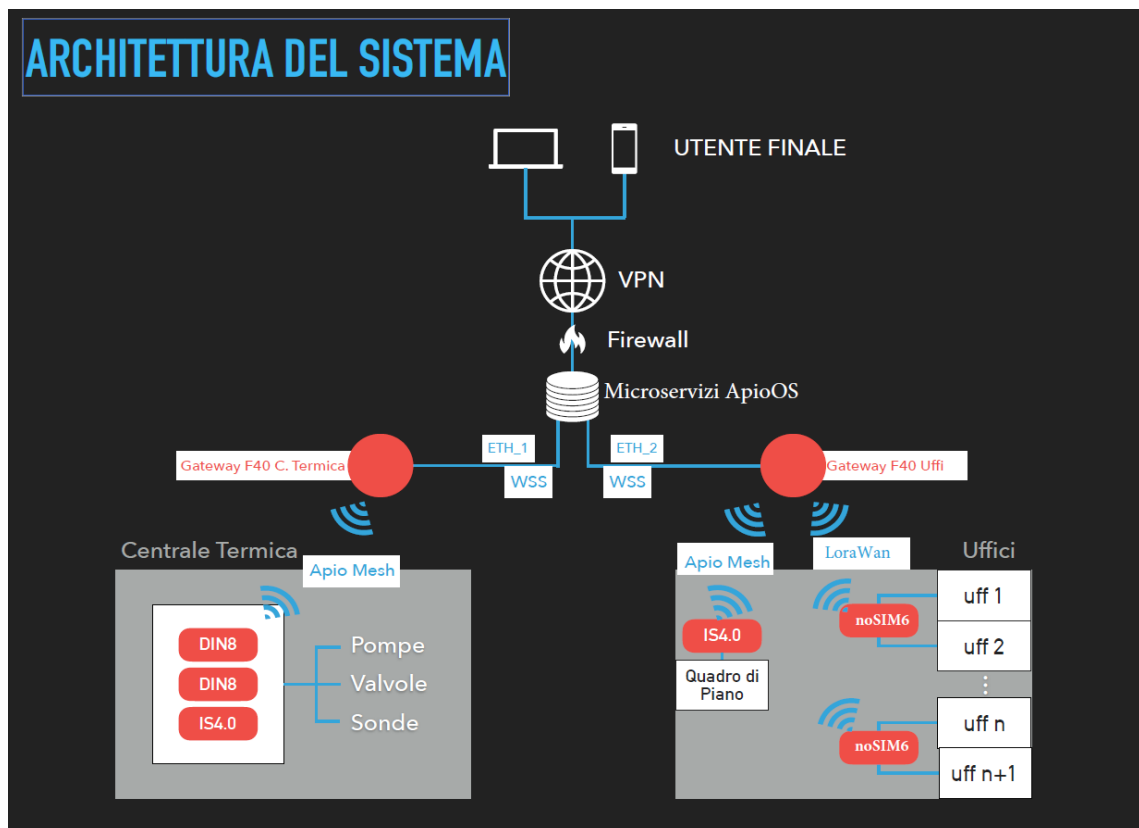


Figura 4. Architettura del sistema

Il sistema permette di raccogliere dati dai diversi sensori e applicare attuazioni attraverso attuatori presenti nei dispositivi Wireless Mesh installati nei vari ambienti. Detti "dati" vengono comunicati ad un Gateway Locale il quale, dopo averli immagazzinati al suo interno e analizzati secondo specifiche Business Rules, li invia al Cloud ApioOS.

ApioOS è il software Cloud che gestisce l'intero edificio F40. Nel caso specifico ApioOS è installato all'interno del Server che risiede nello stesso edificio F40. L'accesso al Cloud dall'esterno può essere effettuato attraverso la connessione VPN. Attraverso il Cloud è possibile accedere ai servizi relativi ad uno o più dispositivi connessi al Gateway. Un qualsiasi Gateway può comunicare con un altro nella stessa rete, agendo di fatto come un unico grande Sistema. Il sistema ApioOS, accentra tutti i dati provenienti dai dispositivi installati in campo e li visualizza su un'interfaccia, scopo della configurazione e quella di rendere disponibili i dati tramite applicazioni di default che permetteranno di vedere i dati monitorati e gestire gli attuatori.

In questa annualità è stato effettuato l'upgrade dell'intero sistema di gestione e controllo delle utenze generali di piano e delle singole stanze dell'edificio F40. Per quanto riguarda l'architettura del sistema Smart building F40 è suddivisa in micro servizi e sfrutta le cinque macchine virtuali che condivide con l'applicazione Smart Home come descritto in dettaglio nel report RdS/PTR2019/001.

Sono stati installati due gateway **LoRa** Sentrius RG1xx al primo piano dell'edificio che offrono copertura in tutto lo stabile (compresa la centrale termica). I sensori per il monitoraggio ambientale delle singole stanze Apio P-ONE, sono stati sostituiti da sensori commerciali Elsys ERSCO2, che comunicano sfruttando la rete LoRaWAN, passando tramite il network server installato sulla specifica VM. I sensori comunicano ogni 5 minuti di default e ogni volta che rilevano presenza.

Inoltre gli apio IS4.0 presenti nell'edificio sono stati sostituiti dagli apio **noSIM6**, questa modifica ha consentito il passaggio da una comunicazione LWM ad una comunicazione LoRa mantenendo inalterate le precedenti logiche che regolano l'accensione delle luci e del riscaldamento.

Si riportano di seguito le caratteristiche dei nuovi componenti installati:

### Gateway LORA

Sono stati installati due gateway LoRa Sentrius RG1xx al primo piano dell'edificio F40 che offrono copertura in tutto lo stabile (compresa centrale termica).

Il gateway scelto Laird è abilitato per LoRa® Sentrius RG1xx più Wi-Fi, Bluetooth® ed Ethernet, di cui si riporta di seguito una scheda tecnica.

<p><b>Descrizione</b></p>	<p>RG1xx è l'ultima aggiunta alla famiglia di soluzioni di Enterprise IoT (EIoT) a lungo raggio in continua crescita Sentrius di <u>Laird</u>. RG1xx è un robusto gateway abilitato per LoRa IoT che viene fornito con opzioni di interfaccia Wi-Fi enterprise, Wi-Fi 802.11a/b/g/n dual-band, Bluetooth e Bluetooth Low Energy fornendo ai clienti la libertà di progettazione ottimale per creare la propria rete LPWAN end-to-end. Questo gateway LoRaWAN si basa sui progetti di chipset SX1301/SX1257 di Semtech consentendo otto canali e una notevole potenza di trasmissione di 27 dBm. Il gateway è progettato per funzionare senza soluzione di continuità con i moduli abilitati per LoRa+BLE dell'ecosistema RM1xx di Laird offrendo la semplice integrazione immediata e la compatibilità con partner Cloud e LoRa terzi nonché con altri dispositivi client LoRaWAN. RG1xx è destinato ad applicazioni che richiedono connettività multiprotocollo a dispositivi e sensori IoT a lunga distanza per creare utili dispositivi IoT intelligenti. Il gateway ha supporto totalmente integrato per server di rete LoRa di terze parti di The Things Network, Lorient e Stream Communications per consentire un trasferimento semplice e comodo dei dati LoRaWAN alla soluzione server scelta dal cliente.</p>
<p><b>Caratteristiche tecniche</b></p>	<p>Flessibilità di molteplici interfacce wireless e cablate come LoRaWAN, 802.11a/b/g/n, Ethernet e Bluetooth v4.0                  Sistema operativo Linux completo: kernel v4.x in esecuzione su core Atmel A5 a 536 MHz                  Supporto LoRaWAN a 8 canali con potenza di trasmissione fino a +27 dBm max                  Certificazioni complete per FCC/IC/CE                  Intervallo di temperatura industriale (-30 ~ +70 °C)                  Strumenti avanzati di distribuzione, compresi configurazione intuitiva via web, inoltre pacchetti LoRa integrato e impostazioni predefinite per vari fornitori di server di rete LoRa                  Il software di inoltre pacchetti LoRa integrato di Laird consente la semplice distribuzione dell'applicazione                  Opzione di una scheda concentratore RG1xx-M2 innestabile che consente l'integrazione dell'interfaccia gateway LoRaWAN certificata a qualsiasi piattaforma basata su Linux                  Progettato per applicazioni di prodotti industriali di lunga durata (vita utile target di oltre 10 anni)</p>
<p><b>Ulteriori funzionalità</b></p>	<p>L'adattatore LoRaWAN M2.COM innestabile integra un'interfaccia gateway LoRaWAN certificata e ad alte prestazioni per qualsiasi piattaforma basata su Linux. Questa soluzione hardware si espande con i driver Semtech e il progetto di riferimento per prestazioni RF migliori. Inoltre, Laird ha un'ulteriore opzione per un involucro GW esterno IP67 per il cliente che desidera collocare il proprio gateway in applicazioni per esterni.</p>



### noSIM6

noSIM6 è un dispositivo Plug&Play e completamente automatico, non necessita di alcuna configurazione. E' sempre connesso ad internet grazie al protocollo LoRaWAN. noSIM6 non ha bisogno di nessun orologio astronomico, grazie alla presenza di un GPS gli istanti esatti di accensione e spegnimento vengono calcolati sulla base dell'alba e del tramonto reali. noSIM6 si integra con qualsiasi altro sistema informatico esistente. Grazie alle API, un qualsiasi software gestionale può comunicare con noSIM6 senza conoscere in profondità il sistema e senza pregiudicare la sicurezza delle informazioni che transitano durante le comunicazioni. La semplicità di installazione, la possibilità di auto-geolocalizzarsi, la presenza di 4 relè e la capacità di integrarsi con praticamente qualsiasi analizzatore di rete presente sul mercato permettono a noSIM6 di essere super-versatile ed economico.

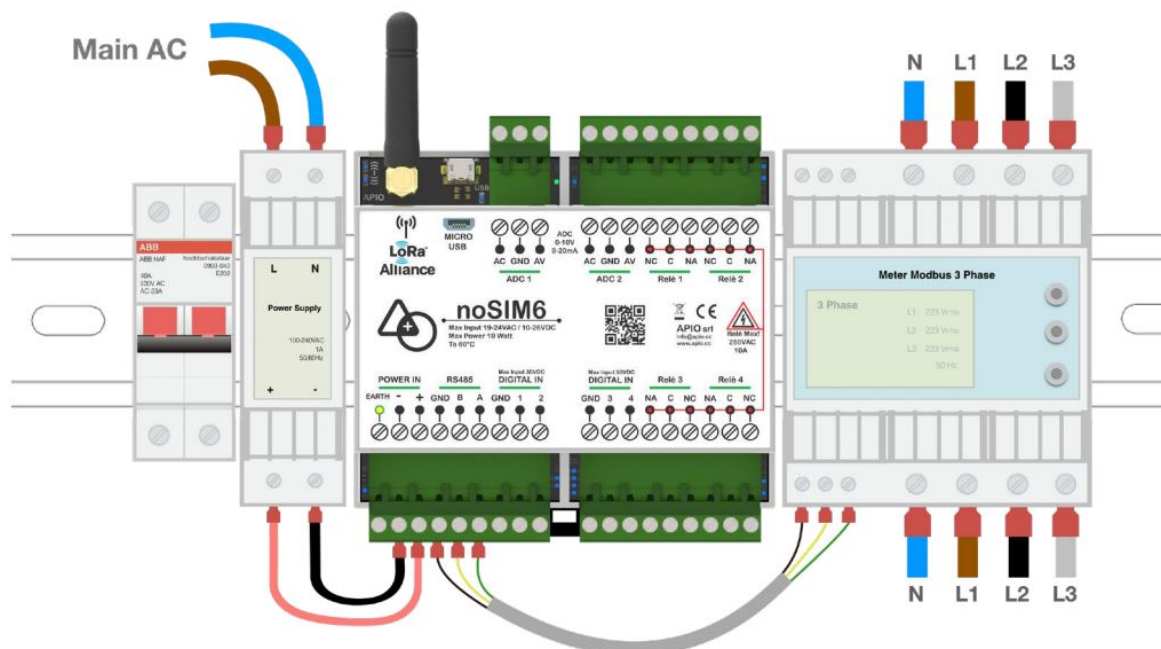


Figura 5. Esempio di installazione noSIM6

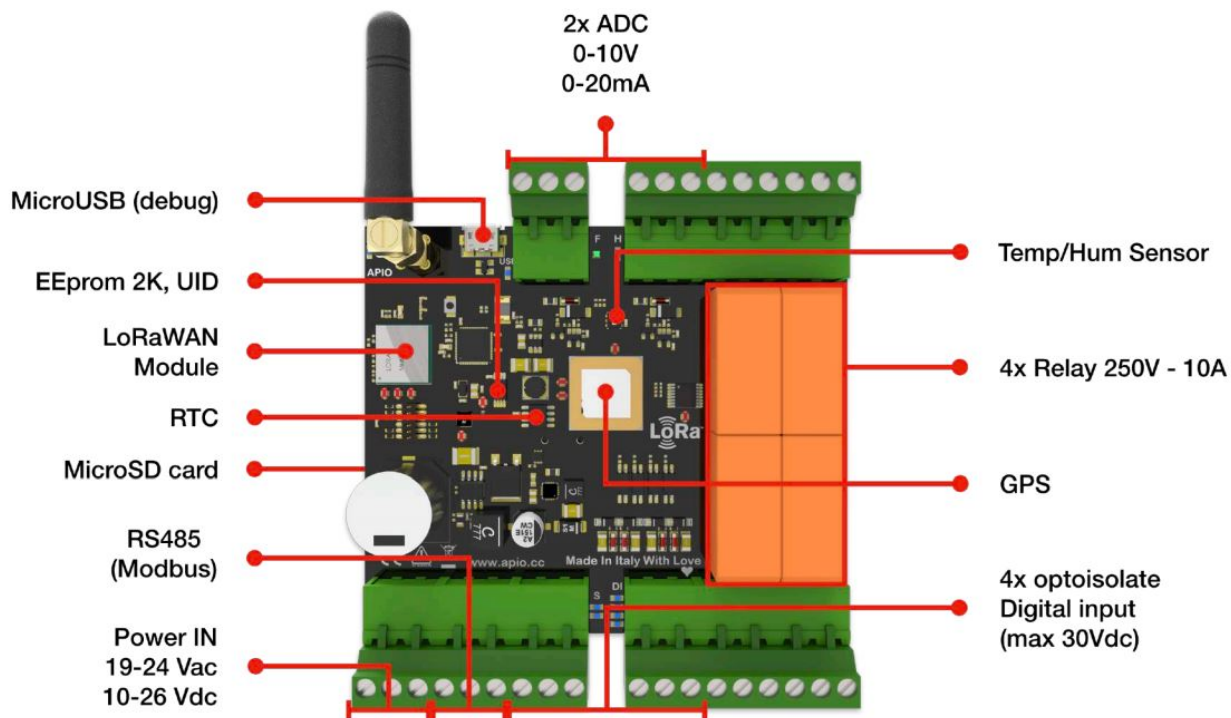


Figura 6. Caratteristiche tecniche noSIM6

### Sensore monitoraggio indoor

Sono stati installati 36 multi-sensori, uno per ciascun ufficio, Elsys ERSCO2 che comunicano sfruttando la rete LoRaWAN e passando tramite il network server installato sulla specifica VM. I sensori misurano diverse grandezze:

- Temperatura
- Umidità
- CO2
- Movimento (PIR)
- Luminosità



Figura 7. Sensore Elsys ERSCO2

Questi sensori sono alimentati a batteria e offrono quindi una installazione senza fili. I sensori sono inoltre dotati di un sensore NFC, attraverso il quale è possibile configurarli utilizzando di un'App Android. Tra gli altri settaggi, è possibile modificare la frequenza di campionamento. Attualmente i sensori comunicano ogni 5 minuti di default e ogni volta che rilevano presenza.

### 3.4.2 Monitoraggio e controllo degli uffici

Sono state inoltre predisposte applicazioni per la visualizzazione dei devices installati su planimetrie e create regole di utilizzo e logiche di automazione dei vari devices.

Per quanto riguarda gli uffici sono stati digitalizzati sotto il profilo luce e termico. Ciascuna coppia di uffici è collegata a un **noSIM6** che permette di:

- controllare accensione/spegnimento della luce;
- rilevare presenza negli ambienti;
- controllare e monitorare la temperatura e lo stato dei fan coil.

Ciascun utente può accedere ai servizi di controllo e monitoraggio Cloud in relazione ai propri privilegi, infatti si possono avere differenti privilegi di accesso al sistema:

- **admin:** Gli utenti Admin, nell'App Uffici, possono controllare lo stato attuale di ogni singolo ufficio e nella schermata iniziale, impostare le date di riferimento per la modalità Estate/Inverno oltre che impostare i giorni festivi del singolo ufficio, per la personalizzazione dello scheduler. Nell'App Light Comfort gli Admin possono automatizzare l'accensione/spegnimento delle luci del corridoio, impostare quando si dovranno spegnere tutte le luci, la luminosità di riferimento, la modalità manuale a tempo e il tempo prima dello spegnimento automatico delle luci. L'App consentirà di impostare detti valori contemporaneamente per tutti gli uffici, o singolarmente per ogni ufficio. Nell'App Temperature Comfort gli Admin possono automatizzare l'accensione/spegnimento del riscaldamento impostando la temperatura desiderata sia in condizioni di presenza nell'ambiente che in assenza. Tutto quanto è valido sia per la modalità estate che per la modalità inverno. Inoltre, sarà possibile stabilire dopo quanti secondi di inattività nell'ufficio si dovrà spegnere il riscaldamento. L'App consentirà di impostare detti valori contemporaneamente per tutti gli uffici, o singolarmente per ogni ufficio. Nell'App Planimetry sarà possibile disegnare le planimetrie dei vari piani che compongono l'edificio e posizionare i dispositivi sulla mappa. Questi saranno interattivi, consentendo il controllo diretto degli elementi dell'impianto che rappresentano, senza uscire dall'App. Ogni utente potrà manipolare i dispositivi in base ai suoi privilegi, ma solo gli amministratori potranno editare le mappe.
- **guest:** Gli utenti Guest, nell'App Uffici e Planimetry, possono visualizzare lo stato del sensore di presenza, controllare le luci e monitorare lo stato del riscaldamento. Inoltre, è possibile cambiare il Set Point del termostato collegato.

L'accesso ai servizi avverrà attraverso le seguenti App Cloud: ▶ Office ▶ Light Comfort ▶ Temperature Comfort ▶ Planimetry

Il controllo degli ambienti può avvenire nei seguenti modi:

#### 1. Interfaccia Cloud

È il controllo attuabile attraverso l'accesso alle diverse App presenti nel Cloud.

#### 2. Intelligenza Cloud

È il controllo che il Cloud applica in modo autonomo in base ad algoritmi concordati e personalizzabili attraverso le App Cloud di amministrazione sistema. Nel caso specifico:

- riscaldamento
  - si accende se la temperatura è inferiore/superiore (inverno/ estate) al Set Point impostato dall'amministratore solo se nell'ambiente è rilevata presenza. In caso contrario si spegne;
- luce
  - si accende se la luminosità dell'ambiente è inferiore alla soglia impostata dall'amministratore solo se nell'ambiente è rilevata presenza, altrimenti si spegne.

Inoltre, è presente uno scheduler, che attiva e disattiva sia le luci che il riscaldamento nelle fasce d'orario ritenute non lavorative.

### 3. Manuale Cloud

È il controllo attuabile su ciascun ufficio in cui sono presenti:

- termostato
  - impostando il Set Point sul termostato si agisce sul riscaldamento;
- pulsante
  - premendo il pulsante si agisce sulle luci. Entrambi questi comandi hanno un bind con il Cloud. Entrambi questi comandi scavalcano le decisioni prese dall'intelligenza Cloud per un tempo "t" prestabilito e modificabile nelle relative App

Di seguito viene riportata la logica di accensione/spegnimento luci all'interno dell'edificio.

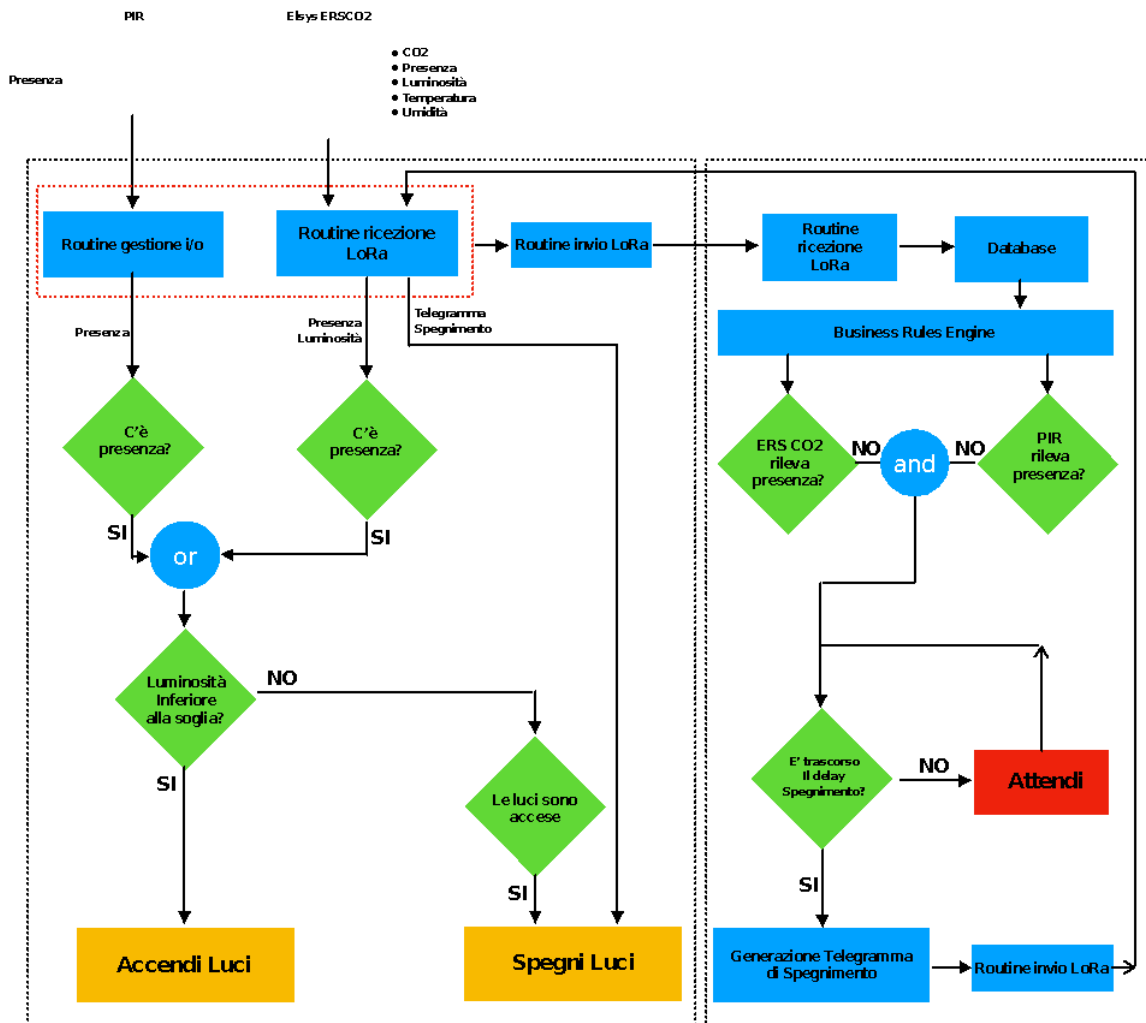


Figura 8. Logiche di controllo luci all'interno degli uffici



Gli utenti Guest, nell'App Uffici, possono visualizzare lo stato del sensore di presenza, controllare le luci e monitorare lo stato del riscaldamento. Inoltre, è possibile cambiare il Set Point del termostato collegato. Gli utenti Admin, nell'App Uffici, possono controllare lo stato attuale di ogni singolo ufficio e nella schermata iniziale, impostare le date di riferimento per la modalità Estate/Inverno oltre che impostare i giorni festivi del singolo ufficio, per la personalizzazione dello scheduler. Nelle figure seguenti sono riportate le interfacce Guest e Admin:



Figura 9. App ufficio privilegi guest

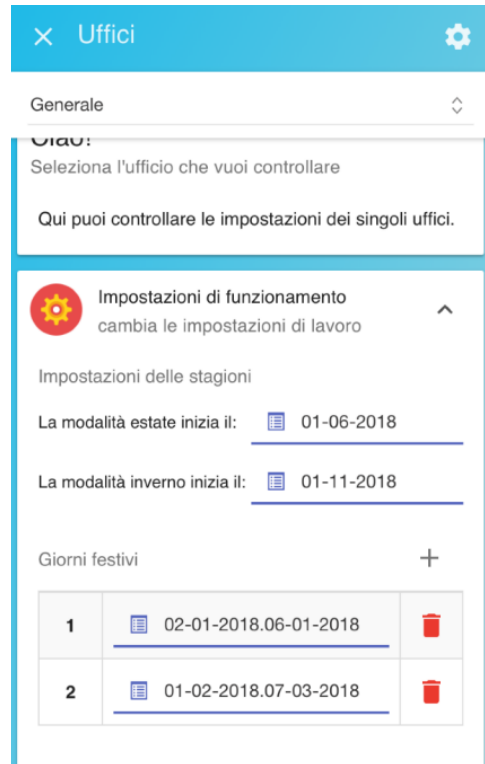


Figura 10. App uffici privilegi admin

Nell'App Light Comfort gli Admin possono automatizzare l'accensione/ spegnimento delle luci del corridoio, impostare quando si dovranno spegnere tutte le luci, la luminosità di riferimento, la modalità manuale a tempo e il tempo prima dello spegnimento automatico delle luci. L'App consentirà di impostare detti valori contemporaneamente per tutti gli uffici, o singolarmente per ogni ufficio. Nell'App Temperature Comfort gli Admin possono automatizzare l'accensione/ spegnimento del riscaldamento impostando la temperatura desiderata sia in condizioni di presenza nell'ambiente che in assenza. Tutto quanto è valido sia per la modalità estate che per la modalità inverno. Inoltre, sarà possibile stabilire dopo quanti secondi di inattività nell'ufficio si dovrà spegnere il riscaldamento.

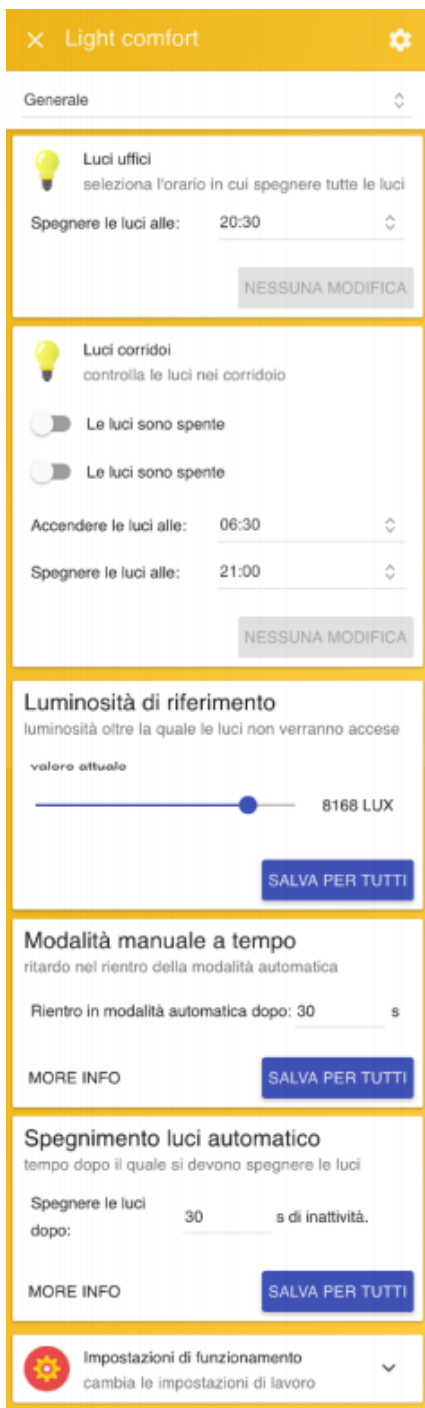


Figura 11. App light comfort admin

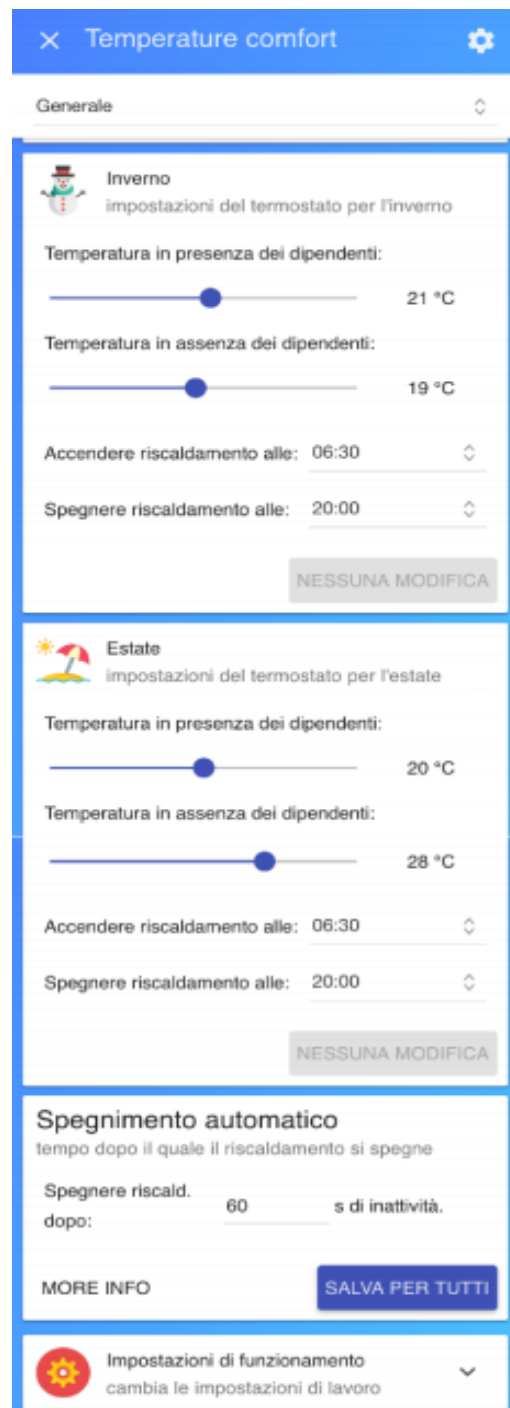


Figura 12. App temperature comfort

### 3.4.3 Gestione delle logiche dell'ADR

Il sistema BEMS installato rende l'edificio F40 un edificio flessibile, esempio di smart building di 2nd generazione in grado interagire con le reti energetiche e di adattare in modo flessibile la domanda e la curva di prelievo in funzione delle richieste inviate.

Attualmente il sistema è in grado di gestire le luci dei corridoi, ovvero in caso di richiesta di flessibilità è possibile disattivare la linea di alimentazione denominata luce normale, tale azione si traduce nello spegnimento di una ogni tre lampade posizionate nel corridoio come riportato nella figura seguente.



**Figura 13. Schema delle linee di alimentazione apparecchi luminosi presso l'edificio F40**

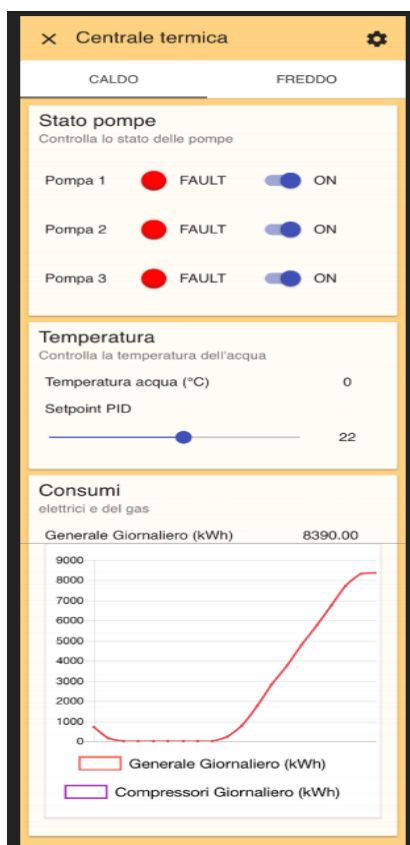
Tale azione può essere effettuata su tutti e tre i piani dell'edificio. Le potenze installate consentono di fornire un'indicazione sul potenziale di flessibilità offerta attualmente dall'edificio come riportato nella tabella seguente:

**Tabella 2. Suddivisione delle potenze installata sulla linea luce normale per ciascun piano**

Piano di riferimento	Potenza installata (kW)
Piano terra	1,6
Piano primo	1,7
Piano secondo	2,8

Inoltre, nel periodo estivo, quando il condizionamento dell'edificio è interamente affidato al vettore elettrico, è possibile agire sul set point dei termostati degli uffici. Infatti aumentando i set point delle singole stanze, entro range accettabili sia per normativa che secondo le preferenze fornite dai singoli utenti, è possibile ridurre la richiesta energetica a livello di centrale termica in risposta alle richieste di terza parte o in funzione di segnali di prezzo ricevuti.

### 3.4.4 Centrale termica



Nella Centrale Termica sono stati installati tre dispositivi Apio: ▶ 2x DIN8 ▶ 1x IS4.0 che permettono di effettuare le seguenti misurazioni/attuazioni:

- Stato pompe
- Allarme pompe
- Comando on/off pompe
- Set-point mandata
- Temperatura mandata
- Temperatura ritorno
- Delta caldo
- Apertura valvola
- Set-point PID
- FM compressori
- FM generale

Nell'App Centrale Termica è possibile controllare e monitorare quindi lo stato delle pompe ed eventuali allarmi, comandare l'accensione/spengimento delle singole pompe, regolare il setpoint di mandata, monitorare le temperature di mandata e ritorno (nonché il delta), monitorare l'apertura delle valvole e regolarle attraverso un set-point PID. Infine è possibile visualizzare il consumo della FM dei compressori e la FM generale.

Figura 14. App Centrale termica

### 3.4.5 Interfacciamento con impianto FV

Attualmente il monitoraggio dei consumi elettrici delle varie linee del 1° piano dell'edificio F40, viene effettuato attraverso degli Smart Meter in grado di comunicare con un gateway locale e quindi con l'infrastruttura di Smart Building F40.

È stato progettato l'interfacciamento della piattaforma Smart Building F40 con il sistema di acquisizione dell'impianto FV con accumulo come segue: il gateway locale provvederà all'invio dei dati di consumi elettrici delle varie linee del 1° piano dell'edificio F40, attraverso un Web Service che verrà implementato ad hoc su un pc dedicato in Casaccia. Allo stesso tempo, il web service si predisporrà anche a ricevere i dati dell'impianto FV con accumulo. Pertanto ci sarà una doppia funzione di invio/ricezione dei dati da/per il Web Service messo a disposizione dall'infrastruttura dello Smart Building F40. Allo stesso tempo, si implementerà un web service speculare lato FV che a sua volta riceverà i dati dell'edificio e invierà i dati del FV per le varie simulazioni. L'obiettivo è quello di inviare i dati di consumo elettrico delle varie linee del 1° piano dell'edificio F40, campionati

al minuto, al fine di integrare tali dati con quelli del FV presente sull'edificio. Il FV, simulerà infatti l'alimentazione di tale piano dell'edificio. I dati verranno inviati quindi attraverso un web service con protocollo HTTP. Pertanto sono stati progettati due casi d'uso di scambio dati tra Smart Building F40 e impianto FV.

I due casi d'uso individuati e descritti di seguito sono i seguenti:

ID	Nome casi d'uso	Ambito specifico	Contesto applicativo	Area di Gestione
	Dati di consumo elettrico 1° piano F40 al minuto	Smart Building F40	Smart Buildings	Pc dedicato in Casaccia
	Dati FV	Smart Building F40	Smart Buildings	Pc dedicato in Casaccia

- **Caso d'Uso " invio dati di consumo elettrico 1° piano F40 al minuto "**

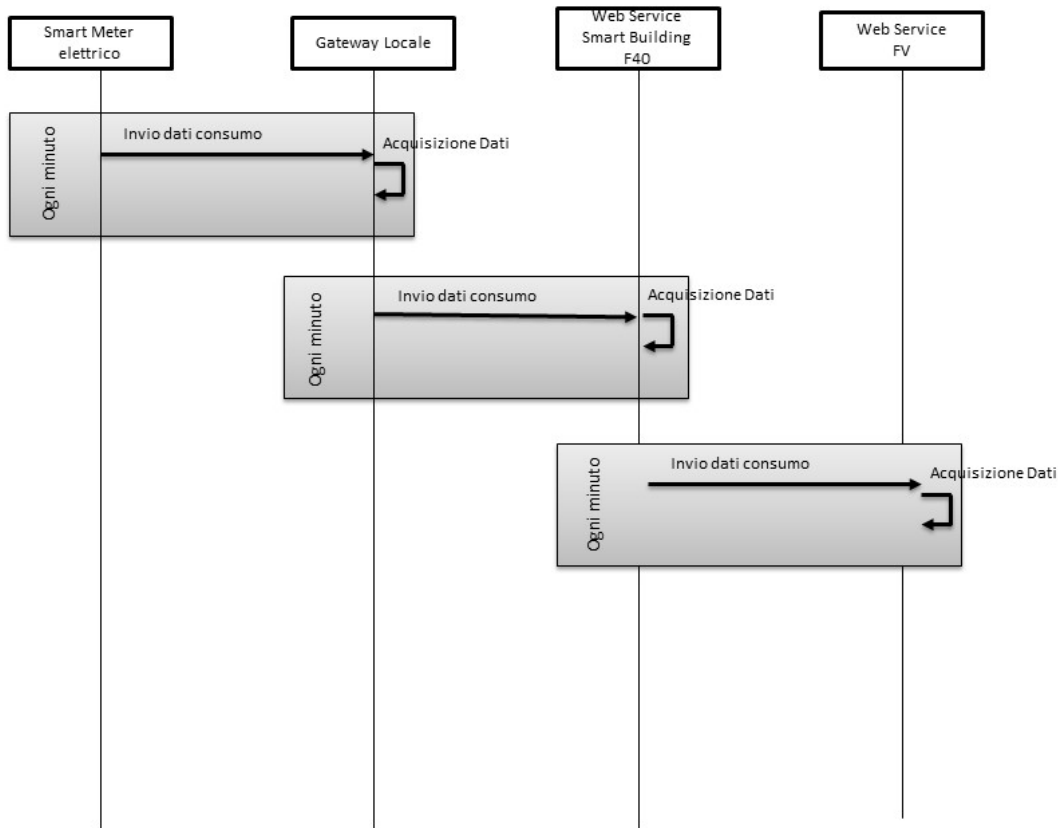
Descrizione:

ID	Nome Caso d'Uso
	<b>Invio dati di consumo elettrico 1° piano F40 al minuto</b>
<b>Obiettivo (max 3 righe)</b>	
L'obiettivo è quello di inviare i dati di consumo elettrico delle varie linee del 1° piano dell'edificio F40, campionati al minuto, al fine di integrare tali dati con quelli del FV presente sull'edificio. Il FV, simulerà infatti l'alimentazione di tale piano dell'edificio. I dati verranno inviati attraverso un web service con protocollo HTTP.	
<b>Descrizione (max 10 righe)</b>	
Il gateway locale dello Smart Building F40, provvederà all'invio dei dati dei consumi elettrici delle varie linee del 1° piano dell'edificio F40, con protocollo HTTP, attraverso un web service che verrà implementato ad hoc su un pc dedicato in Casaccia. Tali dati verranno ricevuti a loro volta da un web service speculare dell'impianto FV.	

Attore	Descrizione	VINCOLI	LOCAZIONE			
Smart Meter	Sistema di misura del consumo elettrico delle varie linee gestito dall'architettura Smart Building F40.		Quadri elettrici dell'edificio			
Gateway locale	Gateway per la comunicazione verso l'esterno; funge da centralina per la raccolta dei dati provenienti dalla rete di sensori e l'attuazione dei comandi.	Comunicazione con i Meter elettrici	Nel quadro elettrico dell'edificio			
Web Service Smart Building F40	Servizio sviluppato per l'interfacciamento della piattaforma con l'impianto FV. Si occupa di inviare/ricevere dati al/dal Web Service FV.	Comunica con protocollo HTTP	Pc dedicato in Casaccia			
Web Service FV	Servizio sviluppato per l'interfacciamento dell'impianto FV con la piattaforma Smart Building F40. Si occupa di inviare/ricevere dati al/dal Web Service dello Smart Building F40.	Comunica con protocollo HTTP	Pc dedicato in Casaccia			
Informazione	Owner	Utilizzatore	Sistemi destinatari	Utilizzatore(i) fuori dalla specifica area di gestione	Sistemi destinatari fuori dalla specifica area di gestione	<b>SENSIBILITA' DEL DATO</b>
Dati consumo smart meter	Smart Building F40	Smart Building F40	Gateway locale	Aggregatore, impianto FV	Web Service FV	Dati sensibili, ceduti a discrezionalità dello Smart Building F40.

Attività:

N	Quando svolge l'attività?	Attività	Descrizione attività	Produttore info	Ricevitore info	Info scambiata	VINCOLI Formato Dati (FD) Protocollo Applicativo (PA);
1	Periodicamente (1 minuto)	Acquisizione e dati da Smart Meter delle varie linee 1° piano F40	Gli Smart meters presenti sulle varie linee inviano i dati di consumo al Gateway locale di edificio.	Smart Meter	Gateway locale	Misure dei consumi elettrici in W o kWh	FD: double PA:
2	Periodicamente (1 minuto)	Invio consumo istantaneo delle varie linee al WS Smart Building F40	Il gateway locale invia i dati di consumo elettrico delle varie linee al WS Smart Building F40.	Gateway locale	WS Smart Building F40	Misure dei consumi elettrici in W o kWh	FD: PA:
3	Periodicamente (1 minuto)	Invio consumo istantaneo delle varie linee al WS FV	Il WS Smart Building F40 invia i dati di consumo elettrico delle varie linee al WS FV.	WS Smart Building F40	WS FV	Misure dei consumi elettrici in W o kWh	FD: PA: HTTP



Le misure di consumo del 1° piano dell'edificio F40, che verranno inviate, sono le seguenti:

- Luci 1° piano:
  - potenza attiva fase L1
  - potenza attiva fase L2
  - potenza attiva fase L3
  - potenza attiva di linea
  - potenza reattiva fase L1
  - potenza reattiva fase L2
  - potenza reattiva fase L3
  - potenza reattiva di linea
- Linea Fan coil 1° piano:
  - potenza attiva fase L1
  - potenza attiva fase L2
  - potenza attiva fase L3
  - potenza attiva di linea
  - potenza reattiva fase L1
  - potenza reattiva fase L2
  - potenza reattiva fase L3
  - potenza reattiva di linea
- Forza motrice 1° piano:
  - potenza attiva fase L1
  - potenza attiva fase L2
  - potenza attiva fase L3
  - potenza attiva di linea
  - potenza reattiva fase L1
  - potenza reattiva fase L2
  - potenza reattiva fase L3
  - potenza reattiva di linea
- **Caso d'Uso " Invio dati impianto FV al minuto "**

Descrizione:

ID	Nome Caso d'Uso
	<b>Invio dati impianto FV al minuto</b>
<b>Obiettivo (max 3 righe)</b>	
L'obiettivo è quello di inviare i dati dell'impianto FV, campionati al minuto, al fine di integrare tali dati con quelli dello Smart Building F40. I dati verranno inviati attraverso un web service con protocollo HTTP.	
<b>Descrizione (max 10 righe)</b>	
Il Web Service FV, provvederà all'invio dei dati dell'impianto FV, con protocollo HTTP, attraverso un web service che verrà implementato ad hoc su in pc dedicato in Casaccia. Tali dati verranno ricevuti a loro volta da un web service speculare dello Smart Building F40	

Attore	Descrizione	VINCOLI	LOCAZIONE
Impianto FV	Sistema di produzione energia elettrica che alimenterà virtualmente il 1° piano dell'edificio F40.		Sul tetto dell'edificio

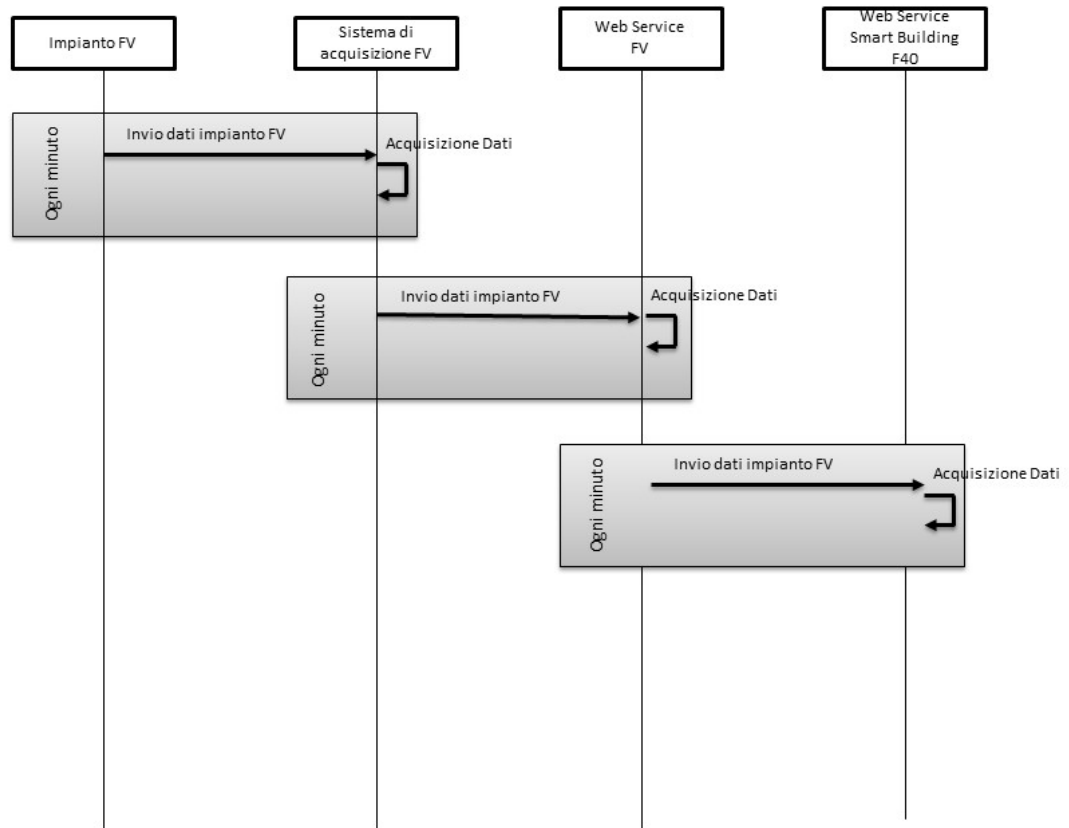
Sistema di acquisizione FV	Sistema per la comunicazione dell'impianto verso l'esterno; funge da centralina per la raccolta dei dati provenienti dalla rete di sensori FV e l'attuazione dei comandi.	Comunicazione impianto FV	con	Sul tetto dell'edificio
Web Service Smart Building F40	Servizio sviluppato per l'interfacciamento della piattaforma con l'impianto FV. Si occupa di inviare/ricevere dati al/dal Web Service FV.	Comunica protocollo HTTP	con	Pc dedicato in Casaccia
Web Service FV	Servizio sviluppato per l'interfacciamento dell'impianto FV con la piattaforma Smart Building F40. Si occupa di inviare/ricevere dati al/dal Web Service dello Smart Building F40.	Comunica protocollo HTTP	con	Pc dedicato in Casaccia

Informazione	Owner	Utilizzatore	Sistemi destinatari	Utilizzatore(i) fuori dalla specifica area di gestione	Sistemi destinatari fuori dalla specifica area di gestione	SENSIBILITA' DEL DATO
Dati impianto FV	impianto FV	impianto FV	Sistema di acquisizione FV	Smart Building F40	Web Service Smart Building F40	Dati sensibili, ceduti a discrezionalità del FV

Attività:

N	Quando si svolge l'attività?	Attività	Descrizione attività	Produttore info	Ricevitore info	Info scambiata	VINCOLI Formato Dati (FD) Protocollo Applicativo (PA);
1	Periodicamente (1 minuto)	Acquisizione e dati impianto FV	I sensori presenti sul FV inviano i dati al sistema di acquisizione FV	Sensori FV	sistema di acquisizione FV	dati impianto FV	FD: PA:
2	Periodicamente (1 minuto)	Invio dati impianto FV al WS FV	Il sistema di acquisizione FV invia i dati dell'impianto FV al WS FV	sistema di acquisizione FV	WS FV	dati impianto FV	FD: PA:
3	Periodicamente (1 minuto)	Invio dati impianto FV al WS Smart Building F40	Il WS FV invia i dati dell'impianto FV al WS Smart Building F40.	WS FV	WS Smart Building F40	dati impianto FV	FD: PA: HTTP





Le misure dell'impianto FV con accumulo, che verranno inviate, sono le seguenti:

- potenza prodotta dall'impianto FV (sia sulle singole fasi che complessiva)
- potenza assorbita dai carichi di cabina (climatizzazione, apparecchiature varie e PC di cabina).
- SOC batterie
- potenza erogata/assorbita dalle singole batterie.

### 3.5 Applicazione smart windows nell'edificio F40

Delle attività smart building presso l'edificio F40 del Centro Ricerche Casaccia di ENEA fa parte anche una piccola applicazione dedicata a soluzioni avanzate per serramenti per ambiti residenziale e terziario. L'applicazione è partita nel precedente triennio, grazie alla collaborazione non onerosa di

- Schuco Italia, che ha messo a disposizione i serramenti in alluminio a taglio termico con doppia anta, una a doppia apertura manuale (vasista o bandiera) e una con apertura a bandiera motorizzata e gestibile localmente dall'utente, tramite opportuno pulsante, o remotamente da un sistema di gestione automatizzato.
- Pellini spa, che ha fornito gli elementi vetrati con schermature in intercapedine, attivabili remotamente attraverso un sistema di gestione automatizzato.

Sono stati forniti 4 serramenti per quattro ambienti posti al primo piano dell'edificio F40, tutti con orientamento ovest. Nel corso del precedente triennio sono stati conclusi i lavori hardware relativi ai serramenti ed alla rete di controllo locale KNX, allacciata alla rete centrale dell'edificio attraverso un'interfaccia appositamente sviluppata. Il sistema è stato opportunamente collaudato verificando la corretta installazione dei circuiti e elettrici e di comunicazione tra le unità locali di gestione e le apparecchiature. Le attività nella presente annualità si sono concentrate su diversi aspetti, atti a rendere finalmente operativo il sistema di monitoraggio implementato.

### 3.5.1 Implementazione dell'applicativo di gestione

È stato sviluppato l'applicativo di gestione dei serramenti all'interno del sistema generale di gestione dell'edificio F40. L'applicativo consente di gestire i vari elementi di impianto, attraverso la scheda di integrazione appositamente progettata e realizzata per interfacciare il software di gestione dell'edificio con il sistema KNX, quello utilizzato dai serramenti e dalle schermature in intercapedine per questo tipo di applicazioni.

Lo screenshot delle applicazioni è presentato in Figura 15, e l'applicativo in oggetto è lanciato dal pulsante chiamato temporaneamente schuco (ultima colonna, secondo dall'alto). Il pulsante attiva la gestione del sistema che include:

- Temperatura di mandata e ritorno circuito caldo fan-coil
- Temperatura di mandata e ritorno circuito freddo fan-coil
- Apertura chiusura del serramento, modulabile con continuità
- Apertura/chiusura tenda del vetro più grande del serramento
- Apertura/chiusura tenda del vetro più piccolo del serramento
- Modulazione apertura/chiusura tenda del vetro più grande del serramento
- Modulazione apertura/chiusura tenda del vetro più piccolo del serramento

Si noti che per quanto riguarda le temperature dei circuiti idronici non viene eseguito alcun controllo ma soltanto un monitoraggio delle grandezze.

Si fa notare che, allo stato attuale, manca ancora il monitoraggio della portata di acqua ai fan-coil, necessaria per il calcolo della spesa energetica in ogni ambiente. Questo aspetto sarà dettagliato al punto precedente.

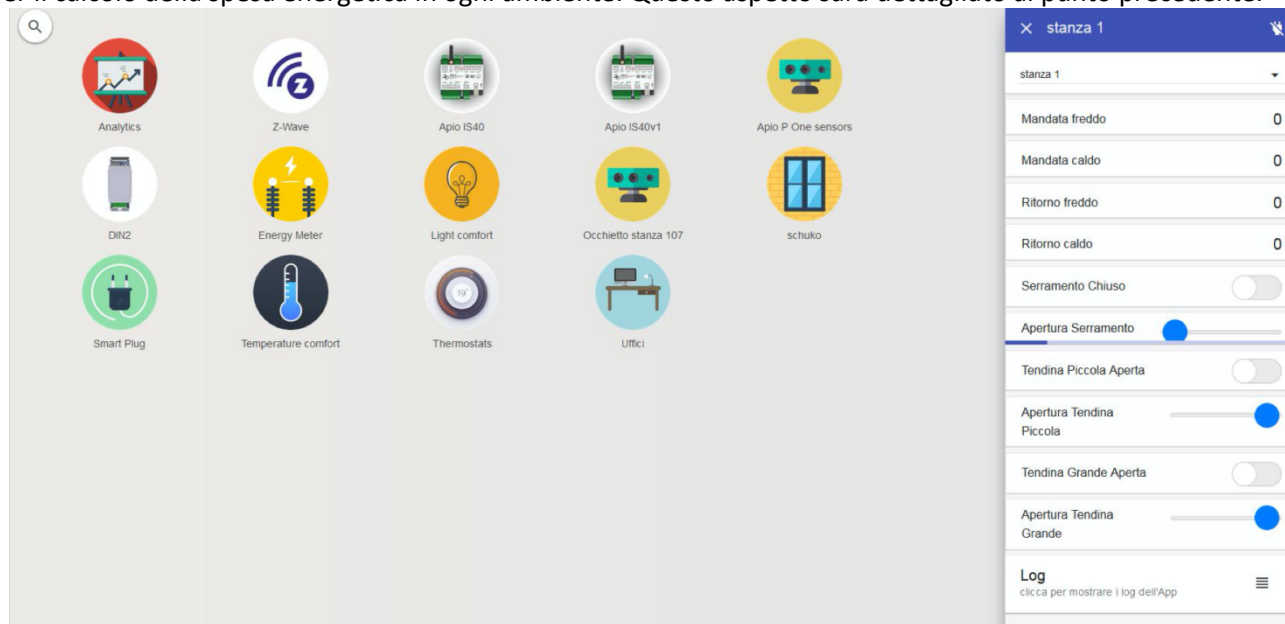


Figura 15. Screenshot sistema di controllo F40 e applicativo per smart windows

In figura precedente si riporta il log della stanza 1, a puro titolo esemplificativo, da cui si evince come ad ogni lettura (impostabile liberamente in funzione del regime di monitoraggio da imporre) siano registrati i dati delle grandezze e degli eventi. In relazione alle scelte legate al sistema di monitoraggio dell'acqua circolante nei fan coil, l'applicativo potrebbe includere e quindi visualizzare:

- La portata d'acqua circolante nei fan-coil
- L'energia spesa dai fan-coil per mantenere l'ambiente a set-point, attraverso la nota formula  $Q=mc_pDT$ , essendo  $m$  la massa d'acqua (ottenuta a partire dal dato di portata e dalla densità),  $c_p$  il calore specifico e  $DT$  la differenza di temperatura tra mandata e ritorno del fan-coil.

Log stanza 1												
Select Properties							Export Excel					
Data	KIIX On / KIIX Off	Apertura serramento	Apertura tendina grande	Apertura tendina piccola	Log	Mandata caldo	Mandata freddo	Serramento Aperto / Serramento Chiuso	Tendina Grande Aperta / Tendina Grande Chiusa	Tendina Piccola Aperta / Tendina Piccola Chiusa	Ritorno caldo	Ritorno freddo
08/01/2020 - 23:43:29.164	0	0	100	100		0	0	1	12	74	0	0
08/01/2020 - 23:38:20.153	0	0	100	100		0	0	1	12	74	0	0
08/01/2020 - 23:33:11.144	0	0	100	100		0	0	1	12	74	0	0
08/01/2020 - 23:28:02.136	0	0	100	100		0	0	1	12	74	0	0
08/01/2020 - 23:22:53.129	0	0	100	100		0	0	1	12	74	0	0
08/01/2020 - 23:17:44.123	0	0	100	100		0	0	1	12	74	0	0
08/01/2020 - 23:12:35.114	0	0	100	100		0	0	1	12	74	0	0
08/01/2020 - 23:07:26.108	0	0	100	100		0	0	1	12	74	0	0
08/01/2020 - 23:02:17.101	0	0	100	100		0	0	1	12	74	0	0
08/01/2020 - 22:57:08.093	0	0	100	100		0	0	1	12	74	0	0
08/01/2020 - 22:51:59.087	0	0	100	100		0	0	1	12	74	0	0
08/01/2020 - 22:46:50.253	0	0	100	100		0	0	1	12	74	0	0
08/01/2020 - 22:41:41.074	0	0	100	100		0	0	1	12	74	0	0

Figura 16. Log dell'applicativo per smart windows

### 3.5.2 Determinazione della portata d'acqua ai fan coil

Questa attività era fondamentale per determinare la quantità di energia fornita all'ambiente, essendo misurate senza le temperature di mandata e ritorno dei circuiti caldo e freddo. Dalle azioni di analisi impiantistiche preliminari è emerso:

- Impianto molto vetusto, con tubazioni evidentemente degradate; dalle operazioni di svuotamento e riempimento stagionale, è stata constatata la sporcizia dell'acqua a causa di ruggine, frammenti metallici e sedimenti vari.
- L'impianto è azionato da pompe a velocità costante ed ha una distribuzione a colonne verticali, con ogni colonna a servizio di due fan-coil adiacenti ad ogni singolo piano.
- La portata misurata sul circuito di distribuzione della linea fan-coil risultava essere molto bassa (1.6m<sup>3</sup>/h), a testimonianza di una circolazione notevolmente ridotta a causa dello stato di degrado del sistema di distribuzione

Sulla base di queste informazioni, si è tentata una prima misura sulla linea di mandata al fan-coil con un misuratore di portata con flussimetro ad ultrasuoni PCE-TDS 100HS (20-108 mm). Le misure non sono state considerate affidabili per le condizioni limite di misura (diametro della tubazione e lunghezza del tratto rettilineo disponibile), nonché per le sopra menzionate condizioni del fluido in circolazione.

Si è quindi passati ad una misura più invasiva su un ventilconvettore di riferimento, con un flussimetro a turbina (SEA Modello YF – S201C, range di lavoro di 1 – 30 l/min, pressione di esercizio <1.75 Mpa, attacco idrico da mezzo pollice), precedentemente calibrato. I dati sono stati acquisiti mediante una scheda Arduino UNO ed un programma di lettura e storage del dato, di cui si riporta il listato:

```
// Sensore di portata idrica per misure di portata fan coil F40 by Francesco Romanello//
#define INPUTIMPULSI 6 //Definisce il pin 6 come ingresso degli impulsi generati dal sensore di portata
volatile uint16_t impulsi = 0;
volatile uint8_t ultimostatopindiflusso;
volatile uint32_t timerultimoindicediflusso = 0;
volatile float indicediflusso;
long tempo;
```

```

int ore = 0;
int minuti = 0;
int secondi;
SIGNAL(TIMERO_COMPA_vect) {
  uint8_t x = digitalRead(INPUTIMPULSI);
  if (x == ultimostatopindiflusso) {
    timerultimoindicediflusso++;
    return;
  }
  if (x == HIGH) {
    impulsii++;
  }
  ultimostatopindiflusso = x;
  indicediflusso = 1000.0;
  indicediflusso /= timerultimoindicediflusso;
  timerultimoindicediflusso = 0;
}
void useInterrupt(boolean v) {
  if (v) {
    OCROA = 0xAF;
    TIMSKO |= _BV(OCIE0A);
  } else {
    TIMSKO &= ~_BV(OCIE0A);
  }
}
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(INPUTIMPULSI, INPUT);
  digitalWrite(INPUTIMPULSI, HIGH);
  ultimostatopindiflusso = digitalRead(INPUTIMPULSI);
  useInterrupt(true);
}
void loop()
{
  float litritotali = impulsii;
  litritotali /= 450.0; //Coefficiente di taratura (Conversione impulsi litri)
  tempo = millis();
  secondi = tempo / 1000;
  //if (secondi > 59) (minuti = minuti + 1) & (secondi = 0);
  //if (minuti > 59) (ore = ore + 1) & (minuti = 0);
  String stringa;
  stringa += "Litri totali= ";
  stringa += String(litritotali, 4);
  stringa += F(" ");
  stringa += "Impulsi totalizzati= ";
  stringa += String(impulsii);
  stringa += F(" ");
  //stringa += String(ore);
  //stringa += ":";
  //stringa += String(minuti);
  //stringa += ":";
  stringa += String(secondi);
  Serial.println(stringa);
  //Serial.print(impulsii); Serial.println(" impulsi");
  //Serial.print(litritotali); Serial.println(" litri totali");
  delay(100);
}

```

}

Dalle misure è emerso che la portata non è propriamente costante ma varia di  $\pm 10\%$  intorno a un valore di circa 50-60 lit/h, cui corrisponde una velocità del fluido intorno a 0.1 m/sec. Il dato è stato confermato da misure di portata per travaso. Il dato conferma, altresì, la scarsa circolazione di acqua attraverso le tubazioni dell'impianto, con conseguente ridotta capacità di scambio termico e quindi scarsa efficienza energetica. Al tempo stesso, si è dovuto constatare che per la misura di portata è inevitabile il ricorso a strumentazione invasiva, con sensori da inserire sulla linea del singolo fan-coil e di collegarli al sistema di monitoraggio e controllo, per potere eseguire le analisi energetiche programmate. Il lavoro sarà eseguito e programmato durante l'inverno/primavera del 2020, in modo da avere il sistema pronto per il monitoraggio durante la stagione estiva.

### 3.5.3 Misura dell'illuminamento per il controllo delle schermature solari dinamiche

La misura dell'illuminamento sul piano di lavoro, o in un altro punto dell'ambiente opportunamente correlato, è di cruciale importanza per garantire il comfort visivo degli occupanti e ottimizzare il comportamento energetico dell'edificio, per quanto attiene alla gestione dell'illuminazione naturale e artificiale. Da notare che il controllo dell'involucro dinamico, con l'attivazione delle schermature dinamiche, va ad impattare anche la risposta dei consumi termici (climatizzazione estiva/invernale), risultando quindi doppiamente importante.

Le attività di smart building in svolgimento presso l'edificio F40 mirano all'implementazione di un sistema di sensori ambientali in grado di fornire i dati rilevanti al sistema di controllo, per la verifica delle condizioni di benessere e la gestione ottimizzata degli impianti, traguardando il tema cruciale dei costi, per rendere tali sistemi economicamente sostenibili. Per tale ragione sono stati testati una serie di sensori di luminosità in grado di comunicare wireless con il sistema di gestione dell'edificio. Alcuni di questi sensori si sono dimostrati palesemente inadeguati dopo analisi preliminari, viceversa il sistema multi sensore ERS prodotto da ELSYS è risultato più affidabile e, per tale ragione si è provveduto ad eseguire indagini aggiuntive. Il multisensore compatto e di piccole dimensioni include sonde per: presenza, concentrazione di CO<sub>2</sub>, illuminamento, temperatura e umidità relativa dell'aria ambiente, risultando così particolarmente adatto per il monitoraggio ambientale indoor e attuare di strategie di controllo impiantistico di vario tipo. Per quanto riguarda la sonda luxmetrica, essa ha un range di 4-2000 lux, con risoluzione 1 lux ed accuratezza  $\pm 10$  lux.

Il sensore in questione e quello di riferimento (sonda luxmetrica TESTO 545, accuratezza in accordo con lo standard DIN EN 13032-1 classe C secondo lo standard DIN 5032-7, collegata ad acquirente multi canale per analisi di comfort TESTO) sono stati montati sulla parete nord di un ufficio dell'edificio F40 dotato di finestra con esposizione ovest, si veda figura 00000. I sensori sono stati montati a circa 140 cm da terra, con campo visivo aperto, fornendo quindi dati di illuminamento verticale. È stata quindi avviata una campagna di misura, condotta nel mese di dicembre, per osservare la risposta dei due sensori con un sampling di acquisizione di 2 minuti (120 secondi).

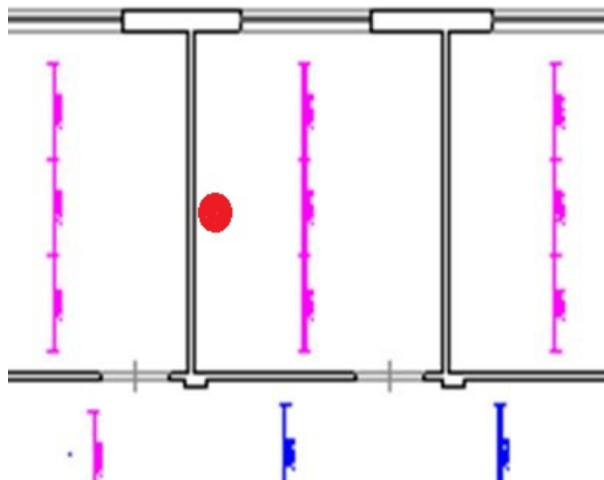


Figura 17. Posizionamento dei sensori per il confronto dei valori di illuminamento

A titolo esemplificativo, si riportano i risultati relativi alle giornate del 9 e 11 dicembre. I dati di illuminamento mediati sull'orario lavorativo standard ENEA (8.00-16.00) sono stati rispettivamente 256 e 267 lux per il multisensore e il luxmetro di riferimento; il giorno successivo i valori medi sono stati 210 e 220 lux.

Le figure 13 e 14 riportano l'andamento dell'illuminamento sul piano verticale con grafici a dispersione per il multisensore (serie 1) e il luxmetro di riferimento. Gli andamenti confermano il buon accordo delle misure medie, anche se picchi di differenza fino a 30 lux sono registrati, questo avviene soprattutto per bassi livelli di illuminamento (inferiori a 200 lux). Fino a 300 lux si osserva una generalizzata sottostima della misura da parte del multi sensore, per livelli superiori l'accordo tra le letture aumenta e non si riscontrano trend di sovra/sottostima, questo comportamento è ben promettente per la fase di monitoraggio. Ulteriori test saranno condotti per la verifica e il confronto nel caso di misure di illuminamento orizzontale.

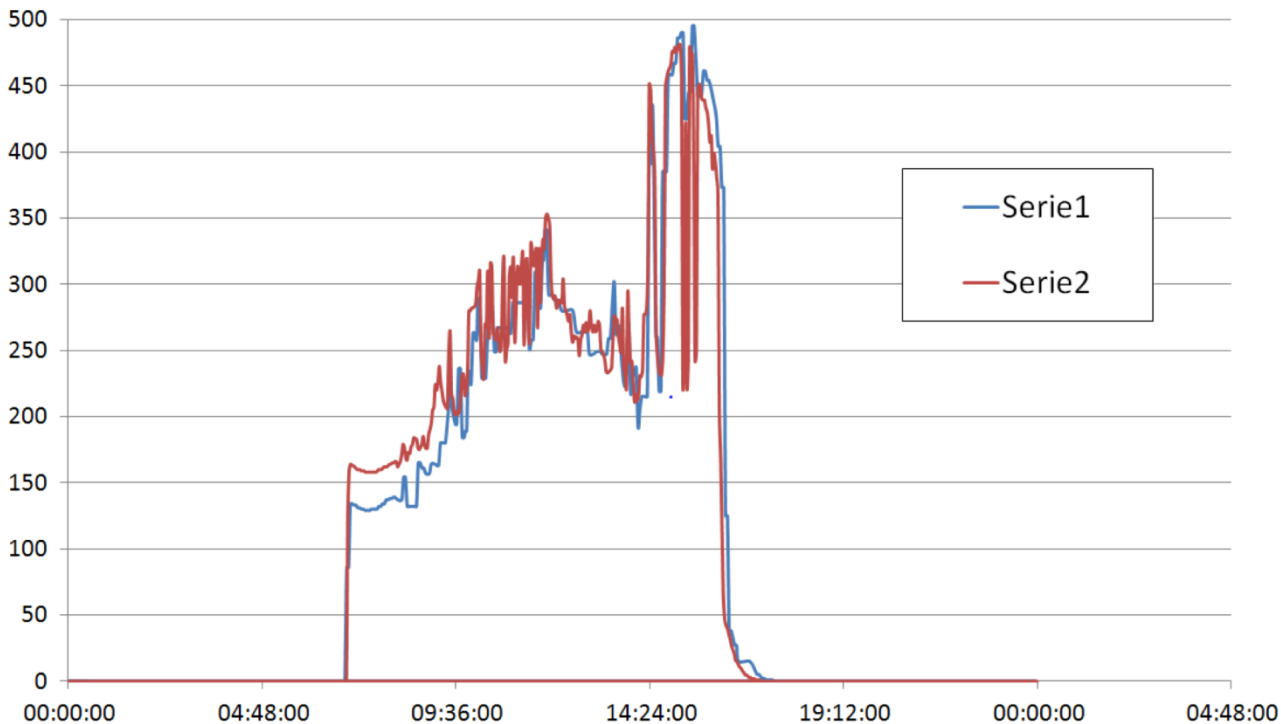
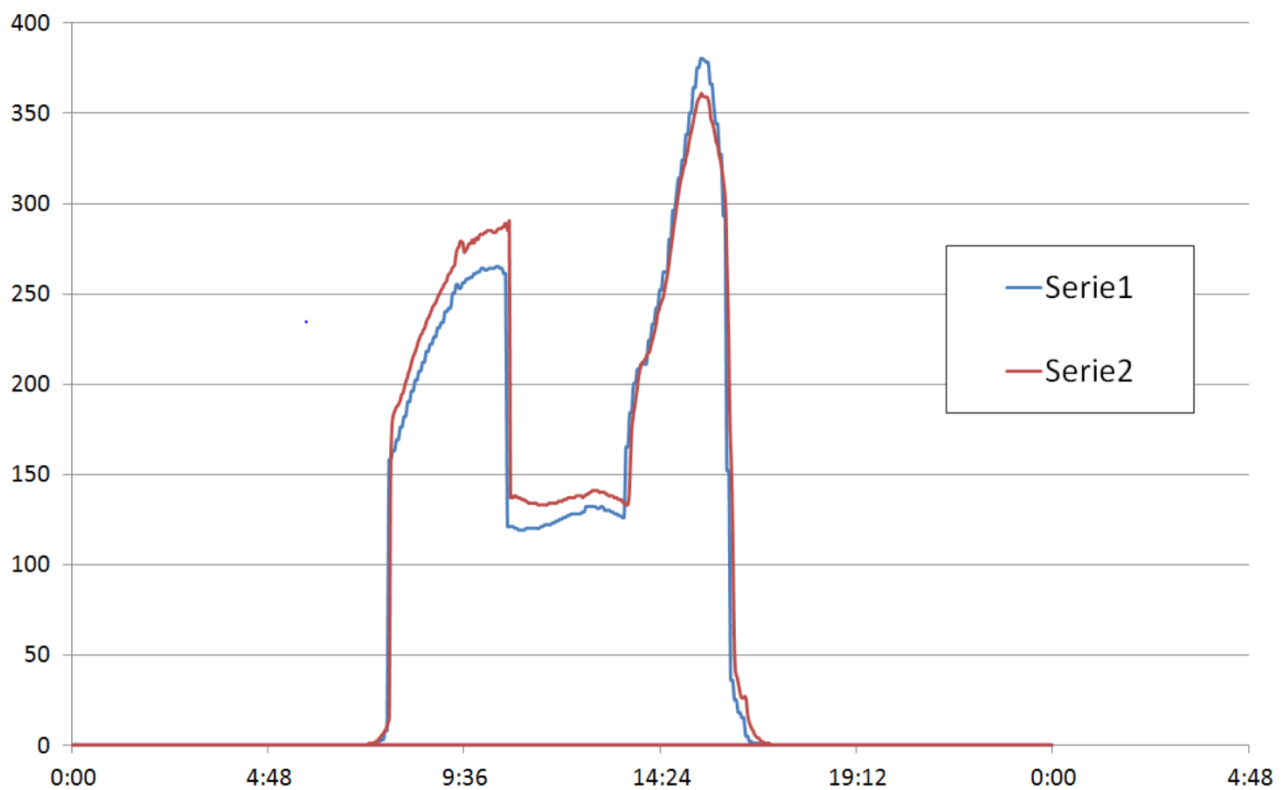


Figura 18. Andamento dell'illuminamento del multisensore (serie 2) e del luxmetro di riferimento - 9 dicembre



**Figura 19. Andamento dell'illuminamento del multisensore (serie 2) e del luxmetro di riferimento - 11 dicembre**

Se il confronto della grandezza fisica è una prima approssimazione soddisfacente, è però necessario osservare il problema della stabilità e la sicurezza della misura per quanto riguarda il sampling e l'acquisizione. Il problema non si pone ovviamente per il sensore di riferimento, bensì per il multisensore, gestito dal sistema wireless, cui compete il trasferimento di una notevole mole di dati. Si nota in questo caso che il sampling è mediamente oltre due minuti e quaranta secondi, con alcune letture sotto i due minuti e con picchi di 5 minuti. Questo aspetto è particolarmente critico per la gestione del comfort visivo, giacché repentine variazioni del clima luminoso esterno possono dar luogo a fenomeni di discomfort, se non addirittura abbagliamento, che il sistema dinamico dei serramenti potrebbe non contrastare efficacemente se la risposta del sistema di gestione non avviene prontamente. Questo aspetto sarà approfondito nella fase di programmazione della campagna di misura 2020.

## 4 L'impianto Fotovoltaico con Accumulo dell'edificio F40 di ENEA Casaccia

### 4.1 Descrizione

L'impianto fotovoltaico con accumulo dell'edificio F40 del CR Enea Casaccia aggiunge ulteriore flessibilità all'edificio grazie all'accumulo elettrico di cui è dotato ed inoltre offre la possibilità di immettere energia in Rete. L'impianto è costituito da un sistema fotovoltaico di 18,2 kWp, un sistema di accumulo al Litio da 12 kWh e un Energy Management System (EMS) che sovrintende alle logiche di gestione dei flussi energetici. L'impianto è anche dotato di un sistema di SMART metering per il controllo e il monitoring delle grandezze elettriche e meteo necessarie al funzionamento dell'impianto stesso. Tale sistema di metering è dedicato all'impianto fotovoltaico con accumulo ed è quindi un sistema distinto dal sistema di metering utilizzato dal BEMS di edificio in quanto deve possedere caratteristiche molto stringenti in termini tempi di risposta. L'impianto si compone di 56 moduli FV al silicio cristallino ad elevata efficienza posizionati sulla copertura dell'edificio mediante zavorre appositamente dimensionate. L'esposizione del campo fotovoltaico è stata scelta coerentemente ai vincoli imposti dalla copertura dell'edificio riducendo al minimo l'impatto visivo e garantendo al tempo stesso una buona producibilità annua. L'impianto è collegato in parallelo alla rete BT del Centro ed in particolare al Quadro Elettrico Generale dell'edificio F40. Le apparecchiature di potenza, così come quelle di trasmissione dati e il sistema di SMART Metering, sono collocate dentro una cabina elettrica appositamente realizzata per il Dimostratore. Per i dettagli sulla progettazione del Dimostratore si rimanda al Report afferente all'Accordo di Programma ENEA-MISE PAR 2017, Progetto D6 "SVILUPPO DI UN MODELLO INTEGRATO DI SMART DISTRICT URBANO".

### 4.2 Il generatore fotovoltaico

Il generatore fotovoltaico è costituito da:

- moduli fotovoltaici connessi in serie per la formazione delle stringhe;
- quadri elettrici in corrente continua;
- cavi elettrici per il collegamento tra moduli e tra questi ai quadri elettrici;
- strutture di sostegno dei moduli;

Il generatore fotovoltaico della potenza nominale di 18,2 kW utilizza la configurazione serie (S) ed è suddiviso in 6 stringhe indipendenti, di cui 4 costituite dai 9 moduli e 2 da 10 moduli.

Ciascuna stringa ha una potenza nominale di 3,25 kW/ 2,925 kW, rispettivamente per le stringhe da 10 e 9 moduli, ed impiega moduli di potenza nominale di 325 W.

Di seguito vengono riportate le caratteristiche del generatore fotovoltaico e dei suoi componenti principali, ovvero stringhe e moduli.

#### Caratteristiche elettriche del Generatore fotovoltaico:

• Potenza nominale	18,2 kW
• Numero di moduli	56
• Superficie captante	95,93 m <sup>2</sup>
• Estensione generatore	95,93 m <sup>2</sup>
• Numero di stringhe	6
• Esposizione (azimut)	-20°
• Inclinazione (tilt)	15°
• Tensione massima @STC (Voc)	408 V (stringhe da 10) /367,2 V (stringhe da 9)
• Tensione alla massima potenza @STC (Vm)	333 V (stringhe da 10) /299,7 V (stringhe da 9)
• Corrente di corto circuito @STC (Isc)	10,41 A
• Corrente alla massima potenza @STC (Im)	9,77 A

#### Caratteristiche elettriche delle Stringhe:

- Numero moduli fotovoltaici in serie 10/9



- Potenza nominale (Pnom) 3,25 kW (stringhe da 10) / 2,925 kW (stringhe da 9)
- Tensione a circuito aperto (Voc) 408 V (stringhe da 10) /367,2 V (stringhe da 9)
- Corrente di corto circuito (Isc) 10,41 A
- Corrente alla massima potenza (Im) 9,77 A

#### Caratteristiche dei Moduli:

- Produttore LG
- Modello NeoN2 325 N1C-A5
- Tecnologia Silicio monocristallino (c-Si)
- Potenza nominale (Pnom) 325 W
- Tensione a circuito aperto (Voc) 40,8 V
- Tensione alla massima potenza (Vm) 33,3 V
- Corrente di corto circuito (Isc) 10,41 A
- Corrente alla massima potenza (Im) 9,77 A
- Dimensioni (L x P x H) 1.686 x 1.016 x 40mm
- Efficienza 19 %
- Certificazioni IEC 61215, IEC 61730-1/-2, IEC 61701, IEC 62716, UL 1703 e ISO 9001



**Figura 20. Il Generatore fotovoltaico**

#### Quadri elettrici in corrente continua

L'impianto fotovoltaico è costituito da 2 quadri di campo QCAM1 e QCAM2 così costituiti:

##### QCAM1

- Grado di protezione IP65
- Numero di ingressi 2
- Max corrente per ciascun ingresso 10,41 A
- Max tensione ingresso 408 V
- Max corrente uscita 10,41 A
- Inom dispositivo di prot. in ingresso 25 A
- Inom dispositivo di prot.in uscita 25 A
- Scaricatori Si

- Classe dello scaricatore II
- Tensione di servizio continuativo 800 V

QCAM2

- Grado di protezione IP65
- Numero di ingressi 4
- Max corrente per ciascun ingresso 10,41 A
- Max tensione ingresso 367,2 V
- Max corrente uscita 10,41 A
- Inom dispositivo di prot. in ingresso 25 A
- Inom dispositivo di prot.in uscita 25 A
- Scaricatori Si
- Classe dello scaricatore II
- Tensione di servizio continuativo 800 V



Figura 21. I Quadri di campo QCAM1 e QCAM2

Strutture di sostegno dei moduli

I pannelli sono sostenuti e fissati direttamente su zavorre in calcestruzzo SunBallast da 50 kg, con inclinazione a 15°, mediante graffe in alluminio e apposita bulloneria, senza necessità di operare forature sulla copertura dell'edificio F40. Il dimensionamento delle zavorre è stato fatto sulla base della verifica del carico ammissibile della copertura dell'edificio. Le strutture di sostegno dei moduli sono così composte:

- Sun Ballast Zavorra 15° n° 64
- Graffe terminali n° 32
- Graffe centrali n° 96
- Guaina bituminosa n° 64
- Barre in acciaio con giunti modulabili
- Kit collare posteriore per fissaggio barra n° 83
- Kit piastra per incrocio barre n° 16
- Pesi supplementari da 50 Kg n° 19
- Guaina bituminosa per pesi supplementari n° 19



Figura 22. Particolare della struttura di sostegno dei moduli

#### 4.3 I sensori meteo

La sperimentazione sull'impianto prevede che siano disponibili, con una cadenza temporale di un minuto, l'irradianza sul piano orizzontale, l'irradianza sul piano dei moduli FV, la temperatura ambiente, l'umidità relativa e la temperatura dei moduli. Sono stati quindi installati opportuni sensori sulla copertura dell'edificio F40 ed integrati nel sistema di Smart metering descritto nel prosieguo del documento.



Figura 23. I sensori di radiazione solare e il sensore di temperatura e umidità relativa

Le grandezze meteo così acquisite verranno salvate a fine giornata su un NAS in modo da disporre di uno storico di impianto necessario al funzionamento degli algoritmi previsionali di cui si doterà l'impianto. L'elenco dei sensori effettivamente installati è riportato più avanti nel documento.

#### 4.4 L'inverter fotovoltaico e il sistema di accumulo

Il Dimostratore utilizza 3 inverter monofase ABB REACT- UNO-4.6-TL prodotti da ABB collegati su fasi distinte in modo da realizzare una configurazione trifase equivalente. Ciascun inverter presenta due ingressi indipendenti per la sezione fotovoltaica ed è accoppiato elettricamente con il sistema di accumulo costituito da 2 unità ABB REACT-BATT-AP1 da 2 kWh prodotto a ABB in collaborazione con Panasonic. L'inverter, oltre a convertire la corrente da continua in alternata, comunica con l'Energy Management System (EMS) del Dimostratore al fine di

gestire in maniera intelligente l'accumulo di energia secondo logiche di Demand Respond che verranno di volta in volta sviluppate. Il protocollo di comunicazione con l'Inverter, e con il Battery Management System (BMS) in esso integrato, è stato reso disponibile da ABB. Di seguito vengono riportate le caratteristiche elettriche dell'inverter.

L'inverter fotovoltaico

**Tabella 3. Caratteristiche elettriche dell'inverter fotovoltaico**

	<b>REACT-UNO-4.6-TL</b>
<b>Produttore</b>	ABB
<b>Ingresso</b>	
Massima tensione assoluta DC	600V
Tensione di attivazione DC	200 V (adj. 120...350 V)
Intervallo operativo di tensione	0.7 x Vstart ...580 V (min 90 V)
Tensione nominale DC (Vdcr)	360 V
Potenza nominale DC (Pdcr)	6000 W
Numero di MPPT Indipendenti	2
Potenza massima DC per ogni MPPT (PMPPTmax)	3000W Derating lineare [520V ≤ VMPPT ≤ 580V]
Intervallo di tensione con MPPT in parallelo	180...520 V
Massima corrente DC (Idcmax) / per ogni MPPT	27 A / 13.5 A
Massima corrente di cortocircuito per ogni MPPT	15 A
Potenza massima di carica (con 3 x REACT-BATT-AP1)	3000 W
Potenza massima di scarica (con 2 x REACT-BATT-AP1)	3000 W
<b>Uscita</b>	
Tipo di connessione alla rete	monofase
Potenza nominale AC	4600 W
Potenza apparente massima	5100 VA
Tensione nominale AC	230 V

Il sistema di accumulo

Il sistema di accumulo utilizza 6 unità ABB REACT-BATT da 2kWh per un totale di 12 kWh: Il sistema permette di accumulare temporaneamente l'energia in eccesso proveniente dal campo fotovoltaico ed utilizzarla nei momenti in cui la richiesta di energia dal carico supera quella prodotta dal fotovoltaico (caso dell'autoconsumo standard) o nei casi in cui le logiche DR impongano ciò. Il sistema di accumulo è provvisto di un sistema di gestione e controllo BMS che in ogni caso garantisce la sicurezza delle batterie. Le caratteristiche del sistema di accumulo sono illustrate nella seguente tabella.

**Tabella 4. Caratteristiche elettriche del sistema di accumulo (singola unità da 2kWh)**

	<b>REACT-BATT-AP1</b>
Produttore	ABB - Panasonic
Tipo	Li-Ion
Potenza di scarica tipica/massima	1.5 kW / 1.8 kW
Potenza di carica massima	1.1 kW
Capacità media utile nella vita	2 kWh (6 kWh, con 3x REACT-BATT-AP1)
Vita utile	>4500 cicli
Vita utile in anni, tipica	10 anni (massimo 9MWh scaricati)
Umidità relativa	5...95% senza condensa
Grado di protezione ambientale	IP21

Dimensioni REACT-BATT-AP1 (H x L x P)	740 mm x 492 mm x 231 mm
Peso	< 37 kg
Sicurezza e EMC	EN62109-1, EN62109-2, conforme alle richieste applicabili della EN60950-1, EN61000-6-2, EN61000-6-3, UN38.3, UN3480



Figura 24. L'inverter fotovoltaico e il sistema di accumulo ABB REACT (unità sulla fase L1)

#### 4.5 L'EMS

L'EMS è costituito da un controller embedded CRIO 9030 prodotto dalla National Instruments, ideale per applicazioni di controllo e monitoraggio ed include un FPGA e un processore real-time con sistema operativo NI Linux Real-Time. Il software di controllo e monitoraggio è scritto in NI Labview ed è stato sviluppato nel laboratorio ENEA DTE-FSD-TEF.

Compito dell'EMS è quello di:

- Gestire l'impianto
- Applicare le strategie di gestione dell'impianto ed inviare i relativi setpoint di potenza alle batterie
- Interrogare il BMS delle batterie
- Interrogare i vari sensori di cui è dotato l'impianto ed acquisire le grandezze di interesse
- Salvare su NAS le grandezze di interesse a fine giornata
- Leggere dal NAS file eventualmente necessari alle strategie di gestione dell'impianto
- Mettere a disposizione di un interfaccia grafica tutte le grandezze necessarie per visualizzare in realtime consumi, immissioni e lo stato di funzionamento dell'impianto.
- Scambiare dati con il PC di cabina per interfacciarsi in realtime con il BEMS dell'edificio F40.



Figura 25. L'EMS e i gateway del sistema di SMART Metering

#### 4.6 Il Sistema di Smart metering

Lo Smart Metering dedicato all'impianto FV con accumulo è costituito da tutti i sensori/meter le interconnessioni e i protocolli di comunicazione tra le apparecchiature in uso e dal sistema di monitoring in tempo reale. Lo Smart Metering è stato sviluppato e validato nel laboratorio ENEA DTE-FSD-TEF con apparecchiature commerciali. Lo schema di principio dello Smart Metering è riportato nella Figura 26 dove è messo in evidenza anche l'EMS e il sistema di supervisione.

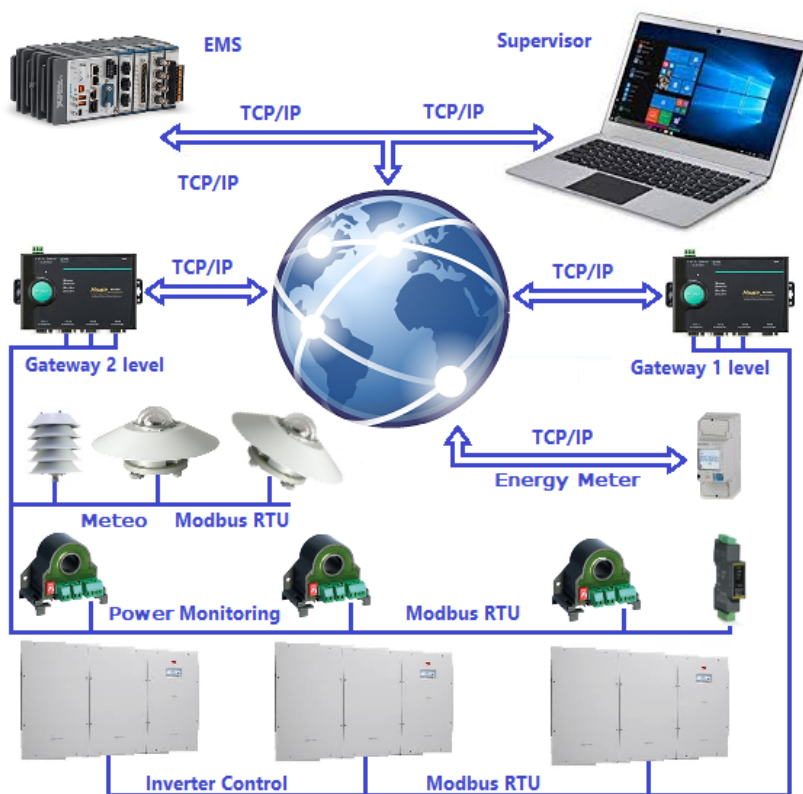


Figura 26. Schema di principio del sistema di SMART Metering

#### 4.7 Test preliminari di comunicazione

Il sistema di Smart Metering si basa su 2 livelli di metering. Il primo livello di metering utilizza l'interfaccia RS485 degli inverter ABB REACT con cui è possibile accedere alle mappe dei registri Modbus di ciascun inverter nonché interrogare e inviare comandi al BMS.

Il secondo livello di Metering è costituito dall'insieme dei meter di potenza montati sulle varie apparecchiature ed in particolare sugli inverter, sulla pompa di calore e dal Contatore di energia prodotta M2 e dai sensori che compongono la stazione meteo.

Lo schema a blocchi di Figura 27, riporta fedelmente ciò che è stato installato nel locale cabina dell'impianto fotovoltaico, le interconnessioni ed i protocolli di comunicazione tra le apparecchiature in uso.

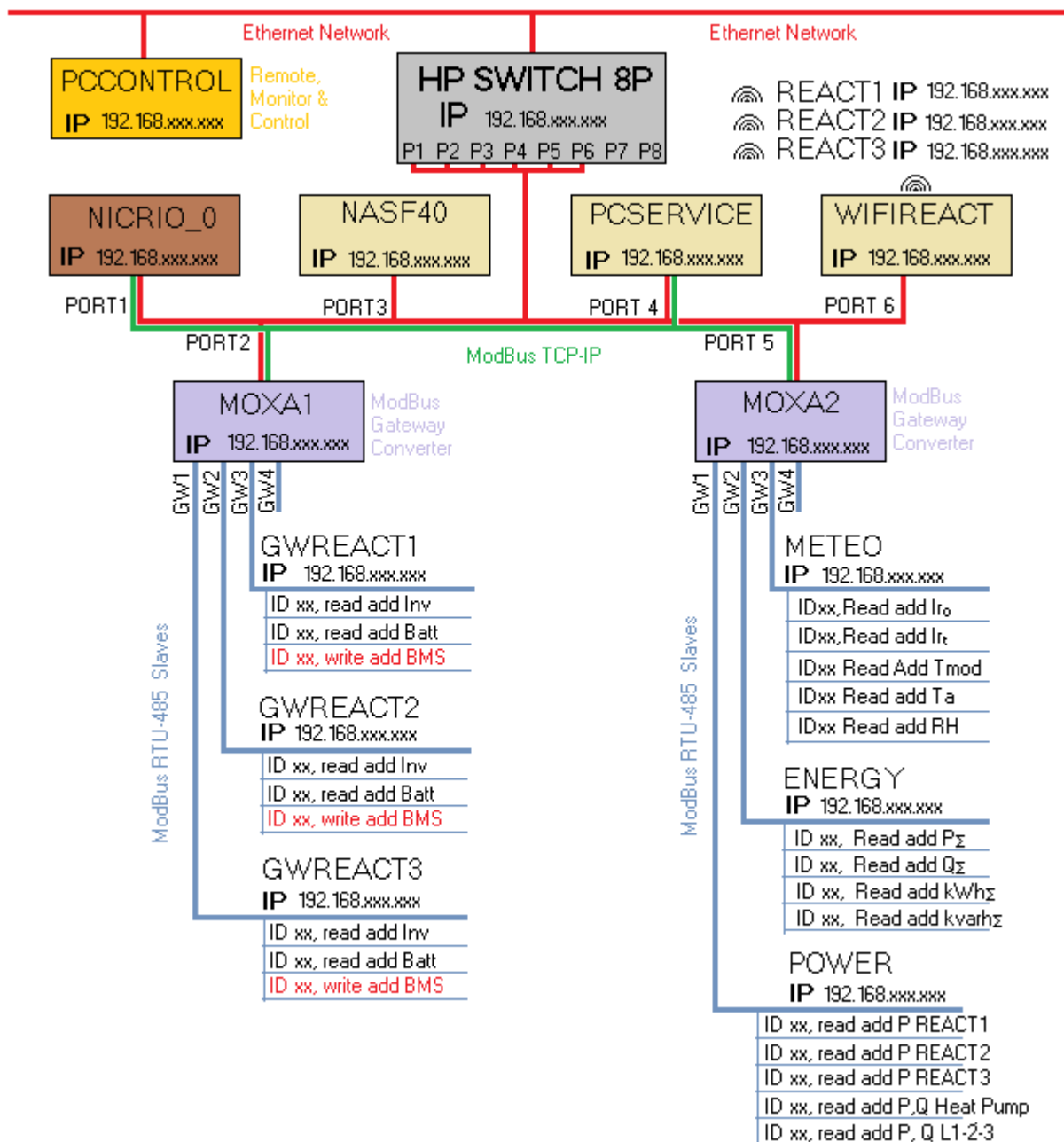


Figura 27. Schema a blocchi del sistema di SMART Metering

Dopo aver testato i protocolli di comunicazione Modbus TCP-IP, e Modbus RTU-485, attività svolta lo scorso anno e descritta nel report di fine attività della Ricerca di Sistema PAR 2018 [4], si è passati al montaggio ed all'installazione di tutte le apparecchiature.

Tutto il sistema di Smart Metering è stato montato nel locale cabina ed è parte integrante dell'impianto fotovoltaico, inoltre si è adottata la soluzione di installare in un quadro apposito tutta la strumentazione informatica e l'EMS. I meter di potenza sono stati installati in prossimità degli inverter e dei carichi di cabina, il contatore di energia vicino al quadro elettrico generale, la stazione meteo sul tetto dell'edificio in prossimità della falda fotovoltaica.

Nella Tabella 5 sono riportati tutte le apparecchiature usate, il numero, la marca, la descrizione e le grandezze misurate:

**Tabella 5. Elenco della strumentazione e dei sensori installati nel sistema di Smart Metering**

Q.tà (n°)	Strumento	Marca	Descrizione	Grandezze misurate e/o utilizzo
1	CompactRIO (CRIO9030)	NATIONAL INSTRUMENTS	Controller con processore programmabile	Gestione Controllo e monitoraggio impianto
1	HPE Switch 8G	HEWLETT PACKARD	Switch di rete a 8 porte	Instradamento rete Lan
2	MB3480	MOXA	Modbus Gateway a 4 porte 10/100 Mbps	Convertitore da ModBus TCP IP a ModBus RTU
4	EMT-1C/50	CONTREL	Energy Power Meter Monofase, ModBus RTU 485	Misura di Potenza attiva e reattiva, tensione e corrente in continua ed alternata
1	EMU-3ea	CONTREL	Energy Power Meter trifase, ModBus RTU 485	Misura di Potenza attiva e reattiva, tensione e corrente trifase alternata
3	TTA-50-03V	CONTREL	Sensore di corrente apribile miniaturizzato	Misura di corrente alternata per Energy Meter EMU3ea
1	MS-40M	EKO	Pirametro con schermo solare e uscita ModBus RTU 485	Misura radiazione solare totale sul piano orizzontale
1	C70QTL080M	FRER	Contatore di energia 80 A Trifase MID	Misura dei kWh prodotti e/o assorbiti
1	MS-40M	EKO	Pirametro con schermo solare e uscita ModBus RTU 485	Misura radiazione solare totale sul piano moduli fotovoltaici
1	MIR HTS		Termoigrometro con schermo solare, uscita ModBus RTU 485	Misura della temperatura ambiente ed Umità Relativa
1	PT100	OMEGA	Termoresistenza al platino da 100Ω a francobollo	Misura di Temperatura della superficie del Modulo fotovoltaico
1	Termocoppia tipo T	OMEGA	Termocoppia rame Costantana a filo	Misura temperatura ambiente di Cabina elettrica



All'installazione dei meter/sensori è seguita la loro configurazione con l'assegnazione degli indirizzi IP e degli ID, a tal proposito sono stati utilizzati dei tools informatici proprietari che ogni costruttore mette a disposizione con l'acquisto dello strumento.

Nella fase successiva è stata verificata la risposta dei meter/sensori alla richiesta dei singoli address. Sono stati testati tutti gli address che verranno poi utilizzati nelle future attività sperimentali.

Questa operazione è stata effettuata con un Tester per reti ModBus TCP/IP, in pratica un software che per mezzo di un PC Remoto interroga gli strumenti Slave e visualizza la loro risposta.

Sono state quindi effettuati i seguenti test di comunicazione tra le principali apparecchiature:

- Configurazione, assegnazione password e interrogazione via web server dei tre Inverter con Accumulo ABB;
- configurazione e interrogazione da remoto di tutti gli Energy Meter della Contrel, trifase e monofase;
- configurazione manuale e interrogazione da remoto del Contatore di Energia;
- configurazione e interrogazione da remoto di tutti i sensori della Stazione Meteo;

La configurazione degli inverter con accumulo ABB REACT è stata eseguita via web server per mezzo dell'hotspot (WIFIREACT) di cabina.

Con il web server è stato possibile impostare i parametri principali dei tre inverter, il numero degli accumuli, la norma CEI 021 di riferimento, la gestione "Massimizzazione Autoconsumo" come strategia standard e le nuove password. Gli indirizzi IP sono stati assegnati manualmente per mezzo del display e pulsanti presenti a bordo macchina.

In Figura 28 si può osservare in forma di grafica il funzionamento di uno degli inverter, è stata utilizzata una giornata con tempo variabile per mettere in evidenza l'energia diretta verso la batteria in seguito alla sua scarica. In blu, l'energia immagazzinata nella batteria nelle prime ore di sole della giornata.

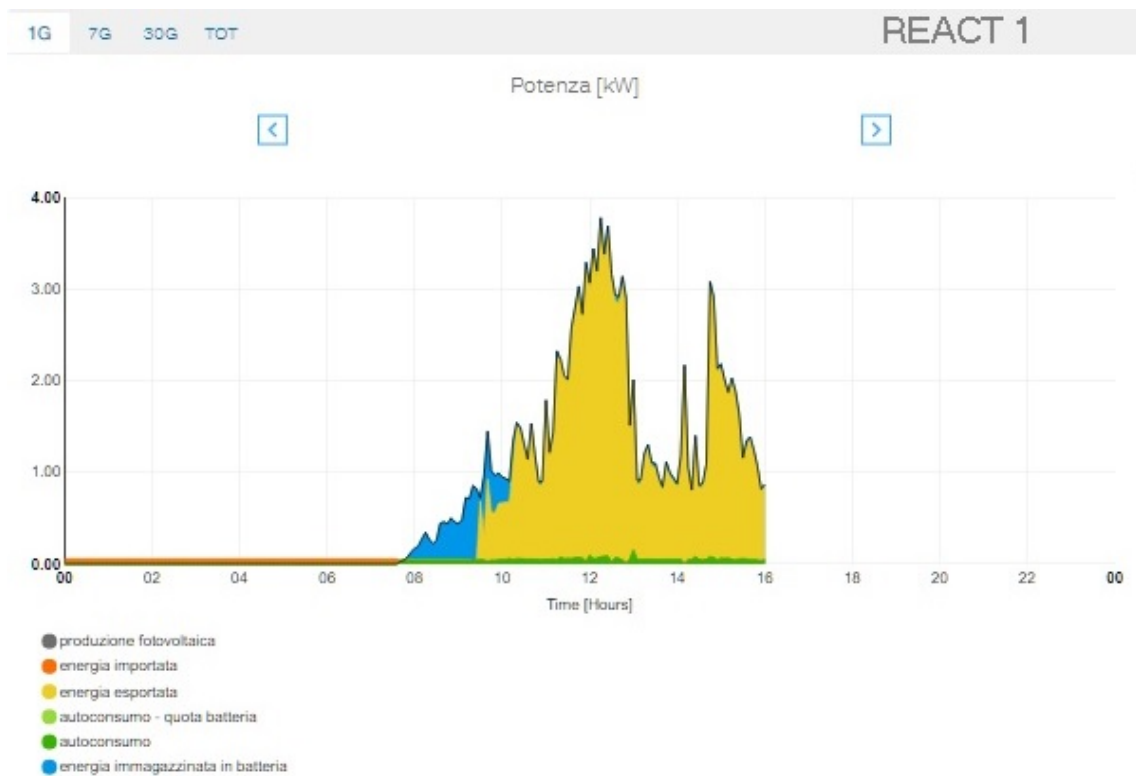


Figura 28. Schermata funzionamento inverter ABB REACT1

In Figura 28 possiamo leggere i dati reali di funzionamento e l'energia totale prodotta dall'inverter ABB REACT1.



Figura 29. Misure inverter ABB REACT1

Dai dati si evince che l'inverter sta immettendo in rete 0,79 kW, e che ha prodotto in questo primo periodo di funzionamento 10,5 kWh in ac.

Per quanto riguarda gli Energy Meter, il Contatore di Energia ed i sensori della Stazione Meteo i test hanno verificato il loro corretto funzionamento e la congruenza delle misure, in particolare nelle figure a seguire sono riportati gli screenshot delle interrogazioni per ogni classe di sensore, qui di seguito in Figura 30 i Sensori Control:

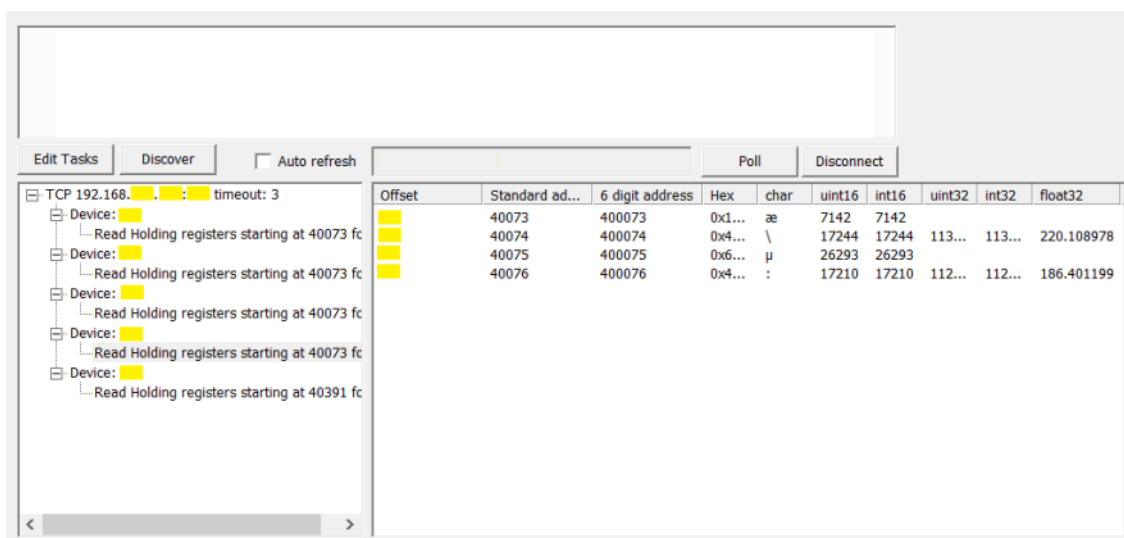


Figura 30. Misure Energy Meter Control

In questo screenshot sono mostrate le interrogazioni per mezzo della rete ethernet a tutti gli Energy Meter Control ed in particolare la risposta dei registri di tensione e corrente 40073 ( Vac) e 40075 (mA).

In Figura 31 è mostrata la risposta dei Contatore di Energia della FRER: Energia prodotta, Energia assorbita, valori istantanei di tensione e potenza e le sue componenti attive e reattive.

Tempo reale		Contatori totali	Contatori tariffa 1	Contatori tariffa 2	Contatori parziali	Valori di bilancio	Info contatore	Allarmi
V1N: 219,3 (V)					S1: -759,8 (VA)			
V2N: 218,8 (V)					S2: -983,2 (VA)			
V3N: 219,0 (V)					S3: -710,3 (VA)			
V12: 379,2 (V)					SSYS: -2453,3 (VA)			
V23: 379,0 (V)					Q1: -10,7 (var)			
V31: 379,8 (V)					Q2: -10,7 (var)			
VSYS: 379,4 (V)					Q3: -9,5 (var)			
A1: -3,5 (A)					QSYS: -30,9 (var)			
A2: -4,5 (A)					F: 50,0 (Hz)			
A3: -3,2 (A)					PHASESEQ: 123			
AN: 1,2 (A)								
ASYS: -3,7 (A)								
PF1: 1,000								
PF2: 1,000								
PF3: 1,000								
PFSYS: 1,000								
P1: -759,5 (W)								
P2: -983,0 (W)								
P3: -710,0 (W)								
PSYS: -2452,4 (W)								


Figura 31. Misure Contatore di Energia

E' stato effettuato anche il test di comunicazione dei sensori della Stazione Meteo situata a bordo della falda fotovoltaica che consiste in un piranometro per la misura della radiazione totale sul piano orizzontale, un piranometro per la misura della radiazione solare sul piano moduli (Tilt=15°), un termoigrometro per la misura di Temperatura ambiente e di Umidità Relativa ed un misuratore di temperatura di superficie dei moduli fotovoltaici eseguito con una PT100. I sistemi di conversione analogico digitali sono integrati nei sensori e questo facilita molto il montaggio e le operazioni di verifica e diagnostica degli stessi.

In Figura 32 e Figura 33 sono riportati il test dei piranometri e del sensore di temperatura moduli eseguito in fase di configurazione, in Figura 34 l'interrogazione dei sensori via rete ethernet, in particolare del termoigrometro.

EKO Sense Devices

- Transmitters
  - 4-20mA
  - Modbus RTU
  - EKO PT100



ModBus Configuration

Port Name: COM3 Refresh Time: 1000 ms

Baudrate: 9600 Node Index: [Yellow]

Parity: None Refresh Serial Ports [ ] Configuration Reading Success..

Node	Address	Value	Address	Value
Serial Num.	0	S18118011	TC-c	30 0,000e+000
Sensor Model	8	MS-40M	TC-d	32 0,000e+000
Irrad. Min.	13	0 W/m <sup>2</sup>	TC-e	64 0,000e+000
Irrad. Max	14	1600 W/m <sup>2</sup>	TC-f	66 0,000e+000
Acqui. Mode	15	1	TC-g	68 0,000e+000
Sensitivity	16	12,150 uV/W/m <sup>2</sup>	NL-k1	34 0,000e+000
Temp. Format	18	1	NL-k2	36 1,000e+000
Millivolts	19	1,620 mV	NL-k3	38 0,000e+000
Irradiance	21	133,347 W/m <sup>2</sup>	NL-k4	40 0,000e+000
Temperature	23	-40,00 °C	mb ID	42 [Yellow]
Password	25	•	mb Baud.	43 9600
TC-a	26	1,000e+000	mb Par.	45 None
TC-b	28	0,000e+000		

Send Config Log Data

Figura 32. Misura radiazione solare su Address 21

EKO Sense Devices

- Transmitters
  - 4-20mA
  - Modbus RTU
  - EKO PT100

ModBus Configuration

Port Name: COM3    Refresh Time: 1000 ms

Baudrate: 9600    Node Index: [Yellow]

Parity: None    Refresh Serial Ports     Configuration    Reading Success..

---

**Node**

	Address	Value		Address	Value
Serial Num.	0	Temperature Sens	TC-c	30	0,000e+000
Sensor Model	8	PT100	TC-d	32	0,000e+000
Irrad. Min.	13	0 W/m <sup>2</sup>	TC-e	64	0,000e+000
Irrad. Max	14	1600 W/m <sup>2</sup>	TC-f	66	0,000e+000
Acqui. Mode	15	5	TC-g	68	0,000e+000
Sensitivity	16	62,500 uv/W/m <sup>2</sup>	NL-k1	34	0,000e+000
Temp. Format	18	1	NL-k2	36	1,000e+000
Millivolts	19	0,000 mV	NL-k3	38	0,000e+000
Irradiance	21	0,000 W/m <sup>2</sup>	NL-k4	40	0,000e+000
Temperature	23	16,52 °C	mb ID	42	[Yellow]
Password	25	[Yellow]	mb Baud.	43	9600
TC-a	26	1,000e+000	mb Par.	45	None
TC-b	28	0,000e+000			

Send Config    Log Data

Figura 33. Misura di Temperatura superficiale moduli fotovoltaici su Address 23

Offset	Standard ad...	6 digit address	Hex	char	uint16	int16	uint32	int32	float32
[Yellow]	30026	300026	0xF...	@	64576	-960			
[Yellow]	30027	300027	0x4...	W	16727	16727	109...	109...	13.499084
[Yellow]	30028	300028	0x3...	f	12675	12675			
[Yellow]	30029	300029	0x4...	a	16993	16993	111...	111...	56.298351
[Yellow]	30030	300030	0xD...	h	56168	-9368			
[Yellow]	30031	300031	0x4...	S	17034	17034	111...	111...	69.428528

Figura 34. Misure di temperatura ambiente e RH su Address 30026/7 e 30030/1

In questa fase del lavoro sono stati eseguiti e quindi ultimati con esito positivo tutti i test di comunicazione tra le principali apparecchiature, il lavoro qui presentato è solo un sintetico riepilogo delle attività svolte, basti pensare che un solo Energy Meter esegue 80 misure tutte interrogabili in real time, 30 misure ne esegue il Contatore di Energia, diverse decine gli altri sensori e i registri macchina degli inverter, questo può dare una idea delle potenzialità di una rete di misuratori gestita con il protocollo ModBus qui presentato.

#### 4.8 Il locale Cabina

Il locale cabina è stato appositamente progettato per il Dimostratore e posa su un basamento in calcestruzzo armato anch'esso oggetto di specifica progettazione. Il locale è destinato a contenere tutte le apparecchiature di potenza, quelle di elaborazione, acquisizione e trasmissione dati. Sono quindi presenti in cabina gli inverter

fotovoltaici, il sistema di accumulo, l'EMS, il sistema di SMART metering il PC dedicato all'impianto nonché una pompa di calore aria-aria per la climatizzazione del locale.



**Figura 35. Il locale cabina impianto F40 in fase di posa in opera**



**Figura 36. Il locale cabina impianto F40 con le apparecchiature installate**

## 5 L'impianto fotovoltaico con Accumulo di Lampedusa

### 5.1 Descrizione

Il Dimostratore di Lampedusa, realizzato nel 2015, è costituito da due sezioni, una monofase da 4,2 kWp e 10 kWh di accumulo al piombo e una trifase da 10 kWp e 16 kWh di accumulo a litio. La sezione trifase sarà oggetto di sperimentazione nel corso delle successive annualità del PTR. Il Dimostratore è stato installato presso l'Osservatorio ENEA di Lampedusa e si differenzia da quello dell'edificio F40 del CR Enea Casaccia per sito di installazione, tipologia di utenza e tipologia di sistema di accumulo. Il carico elettrico è essenzialmente dovuto alla strumentazione e alle sperimentazioni in corso nell'Osservatorio e quindi si differenzia fortemente dall'andamento a campana tipico di edifici dove si svolgono attività del terziario. Per poter svolgere la sperimentazione prevista dal PTR-2019-2021, è stato necessario aggiornare la sensoristica: si è quindi provveduto ad installare un nuovo piranometro per la misura della radiazione solare sul piano orizzontale e un nuovo misuratore di temperatura ambiente e umidità relativa come mostra la figura seguente.



Figura 37. Il sensore di radiazione solare e di temperatura ambiente di nuova installazione

### 5.2 L'impianto fotovoltaico

La superficie interessata all'installazione del campo fotovoltaico è pianeggiante e di forma rettangolare pari a circa 50 m x 8 m con il lato lungo nella direzione nord ovest – sud est. L'area in questione caratterizzata da rocce affioranti risulta parzialmente ricoperta di ghiaia e presenta lungo il perimetro un cordolo di altezza media pari a circa 30 cm, sormontato da una recinzione in legno di altezza pari a circa 140 cm.



**Figura 38. L'impianto fotovoltaico (14,2 kWp) con accumulo di Lampedusa**

L'impianto è dotato anche di una colonnina di ricarica monofase per veicoli elettrici con due uscite che possono essere abilitate mediante apposita scheda elettronica.

### **5.3 Il Locale cabina**

L'impianto di Lampedusa è dotato di una cabina elettrica in cui sono posizionate le apparecchiature di potenza i sistemi di accumulo nonché il sistema di Smart metering e l'EMS. Nel corso delle prossime annualità verrà svolta la sperimentazione sulla sezione trifase da 10 kWp e 16 kWh di accumulo al litio.



**Figura 39. Il locale cabina dell'impianto fotovoltaico con accumulo di Lampedusa**

L'impianto è dotato di un proprio EMS identico a quello montato per il dimostratore F40 della Casaccia. Differente è invece il sistema di Smart metering sostanzialmente perchè l'accumulo di Lampedusa si differenzia per protocollo di comunicazione che nel caso specifico è il CAN-BUS. Il resto della catena di sensori/meter sono analoghi a quelli montati sull'impianto F40 della Casaccia. Al fine di dare una visione complessiva del Dimostratore di Lampedusa, si riporta il suo schema a blocchi.

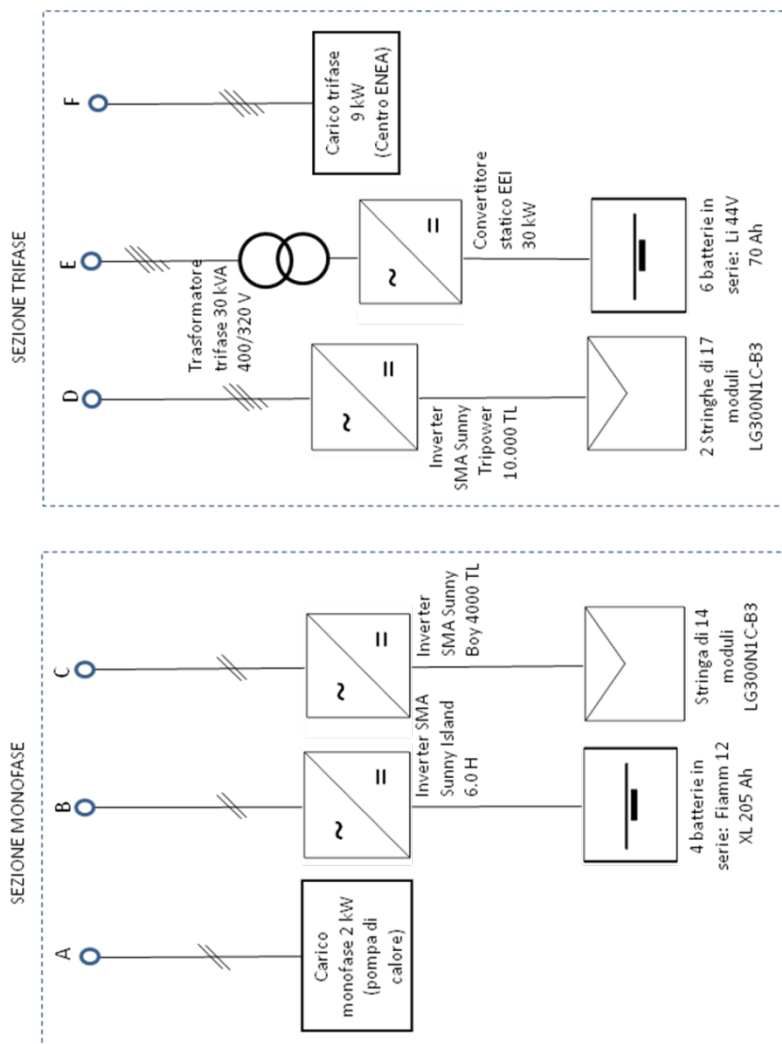


Figura 40. Schema a blocchi Dimostratore Lampedusa

La sezione monofase del Dimostratore non sarà oggetto di sperimentazione in quanto non si dispone dei protocolli proprietari del convertitore bidirezionale SMA Sunny Island 6.0. Viceversa, la sezione trifase è completamente gestibile poiché il sistema di accumulo al Litio è stato costruito su specifiche ENEA e pertanto sono disponibili tutte le informazioni necessarie alla sperimentazione.



## 6 Conclusioni

Sull'edificio F40 del CR ENEA Casaccia è stato realizzato un dimostratore di SMART Building di seconda generazione costituito da sistemi intelligenti per l'illuminazione e la climatizzazione, da sensori IoT, da un impianto fotovoltaico con accumulo al litio completamente controllabile, da sistema per la gestione dei carichi di edificio (BEMS) e da un sistema di gestione dei flussi energetici (EMS) finalizzato allo scambio intelligente di energia con la rete. Il prototipo così realizzato consentirà di implementare diverse strategie di gestione sia dei carichi di edificio (limitatamente a quelli che sono controllabili) sia dello Storage dell'unità di produzione. La sinergia tra BEMS e EMS consentirà di ottimizzare la gestione dell'intero edificio con riferimento a alle strategie che di volta in volta si vorranno implementare. Saranno individuate regole per il controllo efficiente dei serramenti, sia per quanto riguarda il controllo solare e l'abbagliamento (lamelle orientabili e retraibili) che per quanto riguarda la ventilazione e il comfort termico (anta del serramento ad apertura/chiusura automatizzata). Per ciò che concerne l'unità di produzione con accumulo sarà implementata e provata in campo la strategia che si basa sul prezzo dell'energia (PUN) già individuata e simulata nell'annualità 2016 della Ricerca di Sistema [5] a cui si rimanda per i dettagli.

Nel corso delle successive annualità saranno applicate sull'impianto tecniche di previsione della produzione e del carico elettrico di edificio che fanno uso delle reti neurali artificiali (ANN) che saranno utilizzate dal sistema di gestione dell'impianto di produzione (EMS) al fine di interagire con le reti energetiche e di adattare in modo flessibile la domanda e la curva di prelievo in funzione di segnali di prezzo tramite sistemi di Automated Demand Response (ADR) e tecnologie Block-Chain.

## 7 Riferimenti bibliografici

- [1] DIRETTIVA (UE) 2018/844 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 30 maggio 2018;
- [2] A. Antonelli, S. Fumagalli, G. Leonardi, F. Pieroni, S. Pizzuti, F. Romanello, S. Romano, M. Zinzi, “Sperimentazione di metodi di monitoraggio innovativi, studio di scenari di demand-response e sviluppo di soluzioni tecnologiche orientate alla gestione energetica in edifici terziari”. Report RdS/PAR2016/076.
- [3] F. De Lia, R. Schioppo, R. Lo Presti, “Prototipo di un impianto fotovoltaico con accumulo su un edificio del CR Enea Casaccia con logiche di DRM: Test dei protocolli di comunicazione tra controllore impianto e i sistemi di accumulo dedicati al prototipo”. Report RdS/PAR2017/052
- [4] F. De Lia, S. Castello: “Sviluppo in ambiente Matlab-Simulink di un Gestore di flussi energetici per edifici intelligenti”. Report RdS/PAR2016/010

## 8 Abbreviazioni ed acronimi

BEMS: Building Energy Management System;  
EMS: Energy Management System;  
FM: Forza Motrice;  
ADR: Automated Demand Response;  
ANNs: Artificial Neural Networks;  
PID: Proportional-Integral-Derivative;  
MPPT: Maximum Power Point Tracker;  
CRIO: Compact Reconfigurable Input Output.