



## Ricerca di Sistema elettrico

# Analisi di funzionamento di una microgrid energetica basata su produzione di energia elettrica fotovoltaica a servizio di ambiente costruito e mobilità elettrica

S. Agostinelli, F. Cumo, E. Pennacchia, C. Tomazzoli

## ANALISI DI FUNZIONAMENTO DI UNA MICROGRID ENERGETICA BASATA SU PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA FOTOVOLTAICA A SERVIZIO DI AMBIENTE COSTRUITO E MOBILITA' ELETTRICA

S. Agostinelli, F. Cumo, E. Pennacchia, C. Tomazzoli

Aprile 2022

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità

Obiettivo: Tecnologie

Progetto: 1.7 - Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Work package: 1 - Local Energy District

Linea di attività: 1.77 "Energy communities: sistema di machine learning per la gestione di una microgrid energetica basata su produzione di energia fotovoltaica

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work package: Claudia Meloni, ENEA

*Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Realizzazione di un dimostratore di una microgrid, gestita da un sistema di machine learning appositamente creato in seguito alla realizzazione delle infrastrutture nell'ambito delle attività di greening"*

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Giambattista Guidi

Responsabile scientifico CITERA, Università di Roma La Sapienza: Prof. Fabrizio Cumo

## Indice

SOMMARIO .....	4
1 INTRODUZIONE .....	5
2 DIGITAL TWIN INTEGRATO CON I SISTEMI DI INTELLIGENZA ARTIFICIALE .....	6
3 ARCHITETTURA DEL SISTEMA .....	8
3.1 IL METODO .....	8
3.2 PIANO OPERATIVO .....	8
3.2.1 <i>Stato avanzamento lavori</i> .....	8
3.3 IL CASO DI STUDIO: CITERA .....	9
3.3.1 <i>Rete di sensori</i> .....	11
3.3.2 <i>Infrastruttura</i> .....	13
3.3.3 <i>Elettra</i> .....	16
3.3.4 <i>Zabbix</i> .....	17
4 ANALISI SPERIMENTALE DEI CONSUMI EFFETTIVI MONITORATI CON IL SISTEMA DI INTELLIGENZA ARTIFICIALE ..	19
4.1 CONSUMI DERIVANTI DAI PRIMI DATI MONITORATI ALL'INTERNO DELLO SMART LAB .....	26
4.2 CONSUMI TOTALI DELLO SMART LAB.....	27
5 RICONOSCIMENTO AUTOMATICO DEGLI APPARATI .....	28
5.1 GESTIONE AUTOMATIZZATA DEI CONSUMI .....	31
5.2 ESTRAZIONE DELLE REGOLE DI COMPORTAMENTO .....	31
6 CONCLUSIONI .....	32
7 ALLEGATO 1 - PRESTAZIONI ENERGETICHE E CERTIFICAZIONI DEL LABORATORIO .....	33
7.1 CALCOLO PREVISIONALE DEI CONSUMI ENERGETICI DEL LABORATORIO EFFICIENTATO .....	33
7.1.1 <i>Indicatori di prestazione energetica</i> .....	33
7.1.2 <i>Indicatori di prestazione energetica</i> .....	33
7.2 ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA (ANTE OPERAM) .....	34
7.3 ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA (POST OPERAM).....	37
8 ALLEGATO 2 - DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DELLE MICROGRID REALIZZATA .....	40
9 NORMATIVA .....	46
10 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	53
11 CURRICULUM SCIENTIFICO DEL GRUPPO DI LAVORO: CITERA .....	54

## Sommario

Nella presente relazione è riportata la descrizione dello sviluppo progettuale riguardante la messa a punto di un sistema di controllo e gestione di una microgrid locale presso la Facoltà di Architettura di Sapienza. Il progetto consiste nella configurazione di un ambiente-dimostratore sperimentale (Smart LAB) dotato di un sistema di produzione di energia fotovoltaica ed una colonnina di ricarica elettrica per veicoli, basato su tecniche di intelligenza artificiale (IA).

La microgrid permette di acquisire dai sistemi IoT con i relativi sensori, una grande quantità di dati che vengono quindi elaborati e tradotti in soluzioni efficienti dagli algoritmi di autoapprendimento.

L'obiettivo del lavoro è stato la configurazione di un sistema in grado di prevedere la produzione di energia fotovoltaica con 24 ore di anticipo, costruendo dei modelli previsionali in grado di stimare il consumo di energia ed ottimizzare l'energia fornita ai singoli carichi/utilizzatori.

Si è giunti all'individuazione automatica da parte del sistema delle differenti tipologie impiantistiche di carico (cluster), rendendo così possibile un aggiornamento continuo del sistema che segue le variazioni di occupazione e destinazioni d'uso delle singole postazioni.

L'acquisizione continua di dati ha inoltre permesso al sistema di avere una previsione sempre più accurata dei carichi da associare ai differenti giorni della settimana e ai differenti orari di utilizzo della struttura, così da effettuare bilanci energetici preventivi sul funzionamento della microgrid.

La successiva imposizione al sistema di machine learning di un set di regole comportamentali da attuarsi in caso di deficit di produzione di energia elettrica ha così permesso di disalimentare automaticamente alcuni carichi definiti non essenziali, in caso di scarsa produzione del sistema fotovoltaico, di intervenire sui livelli dei carichi regolabili e di garantire la continuità di servizio per i carichi essenziali.

## 1 Introduzione

L'attività di ricerca svolta da CITERA è finalizzata alla realizzazione di una microgrid, che gestisca in maniera ottimale la produzione ed il consumo dell'energia elettrica appositamente creato in seguito alla realizzazione delle infrastrutture nell'ambito delle attività di "greening" della sede della Facoltà di Architettura Valle Giulia, promossa in occasione del centenario della Facoltà.

L'obiettivo di questo progetto è la definizione e realizzazione di un sistema di machine learning per il controllo della rete elettrica locale con produzione di energia da fonte rinnovabile.

Il progetto prevede l'esplorazione di alcune tecniche di Intelligenza Artificiale e di machine learning che possono essere applicate a sistemi di gestione dell'energia in modo da spingerli nella direzione dell'autonomia nel processo decisionale. In particolare, si punta a definire tecniche automatiche sia per l'estrazione di regole di comportamento ottimale, ottenute dai dati di consumo energetico, sia per la classificazione dei dispositivi elettrici.

Lo studio di un sistema di machine learning applicato a una microgrid, può infatti realizzare un processo continuo che registra e interpreta i bisogni energetici della singola utenza che viene riconosciuta in automatico dal sistema di smart metering, che quindi può intervenire attivamente ed eliminare tutti i consumi non necessari o quelli che squilibrano momentaneamente la rete.

L'intelligenza artificiale (AI) può monitorare più impianti fotovoltaici in rete, integrando dati relativi alla generazione di energia, alle esigenze di manutenzione e all'efficienza della generazione di energia.

A livello di controllo e gestione dei sistemi di produzione di energia fotovoltaica le tecniche di intelligenza artificiale (AI) possono essere applicate a tre aree principali: (1) previsione e modellizzazione dei dati meteorologici, (2) modellazione di base di celle solari e (3) dimensionamento di impianti fotovoltaici.

Quindi, attraverso un'analisi AI in tempo reale, il sistema può avvisare gli utenti di potenziali malfunzionamenti della centrale elettrica, prevedere la generazione di energia e fornire un database completo per la gestione ottimizzata dei sistemi fotovoltaici. Se, ad esempio, le riserve di energia solare stanno per esaurirsi, il sistema può spegnere automaticamente un televisore o abbassare le luci a casa o persino ridurre il volume dello stereo o l'intensità di una ventola.

Tale sistema connesso con quello di produzione di energia fotovoltaica, anch'esso dimensionato alla scala del singolo edificio, può stimare costi e consumi supportando l'utente e/o il gestore di una microgrid locale ad effettuare le scelte più sostenibili.

L'articolazione dell'attività è prevista in tre distinte fasi realizzative:

1. Costruzione del sistema informativo digitale in metodologia Building Information Modeling (BIM); progettazione e realizzazione di un impianto fotovoltaico per produzione di energia elettrica con sistema di Energy Storage; progettazione e realizzazione di sistema di ricarica per la mobilità elettrica;
2. Progettazione e realizzazione di un sistema domotico a servizio di uno Smart Lab per la gestione integrata degli impianti e delle apparecchiature;
3. Progettazione e realizzazione di un sistema di machine learning che registri e interpreti i fabbisogni energetici del sistema Smart lab e ricarica dei veicoli e che preveda, con anticipo, la produzione effettiva del sistema FV per poi intervenire attivamente sull'utilizzo del sistema di accumulo e sull'eventuale rimodulazione dei consumi.

Il modello di verifica della correttezza e congruità della ricerca svolta si dovrà basare sull'analisi dei dati provenienti dai report dei software di monitoraggio dei consumi della micro-smart grid realizzata, comparati con i dati di produzione giornaliera del sistema fotovoltaico installato, valutando le performance del sistema di gestione tramite AI secondo i più recenti criteri di "energy efficiency" ed "energy management" degli edifici e delle microreti energetiche.

## 2 Digital Twin integrato con i Sistemi di Intelligenza Artificiale

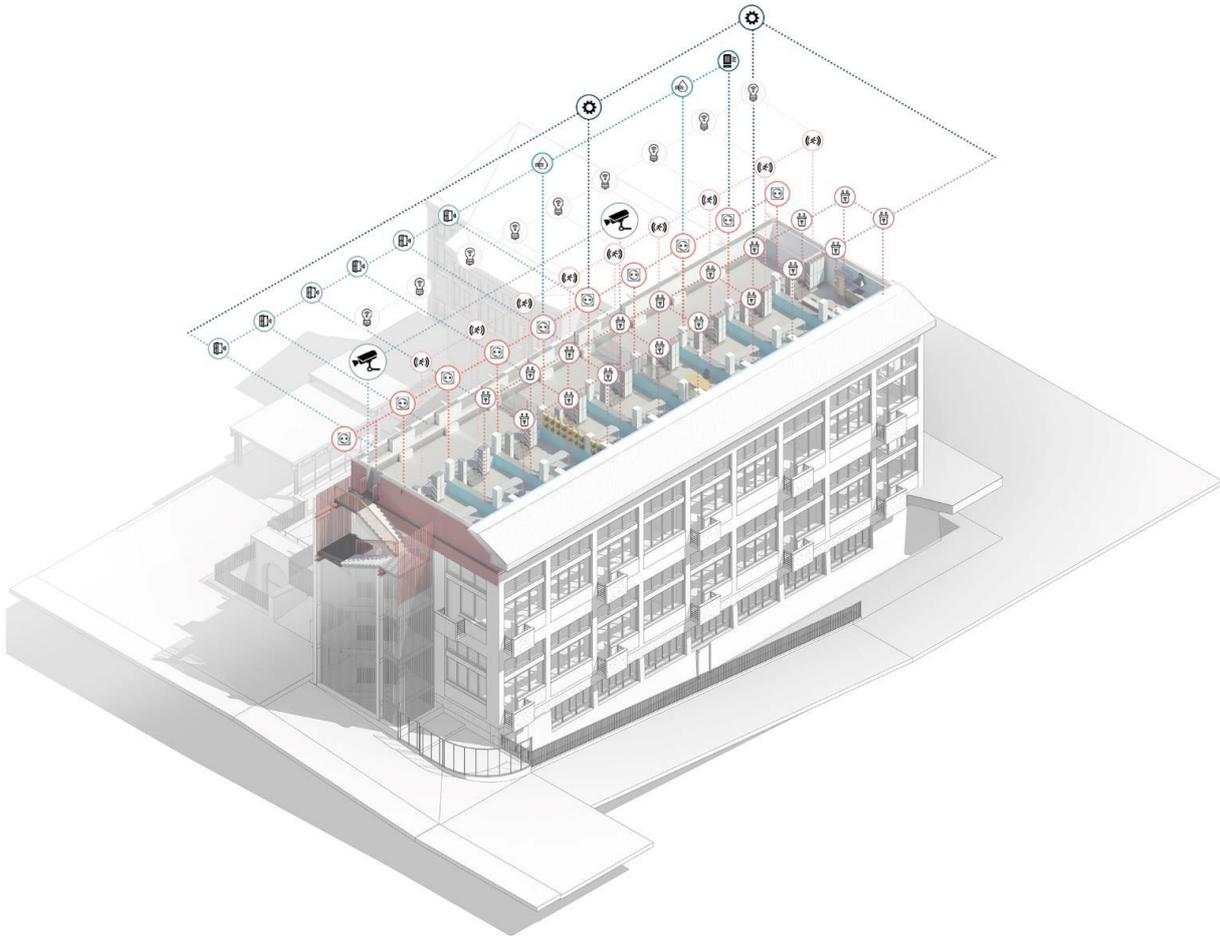
L'Internet of Things (IoT) rappresenta la tecnologia attualmente volta a configurare sempre più vere e proprie reti di "oggetti intelligenti" dotati di sensori (apparecchiature e dispositivi mobili) con lo scopo di migliorare la qualità della vita negli ambienti indoor. Per IoT si intende quel percorso nello sviluppo tecnologico in base al quale, attraverso la rete Internet, potenzialmente ogni oggetto dell'esperienza quotidiana acquista una sua identità nel mondo digitale. Come detto, l'IoT si basa sull'idea di oggetti "intelligenti" tra loro interconnessi in modo da scambiare le informazioni possedute, raccolte e/o elaborate. Lo sviluppo crescente di tali dispositivi costituisce oggi la base evolutiva delle cosiddette Smart Cities, attraverso l'impiego degli strumenti di Information Communication Technology (ICT), ed in particolare di sensori e attuatori, grazie a cui gli ambienti interni ed esterni acquisiscono vera e propria consapevolezza dei cambiamenti nelle abitudini degli utenti, così come delle condizioni dell'ambiente circostante.

I sensori a infrarossi passivi (PIR) sono un esempio di rilevatori di occupazione tramite sistemi di tracciamento umano, ampiamente utilizzati grazie al loro ridotto costo e consumo energetico, al fattore di forma e all'interazione con diversi dispositivi nel totale rispetto della privacy. Allo stesso modo, i sensori di umidità sono utilizzati per registrare e tracciare il livello di umidità negli ambienti, o lampade a LED controllate dalle condizioni di illuminazione riducono il consumo energetico, e così via.

Il programma H2020 ha stabilito sette sfide sociali per affrontare le principali preoccupazioni condivise dai cittadini in Europa e nel mondo. Tra queste rientrano Salute, cambiamento demografico e benessere, mirando a mantenere gli anziani attivi e indipendenti e sostenendo lo sviluppo di nuovi interventi innovativi che rientrino in questi ambiti, utili alla sperimentazione e alla dimostrazione di nuovi modelli e strumenti per la salute e l'erogazione delle cure. In questa ottica, le case e gli ambienti intelligenti rappresentano uno strumento chiave per la sperimentazione di tecnologie assistive per il sostegno alle persone con disabilità cognitive, l'indipendenza per chi soffre di una forma di disabilità, il supporto nella gestione e nell'erogazione di servizi sanitari ed il supporto nel monitoraggio e nell'esecuzione delle attività del quotidiano. Di conseguenza, le case e gli ambienti smart vengono promossi sempre più anche come soluzioni per sostenere l'offerta efficace ed efficiente di assistenza sanitaria alle persone anziane e disabili.

Al fine di arricchire le conoscenze ed aumentare le sinergie tra gruppi di ricerca interdisciplinari e realtà operanti nel settore, in collaborazione con ENEA (Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) il Centro di Ricerca CITERA ha promosso un'attività sperimentale volta alla progettazione di un sistema smart che trasformi il suo laboratorio in un vero e proprio SmartLab, connesso con una microgrid energetica e basato sull'Intelligenza Ambientale (AmI) integrata con algoritmi di Artificial Intelligence.

La proposta dello smart lab è focalizzata dunque sull'AmI, un paradigma nel quale gli utenti vivono circondati da una tecnologia informatica e telematica, ovvero da dispositivi con capacità computazionali e di connessione in rete, che si mettono a loro disposizione in modo non invadente. L'obiettivo della creazione del laboratorio è quello di configurare dunque un vero e proprio ambiente "sensibile", adattabile e rispondente ai bisogni, alle abitudini, ai gesti e alle emozioni dell'uomo.



	n. 18 Smart Plug		n. 2 Humidity & Temperature sensor
	n. 10 Wireless Switch		n. 1 Smart air purifier
	n. 9 Motion Sensor		n. 2 Control Hub
	n. 2 Security Camera		
	n. 9 Smart lighting		
	n. 6 Window sensor		

**Figura 1. SmartLab Digital Twin e rete IoT**

## 3 Architettura del sistema

Si ricorda che lo scopo del progetto è quello di affrontare la problematica di creare una microgrid che gestisca in maniera ottimale la produzione ed il consumo della energia elettrica, anche attraverso la definizione e realizzazione un sistema di machine learning per controllo rete elettrica locale con produzione di energia da fonte rinnovabile.

Il progetto prevede la esplorazione di alcune tecniche di Intelligenza Artificiale e di machine learning che possono essere applicate a sistemi di gestione dell'energia in modo da spingerli nella direzione dell'autonomia nel processo decisionale. In particolare, si punta a definire tecniche automatiche sia per l'estrazione di regole di comportamento ottimale, ottenute dai dati di consumo energetico, sia per la classificazione dei dispositivi elettrici.

### 3.1 Il metodo

Al fine di ottenere un sistema di gestione energetico automatico, è fondamentale affrontare il problema della sintesi automatica di best practice per il risparmio energetico o meglio per la governance efficiente. In altre parole, occorre dotare i sistemi di gestione dell'energia della capacità di estrarre le regole di impiego osservando le installazioni con un profilo energetico più efficiente. Si suddivide il problema in tre sotto-problemi distinti:

- Definire una metodologia per raggruppare installazioni per similarità di efficienza energetica;
- Selezionare la migliore installazione nel gruppo dal quale apprendere le regole;
- Analizzare ed estrarre le regole dai consumi dell'installazione selezionata.

Bisogna inoltre puntualizzare che un approccio automatizzato di sintesi delle regole risulta ulteriormente complicato dal fatto che l'ambiente è soggetto a mutamenti ed il carico energetico può cambiare in maniera imprevedibile nel tempo. Di conseguenza, si presentano due ulteriori sotto-problemi:

- "Codificare" in maniera appropriata un'installazione in base ai dispositivi presenti;
- Dedurre in maniera automatica quali dispositivi fanno parte di un'installazione.

Dare una soluzione ad ogni sotto-problema equivale a definire un sistema in grado di gestire indipendentemente i cambiamenti del profilo energetico e di rivalutare le best practice a regime (modificando all'occorrenza le regole di utilizzo) senza intervento umano, raggiungendo quindi un comportamento autonomo.

Nello specifico, per ciascuno dei sotto-problemi, sono reperibili nella più recente letteratura di Machine Learning, numerosi protocolli e metodi innovativi, nonché tecniche generali che ammettono applicazione nel campo. L'approccio seguito in questa linea di investigazione è quello di utilizzare metodi ibridi, ovvero sia tecniche simboliche che di machine learning. Le analisi sperimentali condotte hanno chiaramente dimostrato che l'approccio adottato è premiante per una serie di ragioni che saranno declinate in dettaglio analizzando le soluzioni proposte per i singoli sotto-problemi.

### 3.2 Piano operativo

Il piano operativo adottato definisce tre fasi:

- Realizzazione della Infrastruttura e del software di base
- Addestramento del sistema
- Utilizzo del sistema per la previsione del comportamento ottimale.

Per ciascuna fase vi sono degli accorgimenti e delle tecnologie specifiche di controllo. Il sistema semantico detiene la conoscenza del comportamento di produttori ed utilizzatori in dati riassuntivi e viene interrogato grazie ad una web application.

#### 3.2.1 Stato avanzamento lavori

I passi definiti necessari alla realizzazione di un sistema di intelligenza artificiale per la gestione di una rete elettrica locale sono:

- ✓ definizione dei requisiti (sulla base dello specifico impianto)

- ✓ creazione della infrastruttura di rete e del software di base
- ✓ addestramento del sistema
- ✓ test del sistema.

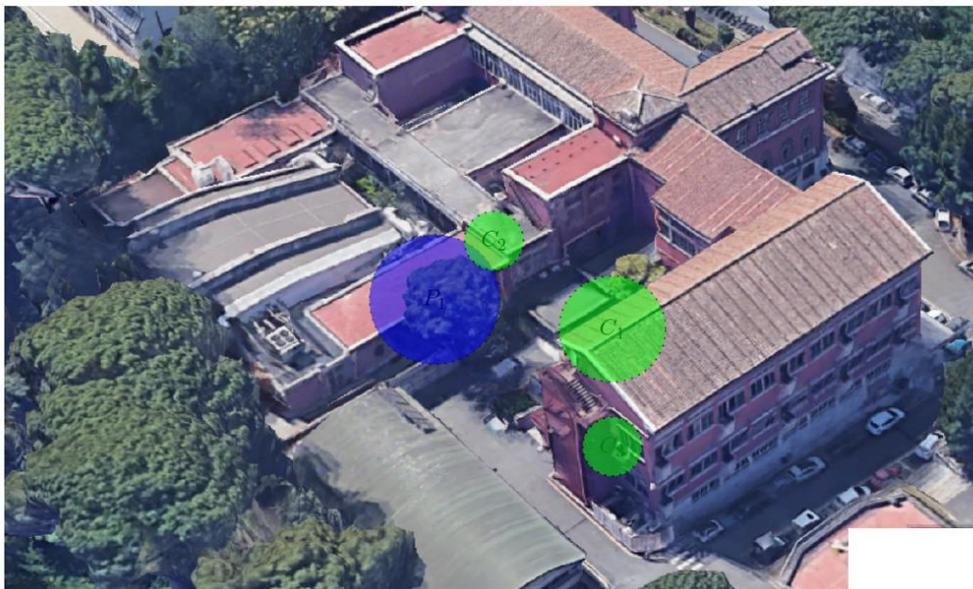
Sono state definite le specifiche tecniche dell'infrastruttura di rete dati necessaria al funzionamento del sistema.

I vari fornitori sono stati ingaggiati ed hanno eseguito i lavori di installazione con alcuni ritardi dovuti ai disagi prodotti dalla nota situazione sanitaria.

E' stato verificato il corretto funzionamento della infrastruttura informatica; sono stati installati i software di base ed è iniziata la raccolta dei dati e la trasformazione dei medesimi per il trasferimento al sistema centralizzato, dove verranno poi utilizzati per inferire i modelli e gli algoritmi per una gestione automatizzata o semi automatizzata della smart grid.

### 3.3 Il Caso di studio: CITERA

Il caso di studio di questo progetto è il Centro di ricerca Interdipartimentale Territorio Edilizia Restauro Ambiente, nel seguito anche "CITERA".



**Figura 2. Rete elettrica locale con produzione di energia da fonte rinnovabile**

L'impianto, rappresentato nelle figure 2 e 3 consta di un sistema di produzione elettrica basato su pannelli fotovoltaici installati su un tetto piano, governati da un Inverter, e da diversi consumatori di energia elettrica:

- Luci nei corridoi adiacenti l'aula magna
- Laboratori del Centro Interdipartimentale
- Colonnina di ricarica per autoveicoli.

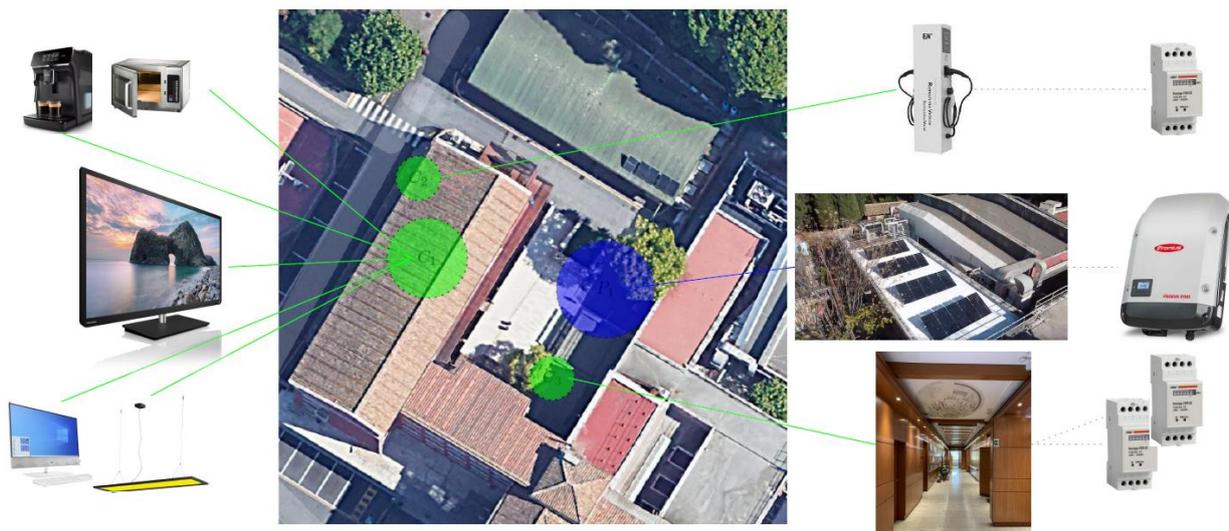


Figura 3. Smart Grid CITERA – Sapienza Università di Roma

La creazione dell’infrastruttura di rete ha coinvolto il posizionamento di misuratori di diverse marche e modelli, rappresentati in Figura 4, con la creazione di una rete eterogena di sensori. Questa rete di sensori è stata connessa un dispositivo edge (da noi chiamato “concentratore” in quanto concentra i segnali della rete di sensori) il quale a sua volta è stato connesso ad un sistema locale di gestione, a sua volta connesso ad un server di elaborazione centrale in datacenter.

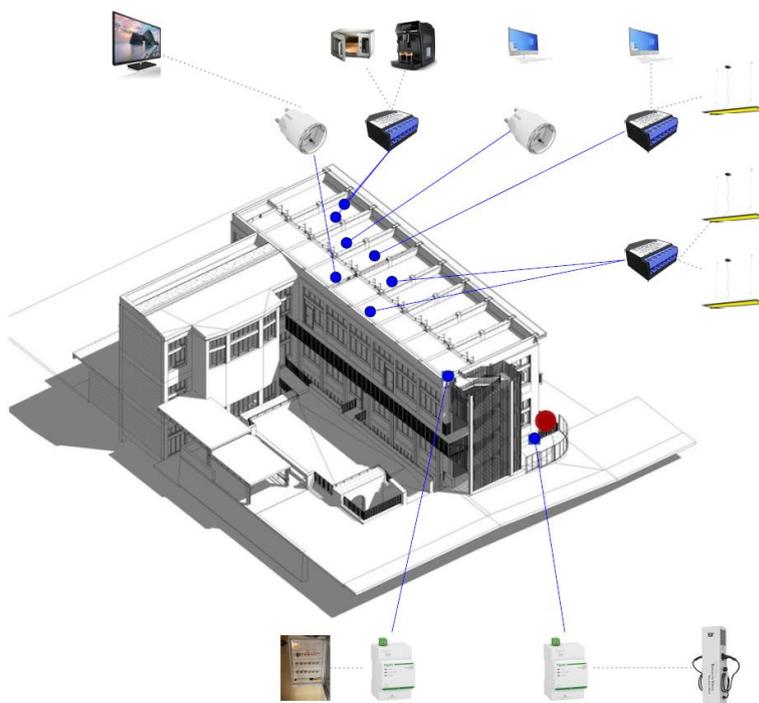


Figura 4. Ubicazioni degli smart meters dei misuratori

### 3.3.1 Rete di sensori

L'interconnessione dei previsti dispositivi Xiaomi non è stata possibile in quanto questi sono equipaggiati con un software proprietario che non permette l'interazione con altri software: i dispositivi sono connessi solo tramite il software della Xiaomi stessa; il fornitore, più volte interpellato, non ha fornito le specifiche tecniche per l'interfacciamento. È stata iniziata una ricerca di mercato che ha portato alla selezione di dispositivi di marca Shelly (marchio di Allterco Robotics), sia smartplug che misuratori da includere nelle scatole elettriche.

La scelta è stata motivata da due fattori:

- facilità di installazione e configurazione
- disponibilità di specifiche aperte di interfacciamento software.

Nello specifico sono stati installati dispositivi del tipo

- Shelly 2.5: un interruttore relè Wifi a due canali, che permette di controllare e monitorare il consumo di energia elettrica per ciascun canale separatamente. Ha la particolarità di agire come uno "stand-alone device" e grazie alle dimensioni contenute consente facilmente l'installazione nelle classiche cassette 503.

Il dispositivo Shelly 2.5 descritto in Figura 5 e 6 è alimentato da una normale corrente domestica a 220 V; si contraddistingue dagli altri dispositivi grazie alla funzione "Roller Shutter", che permette di avere il controllo sulle tapparelle. Shelly 2.5 si configura tramite l'app di Shelly, può essere gestito attraverso i comandi vocali come Alexa o Google Home o qualsiasi altro dispositivo che supporti i protocolli HTTP e/o UDP.

Ha un misuratore di potenza integrato, ed un sensore di sovraccarico e temperatura massima.



**Figura 5. Acquisitori Shelly da inserire nelle prese elettriche**

- Shelly 1: un interruttore Relè Wireless per l'automazione domestica, adatto per spegnere ed accendere punti luci dal voltaggio elettrico 110-230V ma anche a 12 V. Il relè wifi è dotato inoltre di un contatto pulito che permette di domotizzare cancelli automatici, basculanti, cancelli scorrevoli, caldaie a metano, e via dicendo.

La caratteristica che rende unico questo prodotto è la sua dimensione. Rilevante è il fatto che, essendo molto piccolo come dispositivo wifi, è facile da installare nelle classiche cassette 503 presenti nelle abilitazioni senza apportare modifiche a impianti elettrici esistenti. Grazie al suo contatto pulito, può essere integrato facilmente in qualsiasi impianto. Questo permette di non perdere gli interruttori esistenti, sia che essi siano pulsanti, deviatori, interruttori o invertitori. Lavora con standard wifi 802.11 b/g/n a 2.4 GHz, con un consumo di circa 1 watt, e il firmware viene aggiornato tramite OTA (come per gli smartphone). Si configura tramite l'app di Shelly, può essere gestito attraverso i comandi vocali come Alexa o Google Home o qualsiasi altro dispositivo che supporti i protocolli HTTP e/o UDP.



**Figura 6. Configurazione acquisitori Shelly**

- Shelly Smart Plug S: è una presa di corrente Wi-Fi intelligente che permette di controllare automaticamente qualsiasi apparecchio elettrico collegato come illustrato in figura 7. Consente inoltre di gestire elettrodomestici o lampadine con potenza fino a 2500 W (12 A) e di ricevere informazioni sul consumo, in quanto ha un misuratore di potenza integrato. È possibile impostare l'orario di accensione/spegnimento su base settimanale. Inoltre, in base ad un determinato consumo totale dell'abitazione, si può accendere o spegnere mediante l'uso delle "scene". Questa presa intelligente è dotata di un solo tasto che consente l'accensione e lo spegnimento manuale, in più offre la possibilità del reset del dispositivo, che la rende una presa intelligente molto semplice ed intuitiva da utilizzare. Lo Shelly Plug S si adatta ad una presa di corrente standard e funziona con corrente alternata a 220V. Si configura tramite l'app di Shelly, può essere gestito attraverso i comandi vocali come Alexa o Google Home o qualsiasi altro dispositivo che supporti i protocolli HTTP e/o UDP.



Figura 7. Acquisitori Shelly smart plug

Tutti questi dispositivi dispongono di interfaccia applicativa disponibile tramite protocollo 802.11 (WiFi) su protocollo TCP-IP: tutte le specifiche vengono fornite dalla ditta stessa (<https://shelly-api docs.shelly.cloud/>).

A questi sono stati aggiunti, per le misurazioni a quadro elettrico, i dispositivi della *Schneider Electric Power tag Link* (A9XMWD20) riportati in figura 8 i PowerTag sono sensore di monitoraggio comunicante con tecnologia wireless che consente di ottenere dati precisi e in tempo reale sull'energia, correnti, tensione, potenza e fattore di potenza.



Figura 8. Smart meter da quadro elettrico

I sensori di monitoraggio PowerTag, monitorano con precisione i consumi energetici e comunicano i dati tramite tecnologia wireless a dei concentratori denominati *Power tag Link*.

Questi dispositivi *Power tag Link* possono essere interrogati tramite protocollo Ethernet (anche su rete cablata), e sono interfacciabili tramite delle Application Program Interface (API) su protocollo MODBUS fornite dalla ditta stessa.

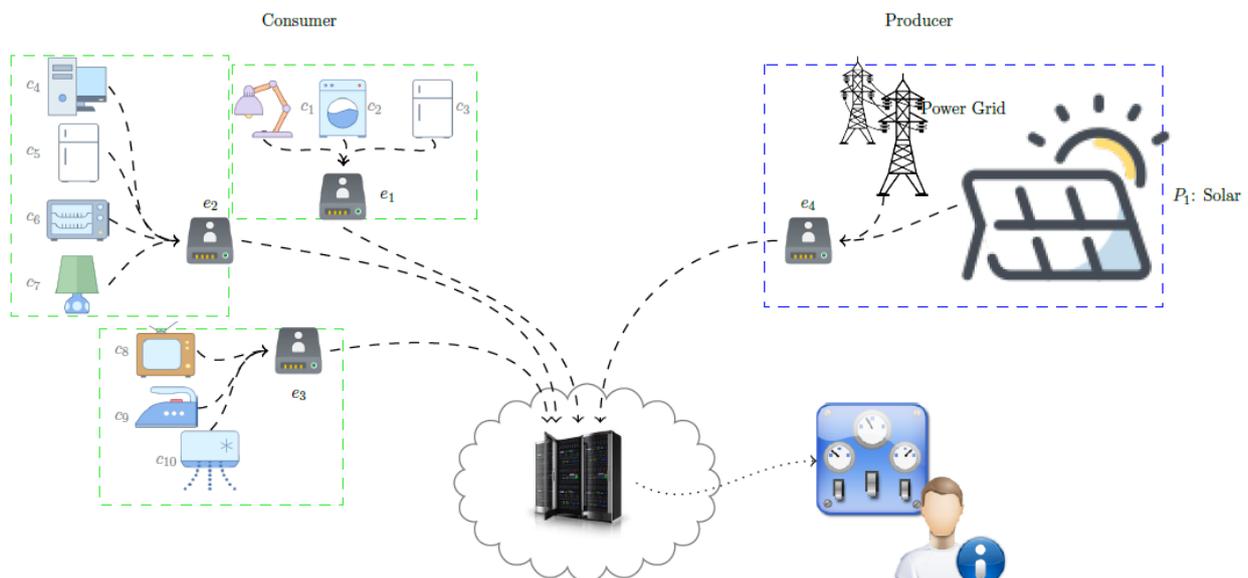
Per quanto riguarda i dati di produzione del sistema fotovoltaico, questi vengono forniti dall'inverter della ditta Fronius, che risulta interfacciabile tramite protocollo Ethernet (anche su rete cablata), vedi figura 9, attraverso delle Application Program Interface (API) fornite dalla ditta stessa (<https://solar.ece.ksu.edu/downloads/guides/Fronius.pdf>)



**Figura 9. Acquisitore dati integrato nell'inverter**

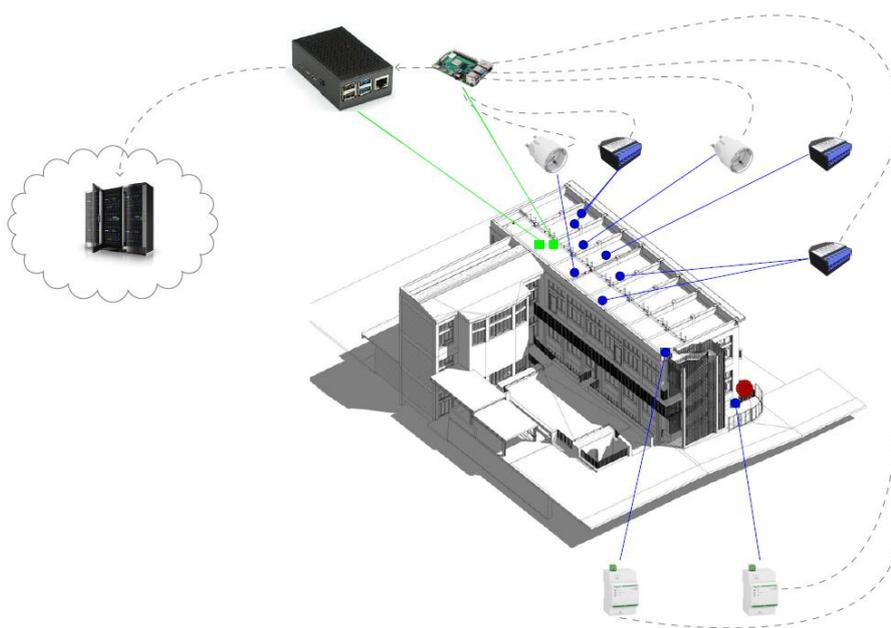
### 3.3.2 Infrastruttura

Tutti questi sensori misuratori sono stati interconnessi tramite una rete dati dedicata in tecnologia mista, composta da alcune tratte via cavo (per i dispositivi Schneider) e da componenti di connessione wireless (per i dispositivi Shelly), fino ad un concentratore locale di dati collegato a sua volta con sistema centrale di registrazione ed elaborazione dei dati. Questa architettura è pensata per essere scalabile e permettere di monitorare una moltitudine di impianti come quello del CITERA; il concetto operativo di questa architettura viene esemplificato in Figura 10.



**Figura 10. Concetto operativo del sistema proposto**

Nello specifico dell'impianto in esame vi è un solo concentratore ed un solo elemento di integrazione con la rete di sensori: il risultato viene descritto nella seguente Figura 11



**Figura 11. Realizzazione della architettura descritta nel caso dell’impianto di CITERA**

Gli elementi fondanti di questa architettura sono tre:

- *Edge*: ha la responsabilità di interagire con la rete di sensori locali e di fare da buffer per dati e comportamenti automatici (Figura 12 a destra)
- *Proxy*: ha la responsabilità di interfaccia con Edge e Server, garantendo la connessione e la sincronizzazione di dati e comandi (ed il ripristino dopo una eventuale assenza momentanea di connettività) (Figura 12 a sinistra)
- *Server*: ha la responsabilità di tutta la computazione e di fornire un’interfaccia utente grafica (Graphical User Interface o GUI)

**Edge computer**: è stato scelto un classico SoC (System on Chip) utilizzato spesso in ricerca: il sistema Raspberry, versione *Raspberry Pi 4 Model B* su cui è stato installato il sistema operativo Raspbian (una versione della distribuzione Linux Debian adattata all’hardware Raspberry).



**Figura 12. Dettaglio dei componenti utilizzati**

Su questo dispositivo è stato installato un insieme di software, sia di base che applicativo. Le componenti di software di base sono necessarie per la gestione delle comunicazioni sia wired che wireless con le reti di sensori e con il sistema *Proxy*. La comunicazione scelta è stata tramite il protocollo IP e dove possibile tramite TCP/IP, per quanto riguarda le reti di sensori, mentre certamente TCP/IP per quanto riguarda la comunicazione con il Proxy. In questa installazione, essendo un’installazione sperimentale, è stata inoltre installata una VPN (Virtual Private Network) di monitoraggio da remoto: in condizioni di normale utilizzo questa non si prevede alcuna installazione di VPN nel sistema Edge.

Per quanto riguarda il software applicativo, è stata installata la componente di gestione dei sensori del sistema Elettra di Real T s.r.l. , il quale ha la responsabilità di reperire le informazioni di consumo nei diversi protocolli di comunicazione utilizzati dai vari vendor hardware (es. Shelly, Schneider, Fronius) producendo dei dati nella forma [timestamp, identificativo\_dispositivo, misura] e mettendoli a disposizione sia tramite un database relazionale che tramite API.

Il sottosistema Elettra ha la responsabilità del dialogo con i vari sensori e pertanto deve implementare i diversi protocolli di comunicazione tipici di ogni vendor; è pertanto opportuno che sia in prossimità dei sensori stessi per minimizzare i problemi di trasmissione e per monitorare le reti di sensori anche in assenza di connettività verso il sistema centrale. Per questo motivo è stato installato sul sistema Edge.

**Proxy:** è stato scelto, per motivi di opportunità, di riutilizzare un personal computer presente nel laboratorio su cui è stato installato un sistema Linux distribuzione Debian.

Su questo dispositivo è stato installato un insieme di software, sia di base che applicativo. Le componenti di software di base sono necessarie per la gestione delle comunicazioni con il sistema *Server*. La comunicazione scelta è stata tramite il protocollo TCP/IP attraverso una apposita VPN (Virtual Private Network) con il server posizionato in un datacenter esterno alla struttura del CITERA.

Per quanto riguarda il software applicativo, è stata installata la componente Proxy del software open source Zabbix, in grado di trasferire i dati al sistema centrale.

Sono stati creati gli opportuni script (programmi software ad hoc) per il dialogo del Proxy Zabbix con le API di Elettra; questi script sono necessari per poter interrogare il sistema Elettra e formattare i dati nel formato adatto al sistema Zabbix.

Nel caso d'uso del CITERA questa soluzione sembra ridondante, ma si ricorda che l'architettura è pensata per essere scalabile: la configurazione tipo dovrebbe essere di un sistema Edge per appartamento (o ufficio) e di un Proxy per ogni scala di condominio (circa 20-30 Edge). In tal caso è opportuno avere il proxy che ha la responsabilità del dialogo di prossimità con gli Edge che hanno solo la responsabilità del dialogo ognuno con le "proprie" reti di sensori, e la produzione degli script rende appunto il sistema scalabile.

Il sottosistema Proxy ha la responsabilità di normalizzare i dati e trasmetterli, quando la connettività è disponibile, al sistema centrale da cui può poi ricevere i comandi per le attuazioni di accensioni o spegnimenti.

**Server:** è stato scelto un server con adeguate risorse computazionali in un datacenter esterno al CITERA: su questo server è stato installato il sistema operativo Operativo Linux distribuzione Debian.

Su questo server è stato installato un insieme di software, sia di base che applicativo. Le componenti di software di base sono necessarie per la gestione delle comunicazioni con il sistema *Proxy* e principalmente riguardano la VPN (Virtual Private Network) con il proxy posizionato presso il CITERA e il web ed application server necessari per la interfaccia utente.

Per quanto riguarda il software applicativo, è stata installato il sistema Zabbix più sotto descritto e la componente server del sistema Elettra.

Il sistema centrale ha la responsabilità di memorizzare i dati, eseguire tutti i calcoli ed inviare i comandi per le attuazioni di accensioni o spegnimenti.

L'architettura logica del sistema rispecchia e si integra con l'infrastruttura sopra definita e viene descritta in Figura 13.

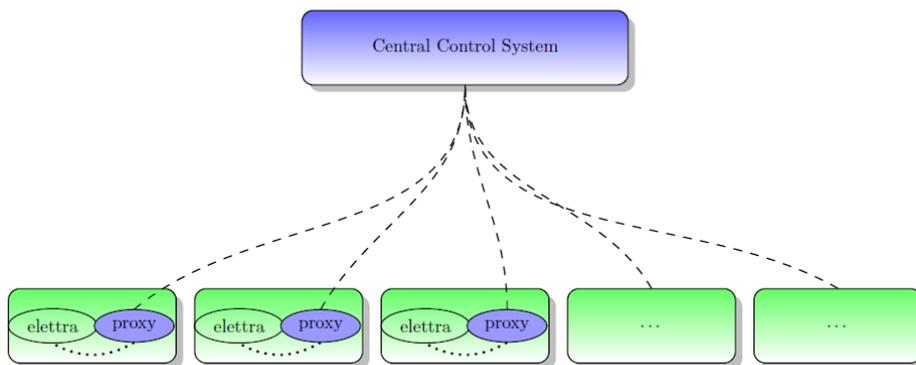


Figura 13. Infrastruttura logica del software

### 3.3.3 Elettra

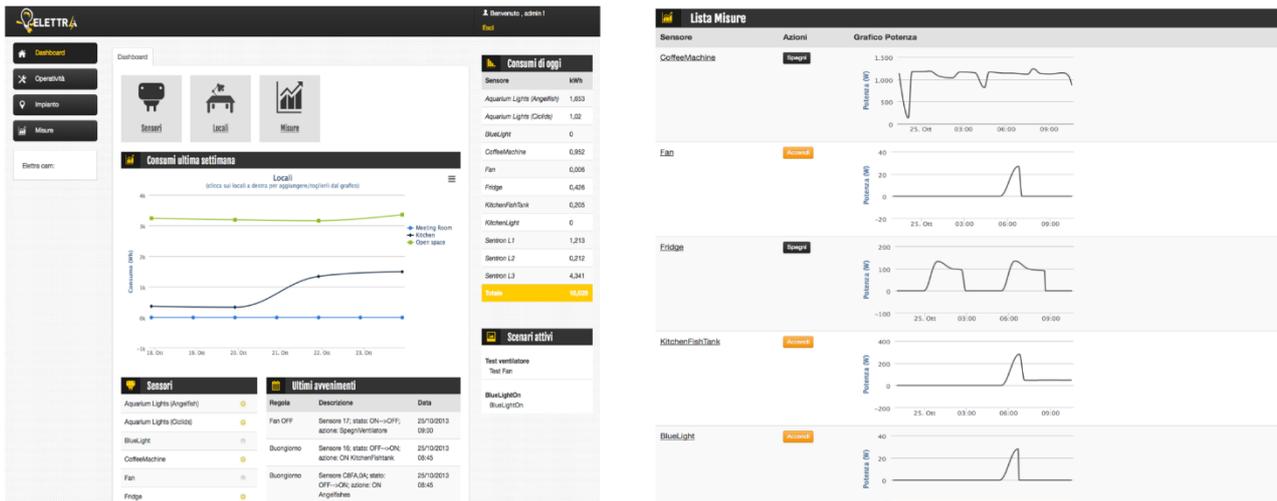
Elettra è un sistema di visualizzazione e gestione dei consumi dell'energia consumata in ambienti di medie-grandi dimensioni che utilizzino numerosi strumenti tecnologici assorbenti significative quantità di potenza e corpi illuminanti (uffici, data center, aziende, grande distribuzione, studi professionali, etc).

Elettra non appartiene quindi alla gamma di soluzioni ad oggi presenti sul mercato e finalizzate all'home automation, in grado di monitorare e controllare quindi i consumi in ambito domestico.

Elettra si rivolge infatti ad ambiti imprenditoriali e ad attività di business, per le quali ad oggi esistono solo soluzioni di controllo “a contatore”, cioè che intervengono a regolare i consumi sul contatore e non quindi attraverso un sistema puntuale, cioè direttamente sui diversi punti di consumo.

E' un sistema/dispositivo di misura e controllo, capillare, non intrusivo e capace di centralizzare in sé tutte le informazioni/azioni; ha inoltre il vantaggio di controllare un sistema elettrico senza la necessità di effettuare alcun tipo di intervento sull'impianto stesso.

Il dispositivo individuato sarà strumento sensibilmente coadiuvante il lavoro degli energy-manager, profilo verso cui le aziende si orienteranno con sempre maggiore determinazione e forza e che sarà in grado di effettuare le dovute valutazioni circa il consumo elettrico ed energetico e riportarle al management. Non solo, essa sarà la figura in grado di impostare una strategia per ottimizzare i consumi e di conseguenza ridurre i costi.



**Figura 15. Visualizzazione tipo del sistema di acquisizione dati**

Elettra rappresenta un sistema di controllo che consente di mantenere aggiornato il data base di rilevazione, censendo tutto quello che avviene che abbia un impatto sui consumi energetici, come, ad esempio, l'inserimento di un apparato nuovo o la sua dismissione, lo spostamento di un apparato da una stanza all'altra e i relativi consumi, misurati in tempo reale. In modo visuale e veloce si può quindi capire ed ottenere la misurazione del consumo ed il controllo (compresa accensione – spegnimento) dei vari apparecchi presenti negli ambienti.

Permette la gestione capillare dei consumi, il che aumenta l'efficienza e riduce le spese di elettricità e di riscaldamento - condizionamento prima che gli esiti del consumo vengano conosciuti attraverso la ricezione della fattura emessa dal gestore di competenza.

Il sistema fornisce analisi e dati che possono essere utilizzati allo scopo di attuare azioni di accensione e spegnimento degli apparecchi determinate dal consumo e non solo dal tempo (notte – giorno) e – quindi – di implementare strategie di risparmio energetico globali.

Il sistema dispone di una componente locale (per il dialogo con i sensori di diverse marche e modelli) multiplatforma da installarsi su un dispositivo con poche risorse computazionali (quale un SoC) e di un sistema centrale di elaborazione ed interfaccia utente (figura 14).

Dispone inoltre di Application Program Interface (API) per il monitoraggio e controllo remoto su protocollo TCP-IP fornite dalla ditta produttrice del sistema.

### 3.3.4 Zabbix

Zabbix è il sistema di monitoraggio open source (licenza GPL 2) della lituana Zabbix SIA, capace di monitorare contemporaneamente migliaia di dispositivi connessi in rete. Le caratteristiche principali di Zabbix sono:

- la possibilità di accedere ai sorgenti del sistema di monitoraggio, essendo esso stesso open source e potendosi basare su piattaforme open source (Linux, Apache, MySql/PostgreSQL, Php);
- la semplicità di configurazione;
- l'elevata efficienza delle componenti software;
- un sistema di visualizzazione delle informazioni ricco e completo;
- un set di procedure di ottimizzazione dell'organizzazione dei dati raccolti;
- la possibilità di estensione delle componenti software;

- la possibilità di effettuare un monitoraggio distribuito, grazie all’architettura software dell’intero sistema.

Le componenti principali di Zabbix sono le seguenti:

- Zabbix Agent: agente software che si occupa di raccogliere tutti i dati del dispositivo da monitorare (target); questo modulo va installato sul target e, una volta configurato e lanciato, aprirà una porta utilizzata dallo Zabbix Server per lo scambio delle misure sulle grandezze monitorate. Questa modalità di monitoraggio si chiama passiva (in quanto l’agent si mette in attesa di connessioni da parte del server, il quale è parte attiva della comunicazione), e si contrappone alla modalità “active” (in cui è l’agent che, periodicamente, invia le informazioni al server opportunamente configurato). Lo Zabbix Agent può essere installato su una moltitudine di sistemi operativi (tra cui Linux, Windows, MacOS, FreeBSD, OpenBSD e Solaris). In un sistema di monitoraggio Zabbix, l’uso dell’agent per collezionare dati è solitamente la via classica e maggiormente indicata ma, come si vedrà più avanti, è possibile utilizzare anche altre interfacce di comunicazione.
- Zabbix Server: modulo software installato solitamente su una macchina differente rispetto al target, e che si preoccupa di interrogare tutti i dispositivi configurati per il monitoraggio. Lo Zabbix Server può essere installato esclusivamente su un sistema Linux. Essendo possibile monitorare migliaia di dispositivi per volta, è solitamente necessario che l’hardware su cui viene eseguito lo Zabbix Server abbia capacità di elaborazione adeguata. Una volta raccolti i dati dai target, lo Zabbix Server si preoccupa di memorizzarli in un database opportunamente configurato, in modo da renderli accessibili ad una qualunque entità che si occupi della loro elaborazione, così da essere resi fruibili da parte degli utenti preposti al monitoraggio.
- Zabbix Proxy: modulo software opzionale, il cui compito è quello di collezionare dati dagli agent configurati ed inviarli allo Zabbix Server.

Il sistema è stato installato e configurato; i consumi vengono registrati. Si fornisce in Figura 15 un esempio di schermata del software Zabbix applicato all’impianto del CITERA.

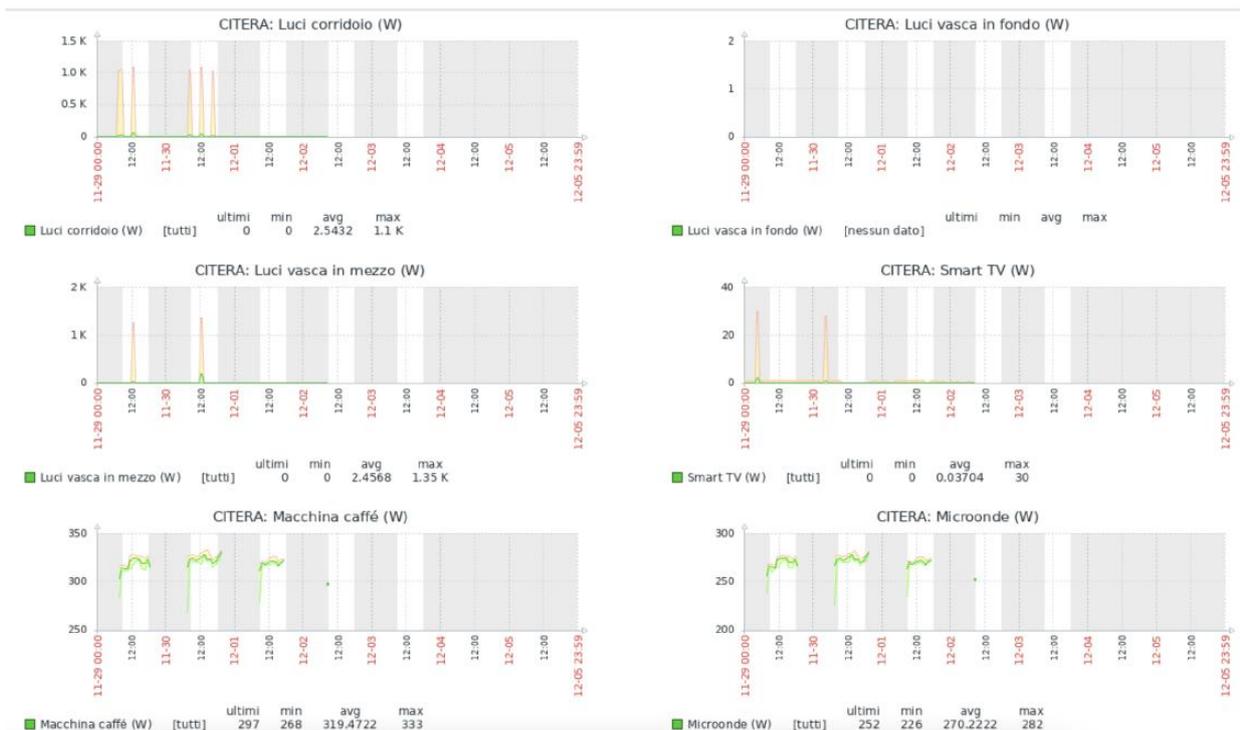


Figura 15. Scherma del software Zabbix applicato all’impianto CITERA

## 4 Analisi sperimentale dei consumi effettivi monitorati con il sistema di Intelligenza Artificiale

Dopo più di un anno di attività costante e monitorata dello Smart Lab, attraverso il flusso dei dati acquisiti dai sensori installati all'interno del laboratorio trasmessi al "gemello digitale" e le continue analisi sono stati ottenuti i consumi del laboratorio da poter confrontare con quelli previsionali ottenuti dal calcolo eseguito mediante l'utilizzo di un software certificato. Gli output ottenuti sono i consumi reali di ogni punto presa e dell'impianto di illuminazione presente nel laboratorio, ad ogni punto presa corrisponde un preciso dispositivo già identificato (computer, schermo, macchinetta del caffè, ...). Le prese e le luci analizzate sono quelle presenti in due workspaces, essendo però configurati tutti allo stesso modo, avendo lo stesso numero di operatori e le stesse ore di attività si è potuto stimare i consumi effettivi dell'intero laboratorio. È stato monitorato anche il consumo dell'impianto di illuminazione presente nel laboratorio. Di seguito sono stati riportati dei grafici che indicano il consumo di ogni dispositivo in diversi archi temporali.

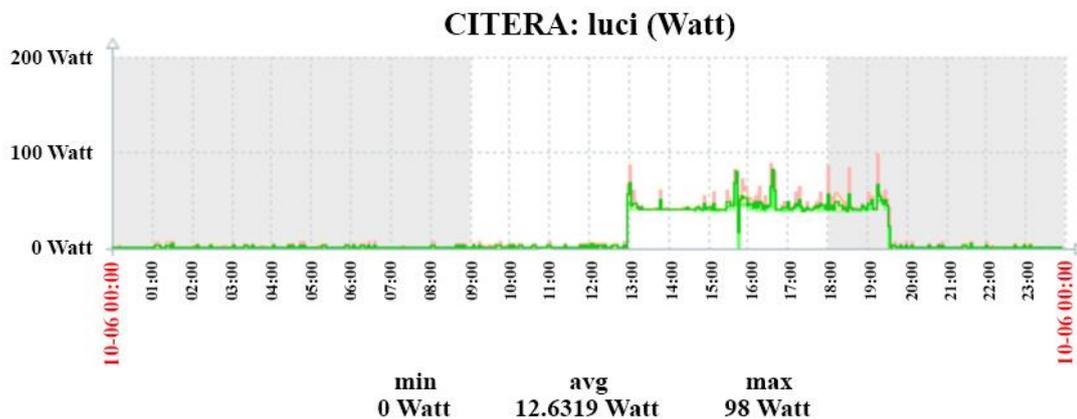


Grafico 1. Consumi dell'impianto di illuminazione monitorati in una giornata tipo (6 ottobre 2021)

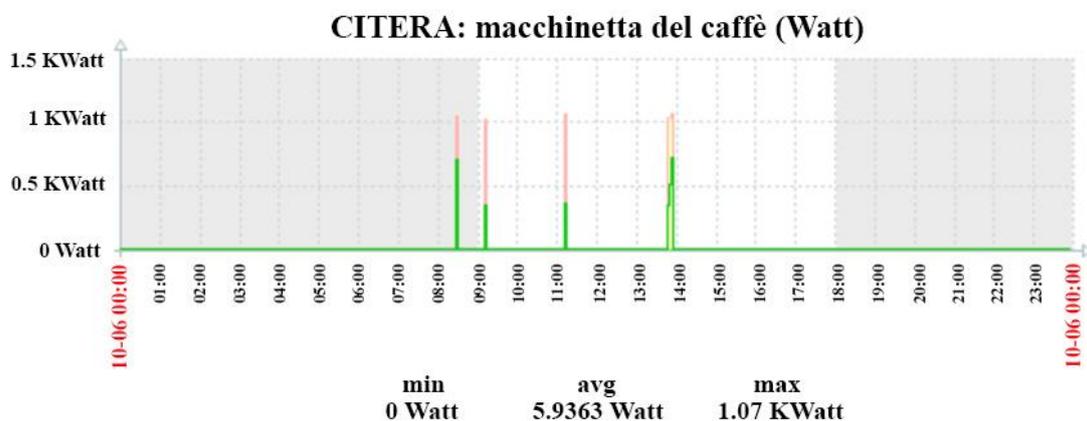


Grafico 2. Consumi della macchinetta del caffè monitorati in una giornata tipo (6 ottobre 2021)

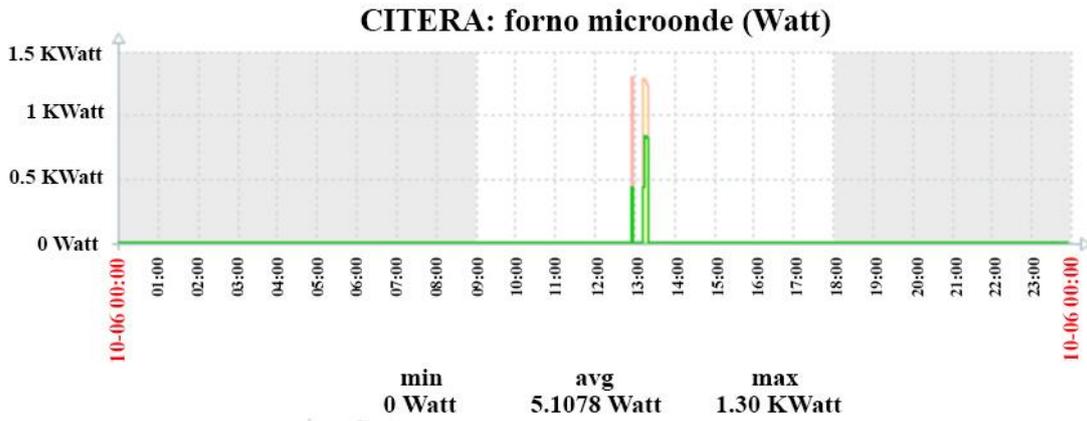


Grafico 3. Consumi del forno a microonde monitorati in una giornata tipo (6 ottobre 2021)

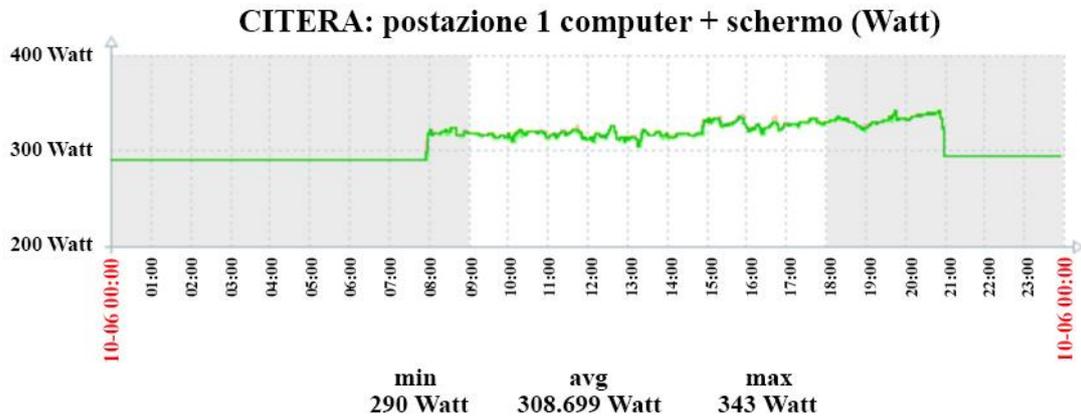


Grafico 4. Consumi di una postazione di lavoro monitorati in una giornata tipo (6 ottobre 2021)

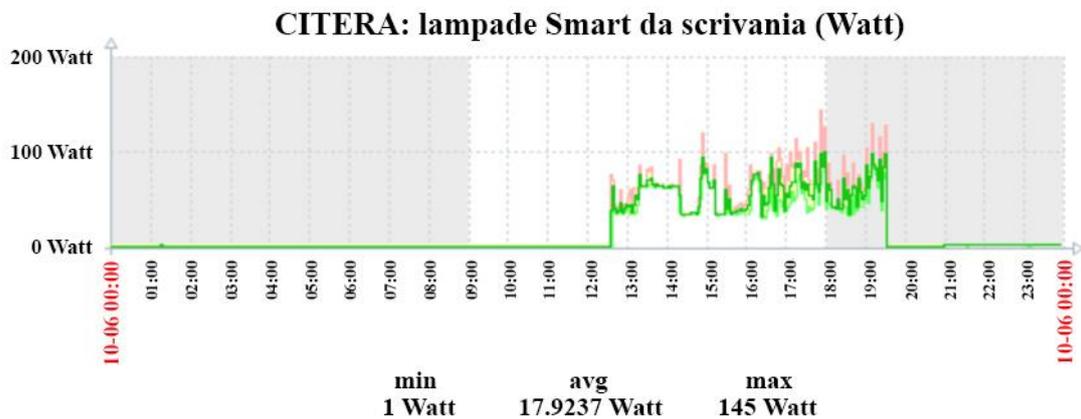
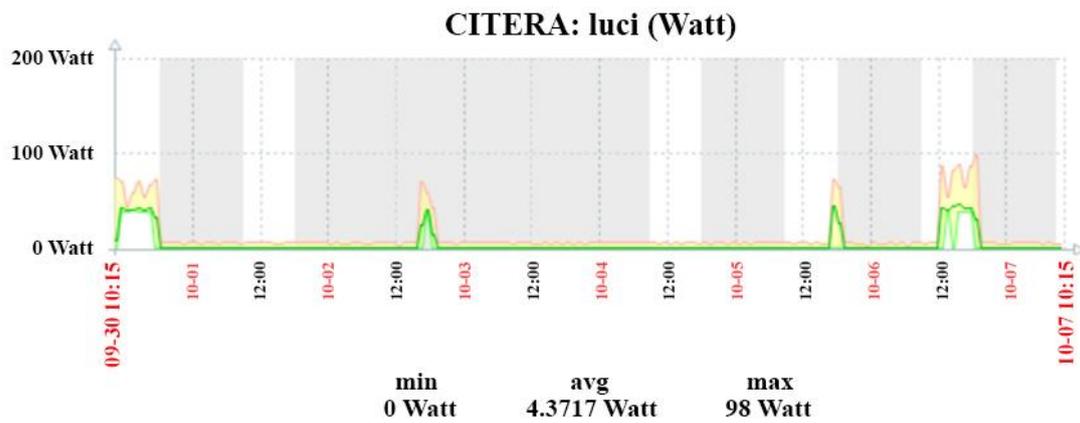
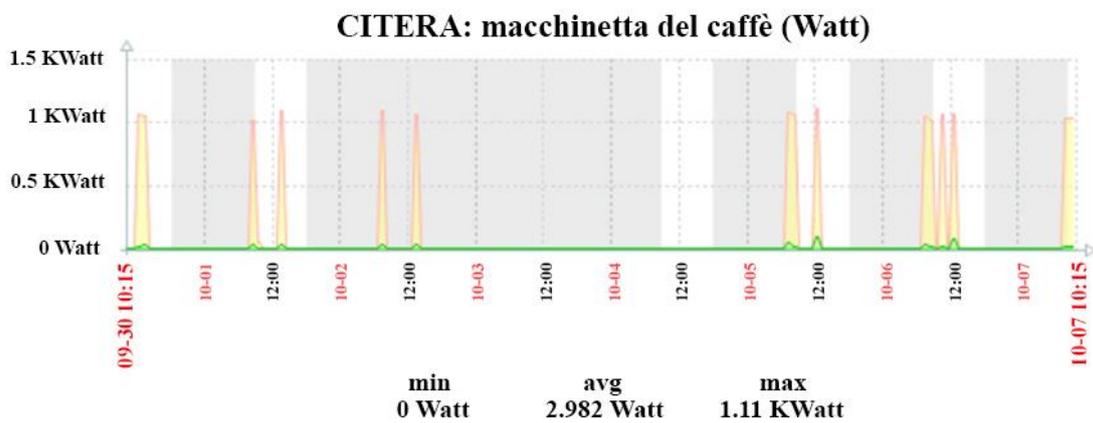


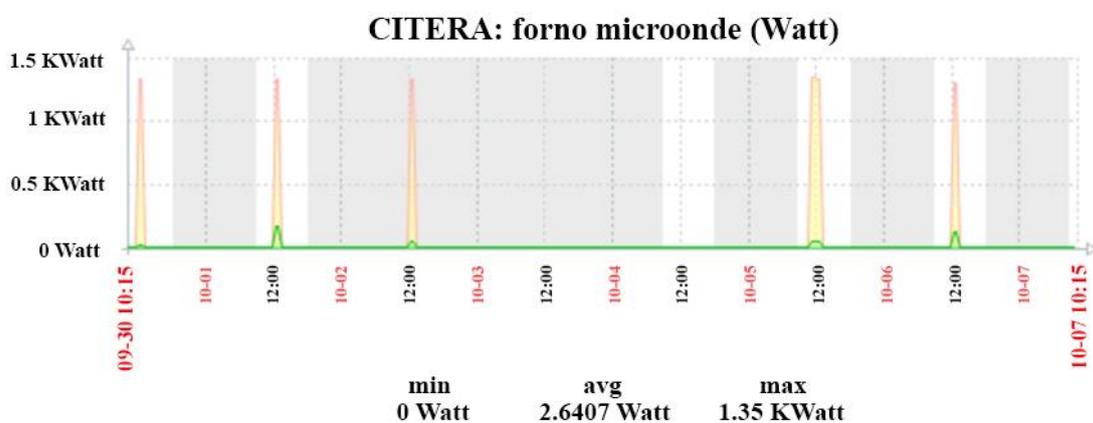
Grafico 5. Consumi delle lampade Smart da scrivania inserite in una workspace monitorati in una giornata tipo (6 ottobre 2021)



**Grafico 6. Consumi dell'impianto di illuminazione monitorati in una settimana tipo (30 settembre 2021 – 7 ottobre 2021)**



**Grafico 7. Consumi della macchinetta del caffè monitorati in una settimana tipo (30 settembre 2021 – 7 ottobre 2021)**



**Grafico 8. Consumi del forno a microonde monitorati una settimana tipo (30 settembre 2021 – 7 ottobre 2021)**

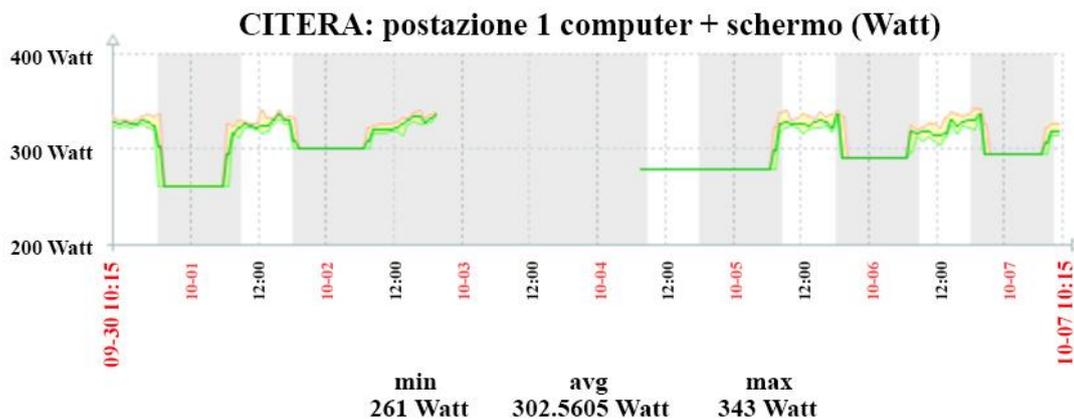


Grafico 9. Consumi di una postazione di lavoro monitorati in una settimana tipo (30 settembre 2021 – 7 ottobre 2021)

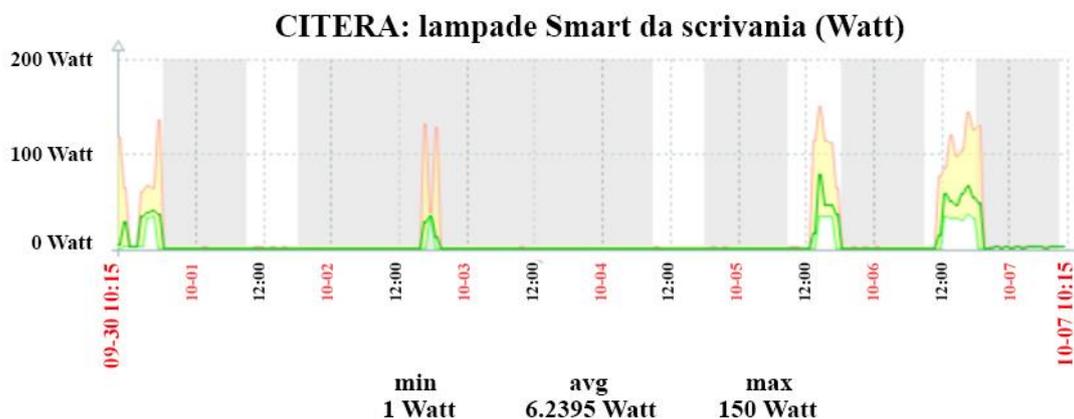


Grafico 10. Consumi delle lampade Smart da scrivania inserite in una workspace monitorati in una settimana tipo (30 settembre 2021 – 7 ottobre 2021)

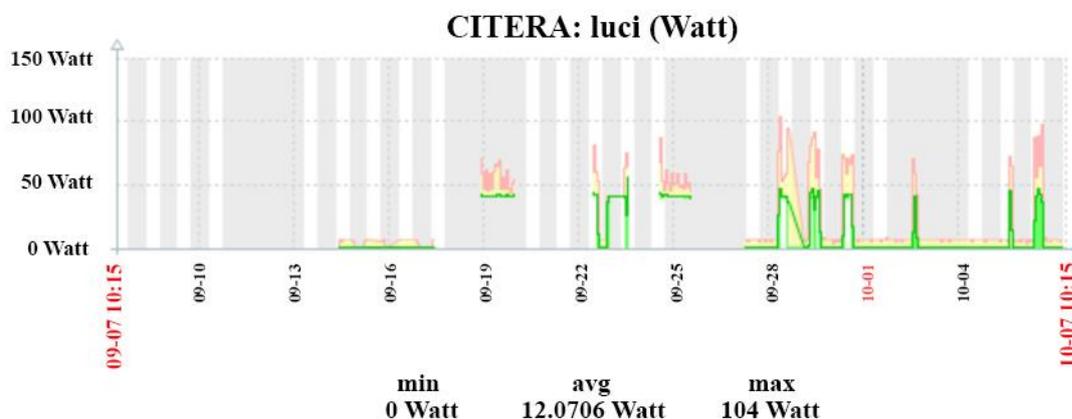


Grafico 11. Consumi dell'impianto di illuminazione monitorati in un mese (7 settembre 2021 – 7 ottobre 2021)

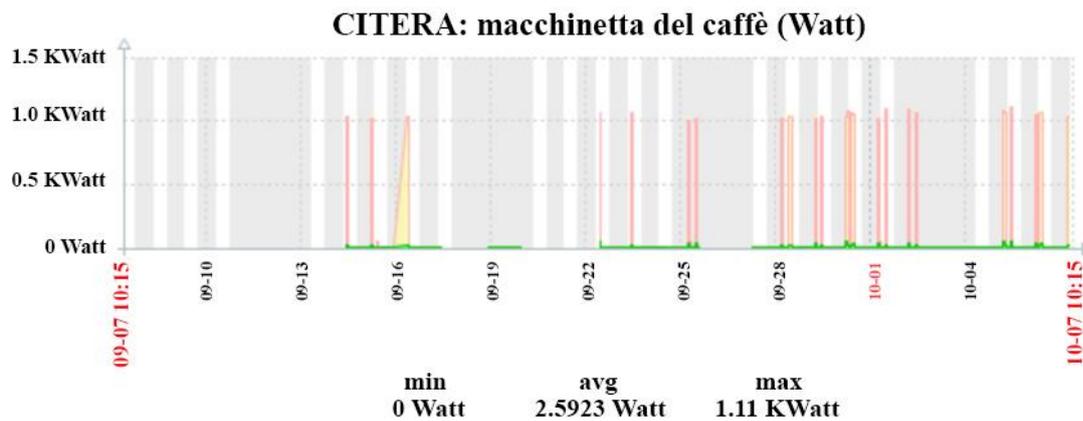


Grafico 12. Consumi della macchinetta del caffè monitorati in un mese  
(7 settembre 2021 – 7 ottobre 2021)

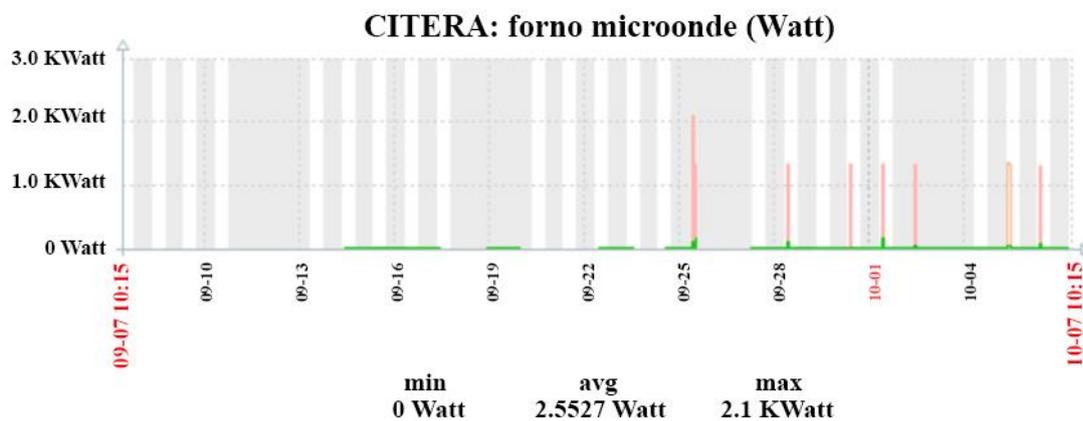


Grafico 13. Consumi del forno a microonde monitorati in un mese  
(7 settembre 2021 – 7 ottobre 2021)

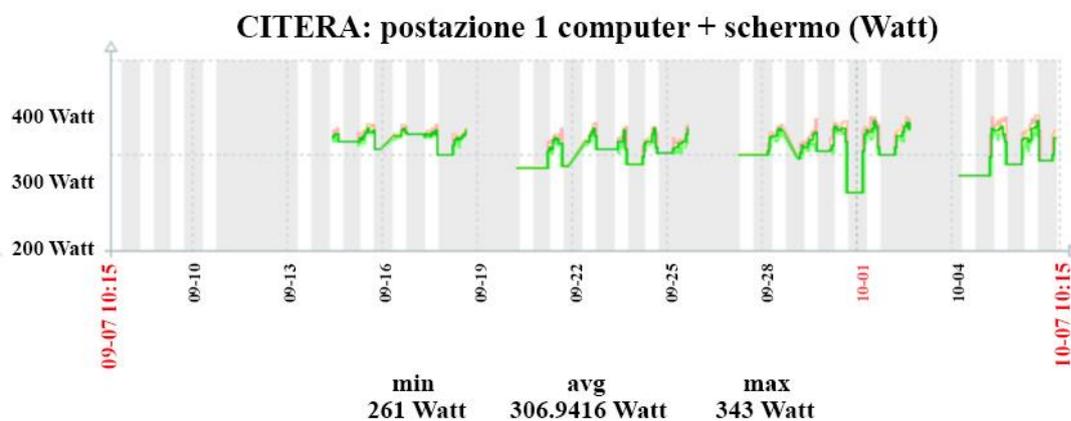
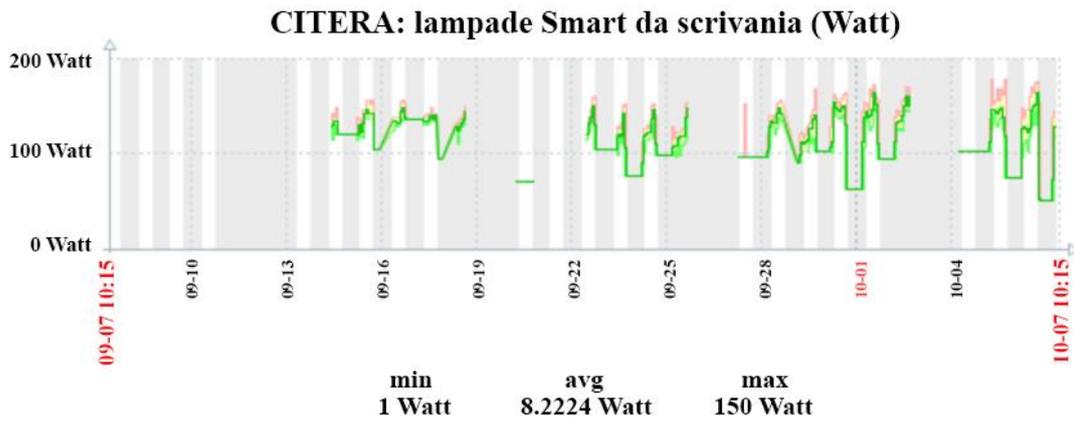
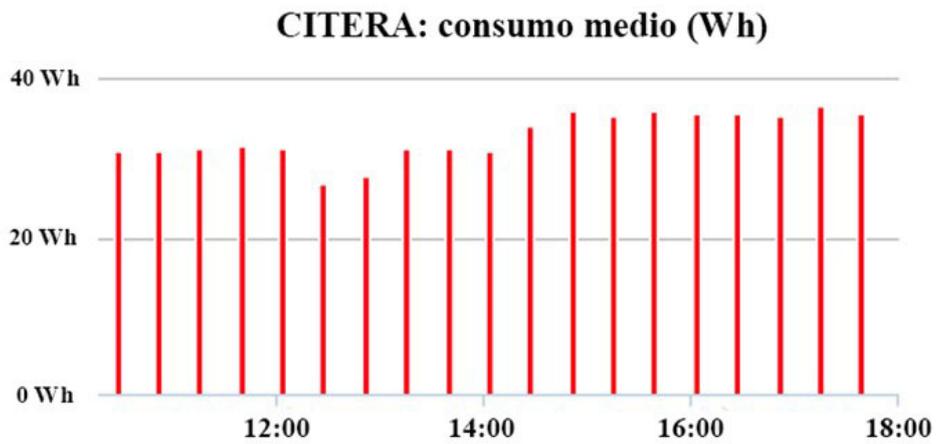


Grafico 14. Consumi di una postazione di lavoro monitorati in un mese  
(7 settembre 2021 – 7 ottobre 2021)



**Grafico 15. Consumi delle lampade Smart da scrivania inserite in una workspace monitorati in un mese (7 settembre 2021 – 7 ottobre 2021)**

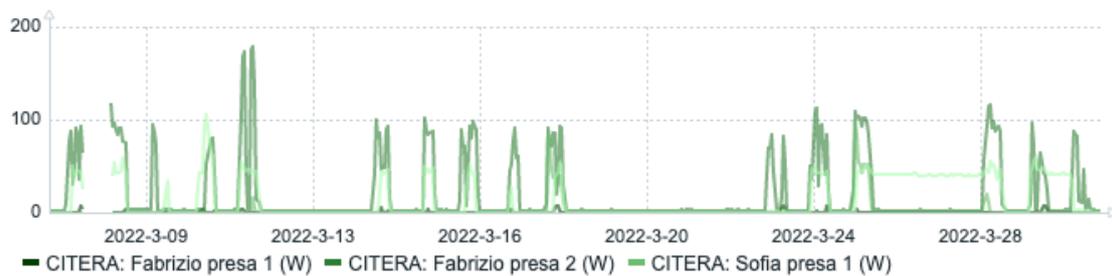
Dallo sviluppo dei consumi puntuali ottenuti dai primi dati monitorati nelle due workspace si è ottenuto un consumo medio giornaliero nelle ore di esercizio dello Smart Lab di 35Wh.



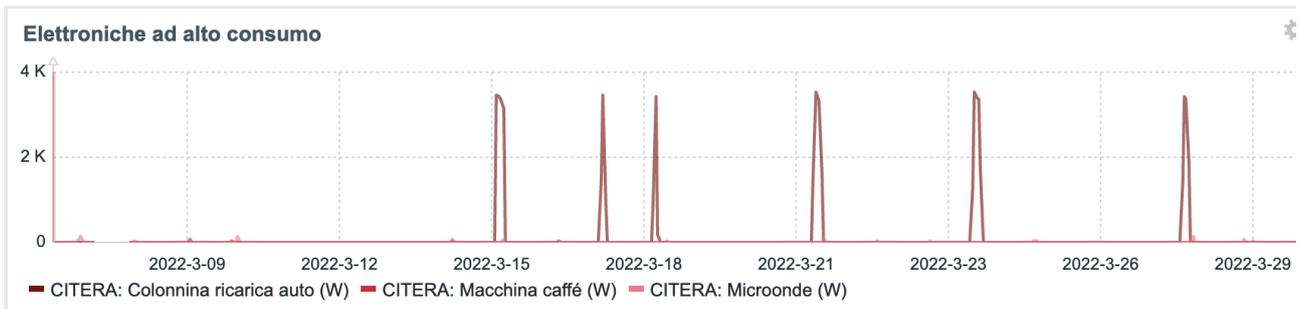
**Grafico 16. Consumi medi stimati dai primi dati monitorati nello Smart Lab**



**Grafico 17. Consumi dello smart lab in quindici giorni (Aprile 2022) visualizzati su un cruscotto nel sistema Zabbix**



**Grafico 18. Grafico di confronto del consumo di apparati di potenza simile (Marzo 2022) visualizzati su un cruscotto nel sistema Zabbix**



**Grafico 2** Grafico di confronto del consumo di apparati di potenza simile (Marzo 2022) visualizzati su un cruscotto nel sistema Zabbix



**Grafico 3** Consumi dello smart lab in un mese (Aprile 2022) visualizzati su un cruscotto nel sistema Zabbix

### 4.1 Consumi derivanti dai primi dati monitorati all'interno dello Smart Lab

La porzione più consistente di consumi è attribuibile all'impianto di condizionamento dello Smart Lab. Il sistema è alimentato da due pompe di calore da 15 kW installate in parallelo. Il Coefficient of Performance (COP) della pompa di calore in questione è di 3,41 ed il funzionamento durante l'anno è stato stimato in 220 giorni per 8 ore al giorno.

$$\begin{aligned}
 & \text{Potenza di } 15\text{kW} / 3,41 \text{ (COP)} * 2 \text{ (macchine)} = 8,8 \text{ kW} \\
 & 8,8 \text{ kW} \times 8 \text{ ore} \times 220 \text{ giorni} = 15.488 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

#### 4.2 Consumi totali dello Smart Lab

La somma dei consumi dello Smart Lab considerando sia l'apporto interno ottenuto dai dati monitorati che di condizionamento sarà quindi:

$$462 \text{ kWh} + 15.488 \text{ kWh} = 15.950 \text{ kWh}$$

Il sistema di monitoraggio fornisce quindi risultati molto simili a quelli derivati dal calcolo energetico dell'edificio non ancora efficientato, che sono pari a 15.612 kWh di consumo annuo di energia elettrica.

## 5 Riconoscimento Automatico degli apparati

Il nostro obiettivo è quello di ottenere una rappresentazione del consumo di un dispositivo in un intervallo temporale in forma di breve “discorso”, ovvero una sequenza di parole; questo per poter poi distinguere uno dall’altro i singoli dispositivi semplicemente guardando quali parole ognuno usa più frequentemente, in maniera analoga a quanto si utilizza nei sistemi di elaborazione del linguaggio naturale (dove, ad esempio, si è in grado di distinguere se uno scritto è di un autore piuttosto che di un altro solo osservando i loro testi e lo stile utilizzato).

Il consumo di un apparecchio nel tempo può essere considerato come una funzione continua della potenza nel tempo. Eseguendo delle rilevazioni ad intervalli regolari  $T = \{t_1, \dots, t_n, \dots\}$ , come avviene poi in realtà, quello che si ottiene è una serie di punti collegati da una linea spezzata.

Questa rappresentazione a segmenti presenta a nostro avviso un notevole vantaggio: permette di ottenere facilmente il valore dell’angolo sotteso dal segmento congiungente due misure successive (gli archi in colore blu di Figura 3). L’utilizzo degli angoli come criterio permette di essere insensibile alle variazioni di scala, fattore importante quando si vogliono classificare degli elementi sulla base del comportamento; un piccolo frigorifero a singola anta consumerà certamente di meno di un grande frigorifero industriale a due ante, nondimeno il tipico consumo del ciclo di raffreddamento sarà il medesimo. Similmente, una lampada ad incandescenza – tipico carico resistivo – da 50W differirà da una da 200W solo per il valore della potenza impiegata, ma la “curva di consumo” sarà una versione in scala di quella dell’apparato più potente.

A questo punto, avendo gli angoli, si applica una tabella di conversione per cui ogni angolo viene trasformato in una lettera dell’alfabeto che ne rappresenti in qualche modo la “pendenza”.

Grazie a questa trasformazione, la curva di consumo di un apparecchio in un determinato intervallo di tempo viene ad essere rappresentata come una sequenza di caratteri.

A questo punto siamo in grado di separare le parole per poter ottenere un “discorso” del dispositivo. Per fare questo, si deve far ricorso al significato delle varie lettere ed in special modo a quello della lettera O. È noto dalla teoria dell’informazione che nella lingua italiana le vocali sono portatrici di ben poca informazione, essendo questa concentrata principalmente nelle consonanti; le vocali hanno mera funzione di spaziatura tra le consonanti. Anche nel metodo che stiamo illustrando questa lettera, che sta per “Orizzontale”, rappresenta un angolo quasi nullo, ovvero il fatto che ci siano state variazioni trascurabili di valore tra due rilievi consecutivi. Da un punto di vista di valore informativo è quindi la lettera che trasporta il minor valore di informazione. Pertanto, una sequenza di tre o più O consecutive tra due consonanti verrà trasformata a sua volta in due O separate da uno spazio, mentre se presenti ad inizio o fine stringa verranno eliminate tutte le O tranne una; la sequenza di esempio OOOOVOOOOOOPOOVOOOOOPO diventerà quindi OVO OPOOVO OPO.

In questo modo, al termine delle trasformazioni di cui sopra, una sequenza di misure di potenza diventa una sequenza di parole, ovvero una specie di “impronta verbale” (footprint) del dispositivo in esame. A questo punto è possibile sfruttare algoritmi di Intelligenza Artificiale per l’analisi dei testi e riconoscere le similarità tra dispositivi. In astratto si può dire che quelli con più parole in comune nella loro footprint saranno considerati simili.

Questo si realizza tramite il modello detto “bag of word”, dove i testi sono rappresentati come collezioni di parole in cui si considerano semplicemente le singole parole e la frequenza con cui appaiono nel testo. Usando questo modello, la footprint di un dispositivo può essere rappresentata con un insieme di “parole energetiche” (bag of energy words), di cui in Tabella 1 viene dato un esempio per tre tipologie di apparecchi.

Word	Devices		
	Computer	Printer	Aquarium
<b>OSDOVP</b>	1	2	0
<b>OVOPO</b>	1	0	0
<b>OVDO</b>	2	2	2
<b>ODOSO</b>	0	0	0

**Tabella 1 Classificazione codificata delle tipologie di impianti**

Ora, in maniera analoga a quanto fatto per la classificazione degli impianti, si istituisce un dizionario energetico usando le *energy word* considerate rilevanti e si definisce una rappresentazione vettoriale dell'apparecchio in cui l'elemento  $i$ -esimo del vettore è il numero di occorrenze nella footprint della parola  $i$ -esima del dizionario energetico. In pratica, se prendiamo come dizionario energetico  $W = \{OVSO, OVDO, OVOPO, ODOSO, OSDOVP\}$ , la rappresentazione vettoriale dei tre apparati Computer, Stampante e Acquario di Tabella 1 è  $d1 = [0\ 2\ 1\ 0\ 1]$ ,  $d2 = [0\ 2\ 0\ 0\ 2]$ ,  $d3 = [0\ 2\ 0\ 0\ 0]$ .

Partendo dall'assunto che la posizione delle varie parole nel testo sia irrilevante, si possono applicare i ben noti classificatori Bayesiani Naïve per generare il modello di classificazione, che si può riassumere in parole semplici come segue: dato un insieme di apparecchi conosciuti, che può anche crescere nel tempo, un apparecchio non identificato viene confrontato con quelli precedentemente identificati e classificato in base al grado di similarità, ottenendo un riconoscimento automatico.

Dati sperimentali:

Per la validazione del modello sono stati utilizzati dei dati di pubblico dominio provenienti dal progetto Europeo CoSSMic

Il progetto CoSSMic è un progetto pubblico europeo il cui obiettivo è l'efficienza energetica. Tra i prodotti del progetto vi sono dei dati riguardanti i consumi elettrici di diversi ambienti quali abitazioni e piccoli uffici. Il momento di inizio delle misurazioni, così come gli intervalli di misura e la qualità dei dati variano da caso a caso, talvolta con mancanza di dati per intervalli di diverse ore. I dati sono disponibili via web e riguardano pompe di calore, lavastoviglie, lavatrici, frigoriferi e congelatori presenti in un sito di prova e in un intervallo temporale relativo al periodo tra ottobre 2015 e febbraio 2017. Essi non hanno pertanto alcuna relazione con i dati dell'esperimento precedente, se non per il fatto che riguardano dispositivi elettrici.

I procedimenti di cui sopra hanno portato ai risultati espressi in Figura 16

Device	Classified as				
	WM	Di	Fr	HP	Re
WM	113	12	7	48	39
Di	53	68	17	1	5
Fr	41	74	1	10	0
HP	16	1	126	2	8
Re	3	1	3	2	112

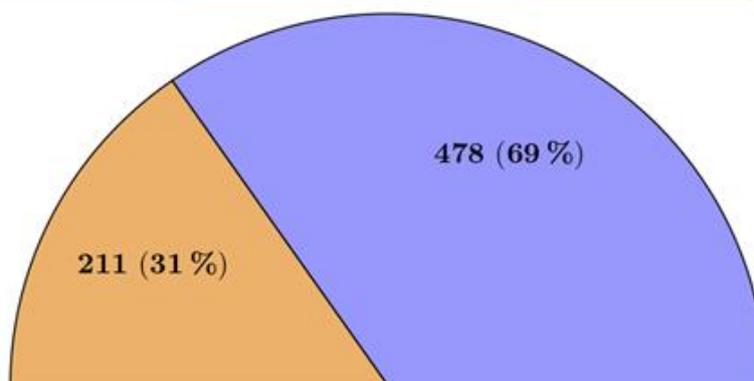


Figura 16. Risultanze analitiche del progetto CoSSMic

In questo caso il modello si comporta egregiamente nel caso di congelatori, pompe di calore e frigoriferi, mentre presenta risultati meno incoraggianti nella classificazione di lavatrici e lavastoviglie.

## 5.1 *Gestione automatizzata dei consumi*

Conoscendo con relativa certezza la tipologia di carico, si possono creare due categorie: gli apparati che non possono essere spenti (es. frigoriferi, computer) che definiremo obbligatori e quelli che possono esserlo (es. luci) che definiremo non obbligatori.

Avendo, come sopra evidenziato, la misura dei consumi di ogni apparato si possono utilizzare tecniche classiche o di intelligenza artificiale per eseguire delle stime previsionali dei consumi.

La produzione di energia da fonte rinnovabile è anch'essa facilmente stimabile; pertanto, si può facilmente sapere di quanta energia si può disporre senza accedere alla rete elettrica.

Grazie alla previsione sui consumi ed a quella sulla produzione si possono, pertanto, creare degli scenari in cui il consumo sia bilanciato con la produzione ovvero, in caso di consumo superiore alla produzione, si conosce la quantità di energia da acquistare dalla rete elettrica nazionale.

In questi scenari non tutti gli apparati saranno in funzione contemporaneamente: vi saranno degli apparati che non potranno essere accesi in determinate ore per non eccedere il consumo desiderato.

La gestione automatizzata dei consumi, nel rispetto di questi criteri di bilanciamento di consumi, passa attraverso la creazione di insiemi di regole di comportamento che si tramutino in comandi di accensione e spegnimento di apparati.

E' possibile che un utente esperto possa creare queste regole (da raggruppare temporalmente in insiemi) che tengano conto dei vincoli sugli apparati (non obbligatori, obbligatori) e che permettano il comando automatico dello stato degli apparati al fine di rispettare il bilanciamento energetico desiderato.

Queste regole verranno poi eseguite dal sistema e daranno luogo ad accensioni e spegnimenti automatizzati. Le regole saranno nella forma

TIMESTAMP → APPARATO per intendere che APPARATO va acceso all'ora e data indicata da TIMESTAMP ovvero

TIMESTAMP → APPARATO per intendere che APPARATO va spento all'ora e data indicata da TIMESTAMP

ad esempio LMMGV-12:30 → LUCICORRIDOIO ad indicare che le luci del corridoio alle 12:30 del Lunedì, Martedì, Mercoledì, Giovedì e Venerdì devono essere spente.

## 5.2 *Estrazione delle regole di comportamento*

Volendo arrivare alla sintesi automatica delle regole di comportamento si rende necessario l'utilizzo di tecniche machine learning, applicate alla conoscenza della curva di consumo dei vari apparecchi nel tempo. Quando si cercano delle relazioni all'interno di grandi quantità di dati si dice che si stanno cercando delle "regole associative": è il caso, ad esempio, dell'analisi di comportamento dei consumatori nei supermercati, in cui l'analisi dei prodotti che fanno parte di un unico acquisto serve a comprendere le tendenze di acquisto dei clienti. Dal fatto che molto spesso nello stesso scontrino siano presenti sia il latte sia dei biscotti, ad esempio, si può dedurre che vi sia una qualche associazione di consumo tra questi due prodotti. Una regola associativa è una formula del tipo "X → Y" e nel nostro caso si ha ad esempio "Computer → Macchina del caffè" che significa "se il computer è acceso lo è anche la macchina del caffè". Ora dai dati di consumo si possono conoscere i momenti in cui ogni elemento era acceso o spento e pertanto è possibile avere la conoscenza di base per poter dedurre queste regole associative. Nel nostro caso la scelta per il compito di "association rule mining" dovrebbe cadere sul ben conosciuto Apriori algorithm.

## 6 Conclusioni

Le principali linee progettuali da seguire per la corretta progettazione di uno smart lab gestito da un sistema di algoritmi basati su Intelligenza Artificiale riguardano principalmente quattro fasi successive.

La prima è inerente alla distribuzione e riguarda i parametri spaziali e geometrici, oltreché i reali spazi fisici dove disporre i dispositivi e i relativi accessori; in questa fase è molto importante operare su un lay-out operativo flessibile.

La seconda fase riguarda la problematica della interoperabilità fra piattaforme sistemi e linguaggi (Middleware) dove l'architettura del sistema deve stabilire un opportuno modello condiviso per la raccolta dati dalle diverse fonti (sensori, inverter, contatori smart, etc).

La terza fase riguarda l'implementazione di sistemi smart che devono essere aggiornati e incrementati nel tempo ed essere sempre adeguati alle mutanti funzionalità richieste dalle nuove condizioni operative e/o dalle nuove tecnologie emergenti.

Infine, la quarta fase riguarda la corretta e adeguata installazione delle infrastrutture di connessione, quali principalmente le linee di alimentazione elettrica (che deve raggiungere ogni singolo sensore che abbia necessità di alimentazione) ed ovviamente la connessione di rete (sia via cavo che Wi-Fi)

L'Internet of Things si rivela dunque il paradigma per la raccolta di dati e informazioni nei *context-aware system*. Infatti, è proprio sulla base dell'analisi dei dati da sensori che gli ambienti del laboratorio si adattano alle esigenze dell'utente. Il sistema configurato può monitorare il flusso di presenze negli spazi, le variazioni di temperatura e di umidità, così come può gestire in maniera efficiente i consumi energetici grazie alla "consapevolezza del contesto" derivante da analisi sempre più aggiornate provenienti dai sensori e così via. L'integrazione di tali sistemi con algoritmi di Intelligenza Artificiale, che siano in grado di elaborare dati e attuare precise strategie in base alle analisi effettuate, rappresenta lo sviluppo futuro principale della tecnologia in esame, così da configurare sistemi di autoapprendimento che costituiscano un vero e proprio Digital Twin del contesto, tramite cui simulare e prevedere gli effetti delle implementazioni. Il modello digitale infatti raccoglie l'insieme di dati che restituisce uno specchio virtuale della realtà, sfruttando i dispositivi IoT installati, raccogliendo informazioni operative e ambientali, elaborabili con tecniche analitiche e simulazioni basate su algoritmi.

A seguito delle varie analisi e dei risultati conseguiti in termini di consumo stimato e consumo effettivo del laboratorio si può constatare che i risultati previsionali ottenuti precedentemente alla realizzazione dello Smart Lab sono molto prossimi ai consumi reali calcolati mediante il sistema di Intelligenza Artificiale.

La traduzione pratica e operativa dei concetti sopra esposti attraverso la messa in opera di un sistema dedicato di machine learning per la gestione della smart grid energetica realizzata durante il presente anno di attività ha portato al risultato auspicato, e cioè a un'ottimizzazione dei consumi in relazione al reale fabbisogno degli utenti.

## 7 Allegato 1 - Prestazioni energetiche e certificazioni del laboratorio

Ai fini di avere una valutazione previsionale sui possibili risparmi conseguenti all'efficientamento energetico dello smart lab, è stata realizzata una analisi energetica dello stesso tramite il software Termus Bim, che ha permesso anche al contempo di avere una validazione dei riscontri derivanti dai primi mesi di monitoraggio realizzato dal sistema di acquisizione realizzato.

### 7.1 *Calcolo Previsionale dei consumi energetici del laboratorio efficientato*

Gli interventi non comportano in nessun modo modifiche all'involucro e/o alla geometria dell'edificio, pertanto, le caratteristiche dimensionali rimangono le stesse descritte nel capitolo precedente.

#### 7.1.1 *Indicatori di prestazione energetica*

L'impianto tecnologico destinato ai servizi di climatizzazione estiva ed invernale rimane invariato ed ha un sistema di generazione costituito da due pompe di calore del tipo aria-aria da 15kW ciascuna installate in parallelo. Viene inserita una centralina climatica che regola la temperatura di mandata in funzione della temperatura esterna e della velocità del vento.

Sia per il riscaldamento che per il raffrescamento i sistemi di regolazione subiscono un importante efficientamento, in particolare la regolazione climatica avviene per singolo ambiente più climatica con possibilità di regolazione proporzionale a 0,5 °C. I terminali di erogazione sono gli stessi sia per il riscaldamento che per il raffrescamento e sono 9 ventilconvettori di potenza nominale pari a 3,00 kW ciascuno. I ricambi d'aria sono implementati con l'inserimento della ventilazione meccanica che garantisce un numero di ricambi d'aria 3 vol/h.

Viene installato un impianto fotovoltaico; per la composizione del campo fotovoltaico è stata scelta la tecnologia basata su pannelli bifacciali composti da strati ultrasottili di silicio amorfo che riducono le perdite, garantendo così una maggiore erogazione di energia rispetto ai pannelli tradizionali. Il modulo è caratterizzato da un'alta efficienza (19,7%) e da un miglior coefficiente di temperatura. L'impianto è orientato verso Sud ed è posizionato con un'inclinazione di 15.0°. Sono stati installati pannelli 20 pannelli per una potenza complessiva di 6,00 kW che raggiungono una percentuale di copertura del fabbisogno annuo per il 21,14%

#### 7.1.2 *Indicatori di prestazione energetica*

Attualmente l'edificio si trova in classe B con un consumo energetico stimato di 15.612,05 kWh annui prelevati interamente da rete.

Dopo la messa in funzione dell'impianto fotovoltaico e la realizzazione prevista di interventi di efficientamento, la prestazione energetica globale dell'edificio in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti classifica l'immobile in classe A2 (un risultato atteso considerato che l'involucro non subisce interventi). Attraverso una stima di utilizzo standard del fabbricato la quantità annua di energia elettrica consumata è di 10.097,90kWh a cui si aggiungono ulteriori 2.302,23 kWh ricavate dal solare fotovoltaico. L'edificio ha un indice di prestazione energetica non rinnovabile EP<sub>gl,nren</sub> di 51,99 kWh/m<sup>2</sup>anno. Le emissioni di CO<sub>2</sub> stimate scendono raggiungendo 11,55 kg/m<sup>2</sup>anno. L'analisi svolta è riportata in dettaglio nell'allegato 3 al presente rapporto.

7.2 Attestato di prestazione energetica (Ante Operam)



## ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE IDENTIFICATIVO: VG001 VALIDO FINO AL: 00/00/0000



DATI GENERALI

**Destinazione d'uso**

Residenziale

Non residenziale

Classificazione D.P.R. 412/93: E2 uffici e assimilabili

**Oggetto dell'attestato**

Intero edificio

Unità immobiliare

Gruppo di unità immobiliari

Numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio: 0

Nuova costruzione

Passaggio di proprietà

Locazione

Ristrutturazione importante

Riqualificazione energetica

Altro:

**Dati identificativi**

Regione: LAZIO Comune: ROMA Indirizzo: via A.Gramsci, 53, Piano: 4 Interno: - Coordinate GIS: Lat: 41°54'27" Long: 12°29'24"	Zona climatica: D Anno di costruzione: 1932 Superficie utile riscaldata (m <sup>2</sup> ): 378.75 Superficie utile raffrescata (m <sup>2</sup> ): 378.75 Volume lordo riscaldato (m <sup>3</sup> ): 1'555.56 Volume lordo raffrescato (m <sup>3</sup> ): 1'555.56
---	--

Comune catastale	ROMA (RM) - H501	Sezione		Foglio	-	Particella	
Subalterni	da a \						
Altri subalterni							

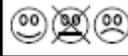
**Servizi energetici presenti**

<input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione invernale	<input type="checkbox"/> Ventilazione meccanica	<input type="checkbox"/> Illuminazione
<input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione estiva	<input type="checkbox"/> Prod. acqua calda sanitaria	<input type="checkbox"/> Trasporto di persone o cose

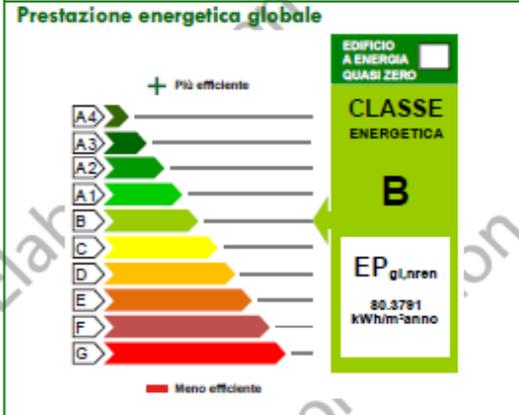
PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto dei rendimenti degli impianti presenti.

**Prestazione energetica del fabbricato**

INVERNO	ESTATE
	
	

**Prestazione energetica globale**



CLASSE ENERGETICA

B

EP<sub>g,lrren</sub>  
80.3781 kWh/m<sup>2</sup>/anno

**Riferimenti**

Gli immobili simili avrebbero in media la seguente classificazione:

**Se nuovi:**

A2 (43.64)

**Se esistenti:**



## ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE IDENTIFICATIVO: VG001

VALIDO FINO AL: 00/00/0000



### PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI IMPIANTI E CONSUMI STIMATI

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica rinnovabile e non rinnovabile, nonché una stima dell'energia consumata annualmente dall'immobile secondo uno standard.

#### Prestazioni energetiche degli impianti e stima dei consumi di energia

	FONTI ENERGETICHE UTILIZZATE	Quantità annua consumata in uso standard	Indici di prestazione energetica globali ed emissioni
<input checked="" type="checkbox"/>	Energia elettrica da rete	15'612.05 kWh	Indice della prestazione energetica non rinnovabile EP <sub>g,non ren</sub> 80.38 kWh/m <sup>2</sup> anno
<input type="checkbox"/>	Gas naturale		
<input type="checkbox"/>	GPL		Indice della prestazione energetica rinnovabile EP <sub>g,ren</sub> 141.10 kWh/m <sup>2</sup> anno
<input type="checkbox"/>	Carbone		
<input type="checkbox"/>	Gasolio e Olio combustibile		Emissioni di CO <sub>2</sub> 17.86 kg/m <sup>2</sup> anno
<input type="checkbox"/>	Biomasse solide		
<input type="checkbox"/>	Biomasse liquide		
<input type="checkbox"/>	Biomasse gassose		
<input type="checkbox"/>	Solare fotovoltaico		
<input type="checkbox"/>	Solare termico		
<input type="checkbox"/>	Eolico		
<input type="checkbox"/>	Teleriscaldamento		
<input type="checkbox"/>	Teleraffrescamento		
<input type="checkbox"/>	Altro:		

### RACCOMANDAZIONI

La sezione riporta gli interventi raccomandati e la stima dei risultati conseguibili, con il singolo intervento o con la realizzazione dell'insieme di essi, esprimendo una valutazione di massima del potenziale di miglioramento dell'edificio o immobile oggetto dell'attestato di prestazione energetica.

### RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA E RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE

INTERVENTI RACCOMANDATI E RISULTATI CONSEGUIBILI

Codice	TIPO DI INTERVENTO RACCOMANDATO	Comporta una Ristrutturazione importante	Tempo di ritorno dell'investimento anni	Classe Energetica raggiungibile con l'intervento (EP <sub>g,non ren</sub> kWh/m <sup>2</sup> anno)	CLASSE ENERGETICA raggiungibile se si realizzano tutti gli interventi raccomandati



## ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE IDENTIFICATIVO: VG001

VALIDO FINO AL 00/00/0000



### ALTRI DATI ENERGETICI GENERALI

<b>Energia esportata</b>	0.00 kWh/anno	<b>Vettore energetico:</b> Elettricità
--------------------------	---------------	--

### ALTRI DATI DI DETTAGLIO DEL FABBRICATO

<b>V - Volume riscaldato</b>	1'555.56	m <sup>3</sup>
<b>S - Superficie disperdente</b>	1'180.39	m <sup>2</sup>
<b>Rapporto S/V</b>	0.76	
<b>EP<sub>H,nd</sub></b>	131,124	kWh/m <sup>2</sup> anno
<b>A<sub>sol</sub>/A<sub>sup,utile</sub></b>	0.0098	-
<b>Y<sub>IE</sub></b>	0.2384	W/m <sup>2</sup> K

### DATI DI DETTAGLIO DEGLI IMPIANTI

Servizio energetico	Tipo di impianto	Anno di installazione	Codice catasto regionale impianti termici	Vettore energetico utilizzato	Potenza Nominale kW	Efficienza media stagionale	EPren	EPnren
Climatizzazione invernale	1 - HP elettrica aria-aria	2019		Elettricità	30.00	0.59 $\eta_w$	141.10	80.38
Climatizzazione estiva	1 - HP elettrica aria-aria	2019		Elettricità	27.40	0.00 $\eta_c$	0.00	0.00
Prod. acqua calda sanitaria	-	-	-	-	-	$\eta_w$	-	-
Impianti combinati	-	-	-	-	-	-	-	-
Produzione da fonti rinnovabili	Pompa di calore	-	-	-	30.00	-	-	-
Ventilazione meccanica	-	-	-	-	-	-	-	-
Illuminazione	-	-	-	-	-	-	-	-

### 7.3 Attestato di prestazione energetica (Post Operam)



## ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE IDENTIFICATIVO: V0001 VALIDO FINO AL: 00/00/0000



---

DATI GENERALI

**Destinazione d'uso**

Residenziale

Non residenziale

Classificazione D.P.R. 412/93: E2 uffici e assimilabili

**Oggetto dell'attestato**

Intero edificio

Unità immobiliare

Gruppo di unità immobiliari

Numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio: 0

Nuova costruzione

Passaggio di proprietà

Locazione

Ristrutturazione importante

Riqualificazione energetica

Altro:

---

**Dati identificativi**

Regione: LAZIO Comune: ROMA Indirizzo: via A.Gramsci, 53, Piano: 4 Interno: - Coordinate GIS: Lat: 41°54'27" Long: 12°29'24"	Zona climatica: D Anno di costruzione: 1932 Superficie utile riscaldata (m <sup>2</sup> ): 378.75 Superficie utile raffrescata (m <sup>2</sup> ): 378.75 Volume lordo riscaldato (m <sup>3</sup> ): 1'555.56 Volume lordo raffrescato (m <sup>3</sup> ): 1'555.56	
---	--	--

---

Comune catastale	ROMA (RM) - H501	Sezione	Foglio	-	Particella					
Subaltemi	da	a	\ da	a	\ da	a	\ da	a	\ da	a
Altri subaltemi										

---

**Servizi energetici presenti**

<input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione invernale	<input checked="" type="checkbox"/> Ventilazione meccanica	<input type="checkbox"/> Illuminazione
<input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione estiva	<input type="checkbox"/> Prod. acqua calda sanitaria	<input type="checkbox"/> Trasporto di persone o cose

---

PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto dei rendimenti degli impianti presenti.

**Prestazione energetica del fabbricato**

INVERNO	ESTATE

**Prestazione energetica globale**

+ Più efficiente

- Meno efficiente

EDIFICIO A ENERGIA QUASI ZERO

CLASSE ENERGETICA

A2

EP<sub>g,ren</sub>  
61.8884 kWh/m<sup>2</sup>anno

**Riferimenti**  
Gli immobili simili avrebbero in media la seguente classificazione:

**Se nuovi:**

A4 (24.90)

**Se esistenti:**



# ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE IDENTIFICATIVO: V0001 VALIDO FINO AL 00/00/0000



## PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI IMPIANTI E CONSUMI STIMATI

La sezione riporta l'indice di prestazione energetica rinnovabile e non rinnovabile, nonché una stima dell'energia consumata annualmente dall'immobile secondo uno standard.

Prestazioni energetiche degli impianti e stima dei consumi di energia			
	FONTI ENERGETICHE UTILIZZATE	Quantità annua consumata in uso standard	Indici di prestazione energetica globali ed emissioni
<input checked="" type="checkbox"/>	Energia elettrica da rete	10'097.90 kWh	Indice della prestazione energetica non rinnovabile EP <sub>gI,ren</sub> 51.99 kWh/m <sup>2</sup> anno
<input type="checkbox"/>	Gas naturale		
<input type="checkbox"/>	GPL		
<input type="checkbox"/>	Carbone		
<input type="checkbox"/>	Gasolio e Olio combustibile		
<input type="checkbox"/>	Biomasse solide		Indice della prestazione energetica rinnovabile EP <sub>gI,ren</sub> 114.50 kWh/m <sup>2</sup> anno
<input type="checkbox"/>	Biomasse liquide		
<input type="checkbox"/>	Biomasse gassose		
<input checked="" type="checkbox"/>	Solare fotovoltaico	2'302.23 kWh	
<input type="checkbox"/>	Solare termico		Emissioni di CO <sub>2</sub> 11.55 kg/m <sup>2</sup> anno
<input type="checkbox"/>	Eolico		
<input type="checkbox"/>	Teleriscaldamento		
<input type="checkbox"/>	Teleraffrescamento		
<input type="checkbox"/>	Altra:		

## RACCOMANDAZIONI

La sezione riporta gli interventi raccomandati e la stima dei risultati conseguibili, con il singolo intervento o con la realizzazione dell'insieme di essi, esprimendo una valutazione di massima del potenziale di miglioramento dell'edificio o immobile oggetto dell'attestato di prestazione energetica.

## RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA E RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE

INTERVENTI RACCOMANDATI E RISULTATI CONSEGUIBILI

Codice	TIPO DI INTERVENTO RACCOMANDATO	Comporta una Ristrutturazione importante	Tempo di ritorno dell'investimento anni	Classe Energetica raggiungibile con l'intervento (EP <sub>gI,ren</sub> kWh/m <sup>2</sup> anno)	CLASSE ENERGETICA raggiungibile se si realizzano tutti gli interventi raccomandati



## ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

CODICE IDENTIFICATIVO: VG001

VALIDO FINO AL: 00/00/0000



### ALTRI DATI ENERGETICI GENERALI

Energia esportata	405.43 kWh/anno	Vettore energetico: Elettricità
-------------------	-----------------	---------------------------------

### ALTRI DATI DI DETTAGLIO DEL FABBRICATO

V - Volume riscaldato	1'555.56	m <sup>3</sup>
S - Superficie disperdente	1'180.39	m <sup>2</sup>
Rapporto S/V	0.76	
EP <sub>H,nd</sub>	131,260	kWh/m <sup>2</sup> anno
A <sub>tot</sub> /A <sub>sup,utile</sub>	0.0098	-
Y <sub>IE</sub>	0.2384	W/m <sup>2</sup> K

### DATI DI DETTAGLIO DEGLI IMPIANTI

Servizio energetico	Tipo di impianto	Anno di installazione	Codice catasto regionale impianti termici	Vettore energetico utilizzato	Potenza Nominale kW	Efficienza media stagionale	EPren	EPnren
Climatizzazione invernale	1 - HP elettrica aria-aria	2019		Elettricità	30.00	0.79 $\eta_H$	114.50	51.99
Climatizzazione estiva	1 - HP elettrica aria-aria	2019		Elettricità	27.40	0.00 $\eta_C$	0.00	0.00
Prod. acqua calda sanitaria	-	-	-	-	-	$\eta_w$	-	-
Impianti combinati	-	-	-	-	-	-	-	-
Produzione da fonti rinnovabili	Impianto fotovoltaico Pompe di calore	2021 -	-	-	6.00 30.00	-	-	-
Ventilazione meccanica	1 - Ventilatori	2021		Elettricità	0.00	-	0.00	0.00
Illuminazione	-	-	-	-	-	-	-	-

## 8 Allegato 2 - Documentazione fotografica delle microgrid realizzata

Si riporta nel presente allegato una documentazione fotografica dell'impianto realizzato e descritto in dettaglio nella relazione dei precedenti anni di ricerca.

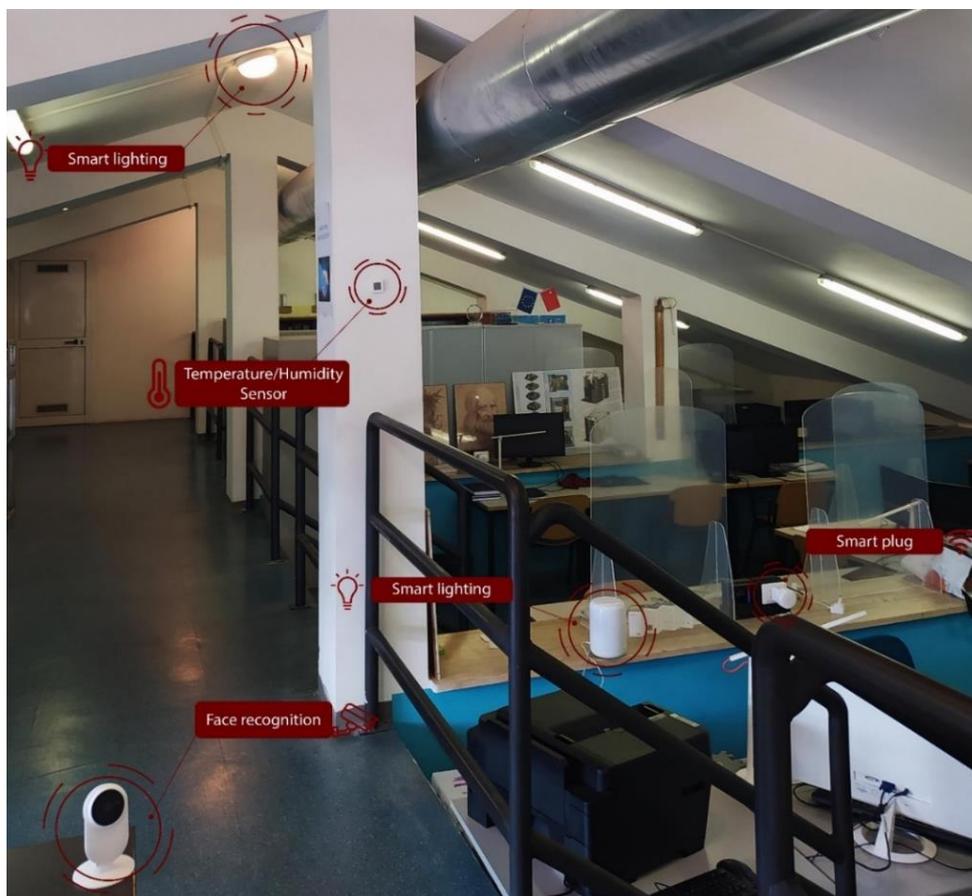


Figura 17. Installazione dei dispositivi all'interno dello SmartLab

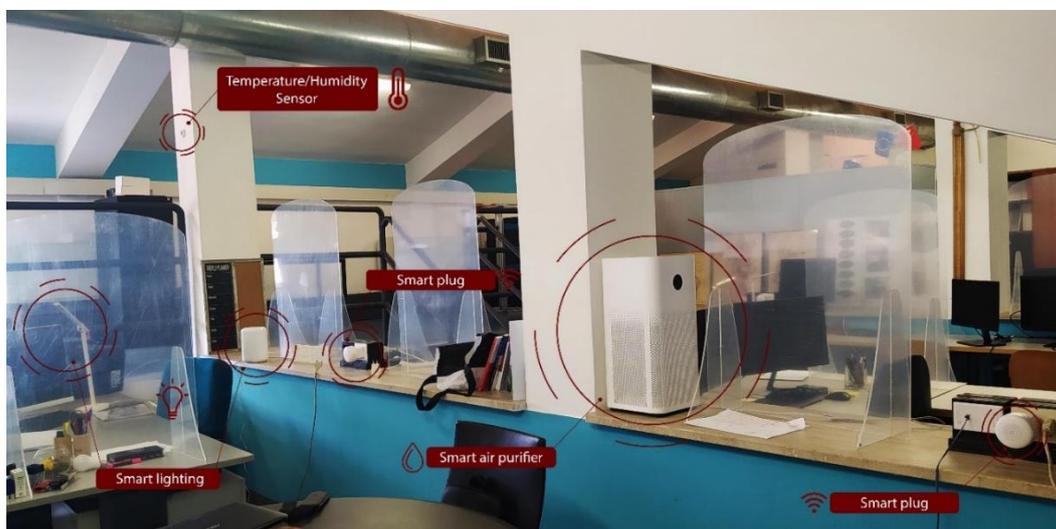


Figura 6. Installazione dei dispositivi all'interno dello SmartLab



**Figura 19. Sensori di apertura porte e finestre e dispositivi di sicurezza**



**Figura 7. Foto aerea con drone – Video ripresa aerea**



Figura 21. Foto aerea con drone – Video ripresa aerea



Figura 8. Colonnina di ricarica



Figura 9. Inverter



**Figura 10. Visione dell'insieme della SmartGrid**

## 9 Normativa

Gli impianti fotovoltaici e i relativi componenti devono rispettare, ove di pertinenza, le prescrizioni contenute nelle seguenti norme di riferimento, comprese eventuali varianti, aggiornamenti ed estensioni emanate successivamente dagli organismi di normazione citati.

Si applicano inoltre i documenti tecnici emanati dai gestori di rete riportanti disposizioni applicative per la connessione di impianti fotovoltaici collegati alla rete elettrica e le prescrizioni di autorità locali, comprese quelle dei VVFF.

### Normativa generale

**Decreto Legislativo n. 504 del 26-10-1995, e s.m.i.:** Testo Unico delle disposizioni legislative concernenti le imposte sulla produzione e sui consumi e relative sanzioni penali e amministrative

**Decreto Legislativo n. 387 del 29-12-2003:** attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità.

**Legge n. 239 del 23-08-2004:** riordino del settore energetico, nonché delega al Governo per il riassetto delle disposizioni vigenti in materia di energia.

**Decreto Legislativo n. 192 del 19-08-2005:** attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.

**Decreto Legislativo n. 311 del 29-12-2006:** disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia.

**Decreto Legislativo n. 115 del 30-05-2008:** attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE.

**Decreto Legislativo n. 56 del 29-03-2010:** modifiche e integrazioni al decreto 30 maggio 2008, n. 115.

**Decreto del presidente della repubblica n. 59 del 02-04-2009:** regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia.

**Decreto Legislativo n. 26 del 2-02-2007:** attuazione della direttiva 2003/96/CE che ristruttura il quadro comunitario per la tassazione dei prodotti energetici e dell'elettricità.

**Decreto Legge n. 73 del 18-06-2007:** testo coordinato del Decreto Legge 18 giugno 2007, n. 73.

**Decreto 2-03-2009:** disposizioni in materia di incentivazione della produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare.

**Legge n. 99 del 23 luglio 2009:** disposizioni per lo sviluppo e l'internazionalizzazione delle imprese, nonché in materia di energia.

**Legge 13 Agosto 2010, n. 129 (GU n. 192 del 18-8-2010):** Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 8 luglio 2010, n. 105, recante misure urgenti in materia di energia. Proroga di termine per l'esercizio di delega legislativa in materia di riordino del sistema degli incentivi. (Art. 1-septies - Ulteriori disposizioni in materia di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili).

**Decreto legislativo del 3 marzo 2011, n. 28:** Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili.

**Decreto legge del 22 giugno 2012, n. 83:** misure urgenti per la crescita del Paese.

**Legge 11 agosto 2014, n. 116:** conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 24 giugno 2014, n. 91, recante disposizioni urgenti per il settore agricolo, la tutela ambientale e l'efficientamento energetico dell'edilizia scolastica e universitaria, il rilancio e lo sviluppo delle imprese, il contenimento dei costi gravanti sulle tariffe elettriche, nonché per la definizione immediata di adempimenti derivanti dalla normativa europea. (GU Serie Generale n. 192 del 20-8-2014 - Suppl. Ordinario n. 72).

Decreto Ministero dello sviluppo economico del 19 maggio 2015 (GU n.121 del 27-5-2015): approvazione del modello unico per la realizzazione, la connessione e l'esercizio di piccoli impianti fotovoltaici integrati sui tetti degli edifici.

### Sicurezza

**D.Lgs. 81/2008:** (testo unico della sicurezza): misure di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro e succ. mod. e int.

**DM 37/2008:** sicurezza degli impianti elettrici all'interno degli edifici.

#### Ministero dell'interno

**"Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici"** - DCPREV, prot. 5158 - Edizione 2012.

**"Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici"** - Nota DCPREV, prot. 1324 - Edizione 2012.

**"Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici"** - Chiarimenti alla Nota DCPREV, prot.1324 "Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici – Edizione 2012".

#### Secondo Conto Energia

**Decreto 19-02-2007:** criteri e modalità per incentivare la produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare, in attuazione dell'articolo 7 del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387.

**Legge n. 244 del 24-12-2007 (Legge finanziaria 2008):** disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato.

**Decreto Attuativo 18-12-2008 - Finanziaria 2008**

**DM 02/03/2009:** disposizioni in materia di incentivazione della produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare.

#### Terzo Conto Energia

**Decreto 6 agosto 2010:** incentivazione della produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare.

#### Quarto Conto Energia

**Decreto 5 maggio 2011:** incentivazione della produzione di energia elettrica da impianti solari fotovoltaici.

#### Quinto Conto Energia

**Decreto 5 luglio 2012:** attuazione dell'art. 25 del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28, recante incentivazione della produzione di energia elettrica da impianti solari fotovoltaici.

**Deliberazione 12 luglio 2012 292/2012/R/EFR:** determinazione della data in cui il costo cumulato annuo degli incentivi spettanti agli impianti fotovoltaici ha raggiunto il valore annuale di 6 miliardi di euro e della decorrenza delle modalità di incentivazione disciplinate dal decreto del ministro dello sviluppo economico, di concerto con il ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare 5 luglio 2012.

#### Decreto FER1

**Decreto 4 luglio 2019:** incentivazione dell'energia elettrica prodotta dagli impianti eolici on shore, solari fotovoltaici, idroelettrici e a gas residuati dei processi di depurazione.

NORME TECNICHE

#### Normativa fotovoltaica

**CEI 82-25:** guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa Tensione.

**CEI 82-25; V2:** guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa Tensione.

**CEI EN 60904-1(CEI 82-1):** dispositivi fotovoltaici Parte 1: Misura delle caratteristiche fotovoltaiche tensione-corrente.

**CEI EN 60904-2 (CEI 82-2):** dispositivi fotovoltaici - Parte 2: Prescrizione per le celle fotovoltaiche di riferimento.

**CEI EN 60904-3 (CEI 82-3):** dispositivi fotovoltaici - Parte 3: Principi di misura per sistemi solari fotovoltaici per uso terrestre e irraggiamento spettrale di riferimento.

- CEI EN 61215 (CEI 82-8):** moduli fotovoltaici in silicio cristallino per applicazioni terrestri. Qualifica del progetto e omologazione del tipo.
- CEI EN 61646 (82-12):** moduli fotovoltaici (FV) a film sottile per usi terrestri - Qualifica del progetto e approvazione di tipo.
- CEI EN 61724 (CEI 82-15):** rilievo delle prestazioni dei sistemi fotovoltaici - Linee guida per la misura, lo scambio e l'analisi dei dati.
- CEI EN 61730-1 (CEI 82-27):** qualificazione per la sicurezza dei moduli fotovoltaici (FV) - Parte 1: Prescrizioni per la costruzione.
- CEI EN 61730-2 (CEI 82-28):** qualificazione per la sicurezza dei moduli fotovoltaici (FV) - Parte 2: Prescrizioni per le prove.
- CEI EN 62108 (82-30):** moduli e sistemi fotovoltaici a concentrazione (CPV) - Qualifica di progetto e approvazione di tipo.
- CEI EN 62093 (CEI 82-24):** componenti di sistemi fotovoltaici - moduli esclusi (BOS) - Qualifica di progetto in condizioni ambientali naturali.
- CEI EN 50380 (CEI 82-22):** fogli informativi e dati di targa per moduli fotovoltaici.
- CEI EN 50521 (CEI 82-31):** connettori per sistemi fotovoltaici - Prescrizioni di sicurezza e prove.
- CEI EN 50524 (CEI 82-34):** fogli informativi e dati di targa dei convertitori fotovoltaici.
- CEI EN 50530 (CEI 82-35):** rendimento globale degli inverter per impianti fotovoltaici collegati alla rete elettrica.
- EN 62446 (CEI 82-38):** grid connected photovoltaic systems - Minimum requirements for system documentation, commissioning tests and inspection.
- CEI 20-91:** cavi elettrici con isolamento e guaina elastomerici senza alogeni non propaganti la fiamma con tensione nominale non superiore a 1 000 V in corrente alternata e 1 500 V in corrente continua per applicazioni in impianti fotovoltaici.
- UNI 10349:** riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici.

#### Altra Normativa sugli impianti elettrici

- CEI 0-2:** guida per la definizione della documentazione di progetto per impianti elettrici.
- CEI 0-16:** regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 0-21:** regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica.
- CEI 11-20:** impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria.
- CEI EN 50438 (CT 311-1):** prescrizioni per la connessione di micro-generatori in parallelo alle reti di distribuzione pubblica in bassa tensione.
- CEI 64-8:** impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua.
- CEI EN 60099-1 (CEI 37-1):** scaricatori - Parte 1: Scaricatori a resistori non lineari con spinterometri per sistemi a corrente alternata
- CEI EN 60439 (CEI 17-13):** apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT).
- CEI EN 60445 (CEI 16-2):** principi base e di sicurezza per l'interfaccia uomo-macchina, marcatura e identificazione - Individuazione dei morsetti e degli apparecchi e delle estremità dei conduttori designati e regole generali per un sistema alfanumerico.
- CEI EN 60529 (CEI 70-1):** gradi di protezione degli involucri (codice IP).
- CEI EN 60555-1 (CEI 77-2):** disturbi nelle reti di alimentazione prodotti da apparecchi apparecchiature e da equipaggiamenti elettrici simili - Parte 1: Definizioni.
- CEI EN 61000-3-2 (CEI 110-31):** compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 3: Limiti - Sezione 2: Limiti per le emissioni di corrente armonica (apparecchiature con corrente di ingresso  $I_n = 16$  A per fase).
- CEI EN 62053-21 (CEI 13-43):** apparati per la misura dell'energia elettrica (c.a.) - Prescrizioni particolari - Parte 21: Contatori statici di energia attiva (classe 1 e 2).

**CEI EN 62053-23 (CEI 13-45):** apparati per la misura dell'energia elettrica (c.a.) - Prescrizioni particolari - Parte 23: Contatori statici di energia reattiva (classe 2 e 3).

**CEI EN 50470-1 (CEI 13-52):** apparati per la misura dell'energia elettrica (c.a.) - Parte 1: Prescrizioni generali, prove e condizioni di prova - Apparato di misura (indici di classe A, B e C).

**CEI EN 50470-3 (CEI 13-54):** apparati per la misura dell'energia elettrica (c.a.) - Parte 3: Prescrizioni particolari - Contatori statici per energia attiva (indici di classe A, B e C).

**CEI EN 62305 (CEI 81-10):** protezione contro i fulmini.

**CEI 81-3:** valori medi del numero di fulmini a terra per anno e per chilometro quadrato.

**CEI 20-19:** cavi isolati con gomma con tensione nominale non superiore a 450/750 V.

**CEI 20-20:** cavi isolati con polivinilcloruro con tensione nominale non superiore a 450/750 V.

**CEI 13-4:** sistemi di misura dell'energia elettrica - Composizione, precisione e verifica.

**CEI UNI EN ISO/IEC 17025:2008:** requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e di taratura.

#### DELIBERE AEEGSI

##### Connessione

**Delibera ARG/ELT n. 33-08:** condizioni tecniche per la connessione alle reti di distribuzione dell'energia elettrica a tensione nominale superiore ad 1 kV.

**Deliberazione 84/2012/R/EEL:** interventi urgenti relativi agli impianti di produzione di energia elettrica, con particolare riferimento alla generazione distribuita, per garantire la sicurezza del sistema elettrico nazionale.

##### Ritiro dedicato

**Delibera ARG/ELT n. 280-07:** modalità e condizioni tecnico-economiche per il ritiro dell'energia elettrica ai sensi dell'articolo 13, commi 3 e 4, del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387-03, e del comma 41 della legge 23 agosto 2004, n. 239-04.

##### Servizio di misura

**Delibera ARG/ELT n. 88-07:** disposizioni in materia di misura dell'energia elettrica prodotta da impianti di generazione.

**TIME (2016-2019) - Allegato B Delibera 654/2015/R/EEL:** testo integrato delle disposizioni per l'erogazione del servizio di misura dell'energia elettrica.

##### Tariffe

**Delibera 111-06:** condizioni per l'erogazione del pubblico servizio di dispacciamento dell'energia elettrica sul territorio nazionale e per l'approvvigionamento delle relative risorse su base di merito economico, ai sensi degli articoli 3 e 5 del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79.

**TIV - Allegato A - Deliberazione 19 luglio 2012 301/2012/R/EEL (valido dal 02-04-2019)**

**TIT (2018-2019) - Allegato A Delibera 654/2015/R/EEL:** testo integrato delle disposizioni per l'erogazione dei servizi di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica

**TIC (2016-2019) - Allegato C Delibera 654/2015/R/EEL:** testo integrato delle condizioni economiche per l'erogazione del servizio di connessione

**TIS - Allegato A Deliberazione ARG/ELT 107-09 (valido dal 01-09-2018):** testo integrato delle disposizioni dell'autorità per l'energia elettrica e il gas in ordine alla regolazione delle partite fisiche ed economiche del servizio di dispacciamento (Settlement)

##### TICA

**Delibera ARG/ELT n. 99-08 TICA:** testo integrato delle condizioni tecniche ed economiche per la connessione alle reti elettriche con obbligo di connessione di terzi degli impianti di produzione di energia elettrica (Testo integrato delle connessioni attive – TICA).

**Deliberazione ARG/ELT 124/10:** Istituzione del sistema di Gestione delle Anagrafiche Uniche Degli Impianti di produzione e delle relative unità (GAUDI) e razionalizzazione dei flussi informativi tra i vari soggetti operanti nel settore della produzione di energia elettrica.

**Deliberazione ARG/ELT n. 181-10:** attuazione del decreto del Ministro dello Sviluppo Economico, di concerto con il Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 6 agosto 2010, ai fini dell'incentivazione della produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare.

#### TISP

**Delibera ARG/ELT n. 188-05:** definizione del soggetto attuatore e delle modalità per l'erogazione delle tariffe incentivanti degli impianti fotovoltaici, in attuazione dell'articolo 9 del decreto del Ministro delle attività produttive, di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio, 28 luglio 2005 con modifiche e integrazioni introdotte con le delibere n. 40/06, n. 260/06, 90/07, ARG/ELT 74/08 e ARG/ELT 1/09.

**TISP - Delibera ARG/ELT n. 74-08:** testo integrato delle modalità e delle condizioni tecnico-economiche per lo scambio sul posto.

**Delibera ARG/ELT n.1-09:** attuazione dell'articolo 2, comma 153, della legge n. 244/07 e dell'articolo 20 del decreto ministeriale 18 dicembre 2008, in materia di incentivazione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili tramite la tariffa fissa onnicomprensiva e di scambio sul posto.

**TISP - Allegato A alla deliberazione 570/2012/R/EEL:** testo integrato delle modalità e delle condizioni tecnico-economiche per l'erogazione del servizio di scambio sul posto con integrazioni e modifiche apportate con deliberazioni 578/2013/R/EEL, 614/2013/R/EEL, 612/2014/R/EEL, 128/2017/R/EEL e 96/2018/R/EEL. Documento per la consultazione 488/2013/R/EFR: scambio sul posto: aggiornamento del limite massimo per la restituzione degli oneri generali di sistema nel caso di impianti alimentati da fonti rinnovabili.

#### TEP

**Delibera EEN 3/08:** aggiornamento del fattore di conversione dei kWh in tonnellate equivalenti di petrolio connesso al meccanismo dei titoli di efficienza energetica.

#### TIQE

**Deliberazione 646/2015/R/EEL:** testo integrato della regolazione output-based dei servizi di distribuzione e misura dell'energia elettrica. Periodo di regolazione 2016-2023 (Versione modificata e integrata con deliberazione 38/2016/R/EEL)

#### SEU

**Deliberazione 578/2013/R/EEL:** regolazione dei servizi di connessione, misura, trasmissione, distribuzione, dispacciamento e vendita nel caso di sistemi semplici di produzione e consumo.

**Allegato A alla deliberazione 578/2013/R/EEL:** testo integrato dei sistemi semplici di produzione e consumo - TISSPC (Versione integrata e modificata dalle deliberazioni 426/2014/R/EEL, 612/2014/R/EEL, 242/2015/R/EEL, 72/2016/R/EEL, 458/2016/R/EEL, 788/2016/R/EEL, 276/2017/R/EEL, 894/2017/R/EEL, 921/2017/R/EEL e 426/2018/R/EEL).

**Deliberazione 609/2014/R/EEL:** prima attuazione delle disposizioni del decreto legge 91/2014, in tema di applicazione dei corrispettivi degli oneri generali di sistema per reti interne e sistemi efficienti di produzione e consumo. (Versione modificata con la deliberazione 25 giugno 2015, 302/2015/R/COM).

#### AGENZIA DELLE ENTRATE

**Circolare n. 46/E del 19/07/2007:** articolo 7, comma 2, del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387 – Disciplina fiscale degli incentivi per gli impianti fotovoltaici.

**Circolare n. 66 del 06/12/2007:** tariffa incentivante art. 7, c. 2, del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387. Circolare n. 46/E del 19 luglio 2007 - Precisazione.

**Risoluzione n. 21/E del 28/01/2008:** istanza di Interpello– Aliquota Iva applicabile alle prestazioni di servizio energia - nn. 103) e 122) della Tabella A, Parte terza, d.P.R. 26/10/1972, n. 633 - Alfa S.p.A.

**Risoluzione n. 22/E del 28/01/2008:** istanza di Interpello - Art. 7, comma 2, d. lgs. vo n. 387 del 29 dicembre 2003.

**Risoluzione n. 61/E del 22/02/2008:** trattamento fiscale ai fini dell'imposta sul valore aggiunto e dell'applicazione della ritenuta di acconto della tariffa incentivante per la produzione di energia fotovoltaica di cui all'art. 7, comma 2, del d.lgs. n. 387 del 29 dicembre 2003.

**Circolare n. 38/E del 11/04/2008:** articolo 1, commi 271-279, della legge 27 dicembre 2006, n. 296 – Credito d'imposta per acquisizioni di beni strumentali nuovi in aree svantaggiate.

**Risoluzione n. 13/E del 20/01/2009:** istanza di interpello – Art. 11 Legge 27 luglio 2000, n. 212 – Gestore dei Servizi Elettrici, SPA –Dpr 26 ottobre 1972, n. 633 e Dpr 22 dicembre 1986, n. 917.

**Risoluzione n. 20/E del 27/01/2009:** interpello - Art. 11 Legge 27 luglio 2000, n. 212 - ALFA – art.9 , DM 2 febbraio 2007.

**Circolare del 06/07/2009 n. 32/E:** imprenditori agricoli - produzione e cessione di energia elettrica e calorica da fonti rinnovabili agroforestali e fotovoltaiche nonché di carburanti e di prodotti chimici derivanti prevalentemente da prodotti del fondo: aspetti fiscali. Articolo 1, comma 423, della legge 23 dicembre 2005, n. 266 e successive modificazioni.

**Risoluzione del 25/08/2010 n. 88/E:** interpello - Gestore Servizi Energetici - GSE - articolo 2 della legge 24 dicembre 2007, n. 244.

**Risoluzione del 04/04/2012 n. 32/E:** trattamento fiscale della produzione di energia elettrica da parte dell'ente pubblico mediante impianti fotovoltaici – Scambio sul posto e scambio a distanza.

**Risoluzione del 10/08/2012 n. 84/E:** interpello - Art. 28 del DPR 29 settembre 1973, n. 600 (Impianti FTV su Condomini).

**Risoluzione del 06/12/2012:** interpello - Gestore Servizi Energetici - GSE - Fiscalità V Conto Energia.

**Risoluzione del 02/04/2013 n. 22/E:** applicabilità della detrazione fiscale del 36 per cento, prevista dall'art. 16-bis del TUIR, alle spese di acquisto e installazione di un impianto fotovoltaico diretto alla produzione di energia elettrica.

**Circolare del 19/12/2013 n. 36/E:** impianti fotovoltaici – Profili catastali e aspetti fiscali.

**Risoluzione del 15/10/2015 n. 86/E:** tassazione forfettaria del reddito derivante dalla produzione e dalla cessione di energia elettrica da impianti fotovoltaici - Art. 22 del decreto-legge n. 66 del 2014.

**Circolare del 01/02/2016 n. 2/E:** unità immobiliari urbane a destinazione speciale e particolare - Nuovi criteri di individuazione dell'oggetto della stima diretta. Nuove metodologie operative in tema di identificazione e caratterizzazione degli immobili nel sistema informativo catastale (procedura Docfa).

#### AGENZIA DEL TERRITORIO

**Risoluzione n. 3/2008:** accertamento delle centrali elettriche a pannelli fotovoltaici.

**Nota Prot. n. 31892** - Accertamento degli immobili ospitanti gli impianti fotovoltaici.

#### SSP

**Disposizioni Tecniche di Funzionamento.**

**Regole Tecniche sulla Disciplina dello scambio sul posto.**

#### Ritiro dedicato

**Prezzi medi mensili per fascia oraria e zona di mercato.**

**Prezzi minimi garantiti.**

#### SEU

**Regole applicative per la presentazione della richiesta e il conseguimento della qualifica di SEU e SESEU.**

**Guida alla qualifica dei sistemi SEU e SESEU.**

#### FER1

**Regolamento Operativo per l'iscrizione ai Registri e alle Aste del DM 4 luglio 2019 (23/08/2019)**

TERNA

**Gestione transitoria dei flussi informativi per GAUDÌ.**

**GAUDÌ - Gestione anagrafica unica degli impianti e delle unità di produzione. FAQ GAUDÌ**

**Requisiti minimi per la connessione e l'esercizio in parallelo con la rete AT (Allegato A.68).**

**Criteri di connessione degli impianti di produzione al sistema di difesa di Terna (Allegato A.69).**

**Regolazione tecnica dei requisiti di sistema della generazione distribuita (Allegato A.70).**

I riferimenti di cui sopra possono non essere esaustivi. Ulteriori disposizioni di legge, norme e deliberazioni in materia, anche se non espressamente richiamati, si considerano applicabili.

## 10 Riferimenti bibliografici

Sofia Agostinelli, Fabrizio Cumo, Giambattista Guidi, Claudio Tomazzoli, Cyber-Physical Systems Improving Building Energy Management: Digital Twin and Artificial Intelligence. *Energies* 2021, 14, 2338. <https://doi.org/10.3390/en14082338>

Sofia Agostinelli, Fabrizio Cumo, Giambattista Guidi, and Claudio Tomazzoli, The potential of digital twin model integrated with artificial intelligence systems, In *Proceedings - 2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, IEEEIC / I and CPS Europe 2020*, 2020,

Matteo Cristani, Erisa Karafili, and Claudio Tomazzoli, Improving energy saving techniques by ambient intelligence scheduling, In *Proceedings of the 2015 IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2015)*, volume 1, pages 324-331, Los Alamitos, California, 2015, Conference Publishing Services (CPS), IEEE Computer Society,

Matteo Cristani, Claudio Tomazzoli, Francesco Olivieri, and Karafili Erisa, Defeasible reasoning about electric consumptions, In *Proceedings of the 30th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA-2016)*, pages 885-892, 2016,

Simone Scannapieco and Claudio Tomazzoli, Ubiquitous and pervasive computing for real-time energy management and saving, In *Advances in Intelligent Systems and Computing*, volume 612, pages 3-15, 2017,

Claudio Tomazzoli, Sistema per la gestione di energia in almeno un edificio e relativo metodo, 2011, Italian Patent n, 0001404179 (15-11-2013),

Claudio Tomazzoli, Matteo Cristani, Erisa Karafili, and Francesco Olivieri, Non-monotonic reasoning rules for energy efficiency, *JOURNAL OF AMBIENT INTELLIGENCE AND SMART ENVIRONMENTS*, 9:345-360, 2017,

Claudio Tomazzoli, Matteo Cristani, and Francesco Olivieri, Automatic synthesis of best practices for energy consumptions, In *Proceedings of the tenth international Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, pages 1-8, IEEE CPS, 2016,

Claudio Tomazzoli and Simone Scannapieco, Machine learning for energy efficiency - automatic detection of electric loads from power consumption, In *IEEE Xplore*, pages 1-6, 2017.

## 11 Curriculum Scientifico del gruppo di lavoro: CITERA

### **Fabrizio Cumo**

Professore di II fascia in Fisica Tecnica Ambientale presso la Facoltà di Architettura Valle Giulia - Università "La Sapienza". Dal 2016 direttore del centro di ricerca interdipartimentale CITERA e dal 2015 Presidente del corso di laurea triennale in Gestione del Processo edilizio della facoltà di Architettura. Dal 2015 Direttore del Master di primo livello in BIM (Building Information Modeling).

Responsabile scientifico per il centro di ricerca CITERA del progetto finalizzato alla realizzazione della realizzazione di un Digital Twin (gemello digitale) per le infrastrutture portuali dei porti di Anzio, Formia Terracina e Ventotene finalizzato al controllo energetico e manutentivo delle aree - Regione Lazio (2020-2021).

Responsabile scientifico per il centro di ricerca CITERA del progetto triennale (2014-2017) Practice, programma di ricerca bilaterale europeo Italia-Svezia per conto della Direzione Generale di Internazionalizzazione della Ricerca del MIUR.

Autore di circa 180 pubblicazioni su riviste e memorie di congressi internazionali e nazionali riguardanti la sostenibilità ambientale, l'energetica e la fisica tecnica ambientale (qualità dell'aria interna, trasmissione del calore, illuminotecnica).

Docente di Gestione energetica degli edifici e di Diagnosi energetica presso la Facoltà di Architettura dell'Università di Roma Sapienza.

### **Claudio Tomazzoli**

Dottore di Ricerca (PhD) in Computer Science. Laureato in Ingegneria Informatica ed Automatica. Assegnista di ricerca presso il Dipartimento PDTA dell'università di Roma Sapienza e presso il Dipartimento di informatica dell'Università di Verona.

Professore a contratto presso l'Università degli Studi di Verona, dipartimento di Scienze Giuridiche, corso di laurea di "Informatica" (docenza nel corso "Architettura degli Elaboratori").

Autore di numerose pubblicazioni nel campo del machine learning e delle applicazioni dei sistemi di Intelligenza artificiale applicata alla gestione di reti energetiche.

Titolare del brevetto "Energy Management System in at least one building and relative method" Brevetto Italiano n.0001404179 richiesto in data 28 febbraio 2011, concesso in data 15 novembre 2013.

### **Sofia Agostinelli**

Ingegnere Civile, frequenta il Dottorato di Ricerca in Energia e Ambiente presso Sapienza Università di Roma, ed è Professore a contratto di Project Management dal 2019 presso la Facoltà di Architettura. Sviluppa temi di ricerca focalizzati su strumenti e metodi digitali per l'ottimizzazione del settore AEC (Architecture, Engineering, Construction), e dal 2021 è co-founder di una Startup presso la Sapienza Università di Roma che supporta organizzazioni complesse nella transizione digitale. È coinvolta in attività di ricerca e sviluppo nazionali e internazionali, conferenze e programmi di alta formazione. Collabora con il Centro di Ricerca CITERA nell'ambito della gestione digitale dei processi edilizi attraverso sistemi basati su Digital Twin per il miglioramento delle prestazioni energetico-ambientali degli edifici e delle infrastrutture.

## **Elisa Pennacchia**

Dottore di ricerca in Energia e Ambiente presso l'Università di Roma Sapienza. Laurea in Architettura e docente di "Gestione energetica e Ambientale" presso il corso di laurea di project Management della Facoltà di Architettura dell'Università di Roma Sapienza.

Svolge attività di ricerca prevalentemente nel campo dell'efficientamento energetico dei sistemi edilizi con particolare riferimento all'integrazione dei sistemi di produzione di energia da FER all'interno dell'involucro edilizio. È autrice di numerose pubblicazioni a stampa, su riviste e convegni su tematiche inerenti alla sostenibilità energetica e ambientale di sistemi e componenti edilizi.