RdS
RICERCA DI SISTEMA

ENEA
AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Ricerca di Sistema elettrico

LA1.23 Definizione dei servizi energetici aggiuntivi a supporto della comunità energetica: Smart Buildings, hub energetici multi-vettore, isola di calore

S. Romano, M. Di Somma, M. Zinzi, F. De Lia, P. Zangheri, A. Tundo, A. Castaldo, E. Gambale, G. Vitiello, E. Costanzo, A. Buonanno, M. Caliano, R. Schioppo, R. Lo Presti

RdS_PTR 22-24_PR 1.7_LA1.23_ 004

LA1.23 DEFINIZIONE DEI SERVIZI ENERGETICI AGGIUNTIVI A SUPPORTO DELLA COMUNITÀ ENERGETICA: SMART BUILDINGS, HUB ENERGETICI MULTI-VETTORE, ISOLA DI CALORE

Autori: S. Romano, A. Tundo, P. Zangheri, Michele Zinzi, M. Di Somma, A. Buonanno, M. Caliano, F. De Lia, R. Schioppo, R. Lo Presti, A. Castaldo, E. Gambale, G. Vitiello, E. Costanzo (ENEA).

Giugno 2023

Report Ricerca di Sistema Elettrico

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

Obiettivo: *Decarbonizzazione/Digitalizzazione ed evoluzione delle reti*
Progetto: Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali
Linea di attività: 1.23
Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA
Responsabile Linea di Attività: Sabrina, Romano, ENEA
Mese inizio previsto: 1
Mese inizio effettivo: 1
Mese fine previsto: 18
Mese fine effettivo: 18

Indice

1 RISULTATI ATTESI 3
2 RISULTATI OTTENUTI 4
3 PRODOTTI ATTESI 5
4 PRODOTTI SVILUPPATI 6
5 ANALISI DEGLI SCOSTAMENTI SU ATTIVITÀ E RISULTATI 8
6 SINTESI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE 9
7 DETTAGLIO DELLE ATTIVITÀ SVOLTE 10
8 CONTRIBUTO DELLE EVENTUALI CONSULENZE ALLE ATTIVITÀ SOPRA DESCRITTE 20
9 PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE 21
10 EVENTI DI DISSEMINAZIONE 22

1 Risultati attesi

1.1 Smart building

Definizione di curve caratteristiche di premialità (o penalità) per lo sviluppo di servizi ancillari di flessibilità basati sui carichi termici di edifici del terziario e loro applicazione preliminare attraverso la modellazione termo-energetica del prototipo di edificio. Definizione nel dimostrativo F40 del caso d'uso flessibilità a livello POD con prime prove di funzionamento. Verifica funzionale del Dimostrativo F50 e rilascio del software di monitoraggio e controllo. Integrazione del sistema di monitoraggio esistente presso l'edificio di Bari per le attività da sviluppare nelle successive annualità.

1.2 Hub energetici multi-vettore

Analisi esaustiva delle tecnologie energetiche e delle ICT implementabili nell'ambito di una comunità energetica locale integrata. Lo studio identificherà, inoltre, le configurazioni di hub energetici multi-vettore più analizzate nella letteratura scientifica nel contesto dell'ottimizzazione energetica. Verrà poi prodotta una rassegna dei principali tool esistenti per la pianificazione di hub energetici multi-vettore e verrà definita una review dettagliata delle principali comunità energetiche locali presenti sul territorio nazionale, analizzando parametri quali, ubicazione, organizzazione, motivazione per l'insediamento, vettori energetici presenti e tecnologie installate e vantaggi e barriere al loro sviluppo. Infine, l'attività di ricerca produrrà i modelli matematici di tutte le tecnologie energetiche candidate a far parte della configurazione ottimale di una comunità energetica locale integrata mediante il tool di ottimizzazione che verrà sviluppato nella LA 1.26.

1.3 Isola di calore

Analisi dello stato dell'arte delle tecnologie di mitigazione analizzate, individuando criticità e potenzialità di sviluppo. Saranno prodotti dei campioni di cool materiali auto-pulenti, con iniziale caratterizzazione delle principali grandezze fisiche. Saranno identificate le aree di monitoraggio del verde urbano nella città di Roma e prodotte le analisi preliminari sulle diverse specie individuate. Lo studio definirà, inoltre, le caratteristiche software e hardware dei sistemi di monitoraggio termico ed energetico che andranno ad integrarsi ed arricchire gli strumenti di gestione urbana sviluppati in altre linee di attività del progetto.

2 Risultati ottenuti

2.1 Smart building

Durante questa annualità è stato sviluppato un metodo per la definizione della flessibilità energetica legata agli usi termici in smart buildings, basato sulla modellazione del gemello digitale e in grado di considerare diversi segnali di penalità/premialità. Se esteso su scala più ampia (per esempio agli edifici che rientrano in una CER), questo approccio può permettere di stimare i benefici potenziali sulla rete elettrica locale (bassa/media tensione) in termini di carico di potenza flessibile. È stato quindi definito un caso d'uso per l'attivazione della flessibilità a livello di POD presso il prototipo di smart building realizzato presso l'edificio F40 del Centro Ricerche Casaccia e sono stati condotti i primi test. Inoltre, all'esterno dell'edificio, è stato installato un display per visualizzare l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico, tale attività non era stata prevista inizialmente nel capitolato di progetto. Sempre in Casaccia è stata effettuata la verifica funzionale del Dimostrativo F50 ed è stato rilasciato il software di monitoraggio e controllo, per ridurre l'impatto sulla rete elettrica di ricariche ad alta potenza di veicoli elettrici. Inoltre, presso il dimostrativo di smart building realizzato a Bari nel precedente PTR, è stato effettuato l'upgrade dei sensori, della piattaforma e sono stati introdotti nuovi sistemi di attuazione elettromeccanica necessari per analisi multilivello dei dati di monitoraggio con algoritmi di intelligenza artificiale, di tipo predittivo, finalizzate alla flessibilità ed al miglioramento complessivo delle performance energetiche e di comfort indoor dell'edificio.

2.2 Hub energetici multi-vettore

L'analisi critica condotta ha l'obiettivo fondamentale di definire i principali attributi e le funzionalità che consentono la realizzazione di una comunità energetica locale integrata (CELI) nel contesto europeo. A tale scopo, è stata prodotta una mappatura dettagliata delle tecnologie energetiche e delle ICT (dall'acronimo inglese *Information and Communication Technology*) che potrebbero far parte di una CELI, definendone le funzionalità sia a livello di utente che di comunità e valutando, ove la tecnologia lo permetta, il contributo offerto alla flessibilità. Nel dettaglio, sono state analizzate 25 tecnologie energetiche abilitanti e 8 categorie di ICT che potrebbero far parte di una CELI. Sono state quindi identificate le configurazioni di hub energetici multi-vettore più utilizzate nella letteratura scientifica di settore, ed è stata prodotta una rassegna dei principali tool esistenti per la pianificazione di questi, identificandone 6 già disponibili in commercio come idonei per la pianificazione energetica di una CELI. Successivamente, è stata effettuata una review dettagliata delle principali comunità energetiche locali presenti sul territorio nazionale, andando ad analizzare una serie di parametri quali, ubicazione, organizzazione, motivazione per l'insediamento, tecnologie installate e vantaggi al loro sviluppo. Infine, sono stati prodotti i modelli matematici delle tecnologie energetiche candidate a far parte della configurazione ottimale di una CELI che verranno implementati mediante il tool di ottimizzazione che verrà sviluppato nella LA 1.26.

2.3 Isola di calore

È stata condotta una review dell'arte delle politiche nazionali e internazionali sulla mitigazione e adattamento clima urbano, nonché lo stato dell'arte riguardo l'impatto del verde sul clima urbano e dei cool materiali auto-pulenti. Sono stati progettati e realizzati i primi campioni di materiali autopulenti con tre diverse tecnologie, quindi caratterizzati in laboratorio ed esposti per verifica di invecchiamento. Sono state individuate le aree urbana (Villa Ada) ed extra-urbana (Oriolo Romano), nelle quali sono stati eseguiti i primi monitoraggi sulle specie verdi selezionate. Sono stati individuati le grandezze fisiche da monitorare, i KPI prestazionali da rappresentare, la strumentazione di misura e comunicazione dati, le modalità di raccolta e invio di questi ultimi.

3 Prodotti attesi

Il prodotto atteso per la LA1.23 è un rapporto tecnico che definisce i servizi energetici aggiuntivi a supporto della comunità energetica: Smart Buildings, hub energetici multi-vettore, isola di calore.

3.1 Smart building

I prodotti attesi per quanto riguarda gli Smart Buildings sono:

- Manutenzione evolutiva del Building Energy Management System dell'edificio F40.
- Implementazione del software di monitoraggio e controllo presso l'edificio F50, storage e stazione di ricarica.
- Upgrade del sistema di gestione dell'edificio dimostrativo a Bari con le funzionalità aggiuntive.

3.2 Hub energetici multi-vettore

I prodotti attesi con riferimento a tale attività riguardano lo sviluppo di 14 modelli matematici relativi alle tecnologie energetiche candidate a far parte della configurazione ottimale di una CELI che verranno inclusi nel tool di ottimizzazione da sviluppare nella LA 1.26, in cui verrà realizzato il codice del tool mediante software di ottimizzazione dedicato. Nel dettaglio, tali tecnologie sono state suddivise in 4 macro-categorie: (i) tecnologie rinnovabili; (ii) tecnologie di conversione primaria; (iii) tecnologie di conversione secondaria; (iv) sistemi di accumulo, inclusi i veicoli elettrici.

3.3 Isola di calore

Realizzazione dei primi prototipi di cool materials auto-pulenti.

4 Prodotti sviluppati

I prodotti ottenuti per la LA1.23 sono:

- il presente rapporto "Definizione **dei servizi energetici aggiuntivi a supporto della comunità energetica: Smart Buildings, hub energetici multi-vettore, isola di calore"**, a cui si allega il documento "**Dettagli aggiuntivi sui risultati conseguiti nell'ambito dell'attività di ricerca relativa agli hub energetici multi-vettori"**
- Il rapporto "**Manutenzione evolutiva del Building Energy Management System (BEMS) dell'edificio F40**".

4.1 Smart building

Per quanto riguarda il BEMS dell'edificio dimostrativo F40, è stata effettuata la manutenzione evolutiva del software e sono sostituite alcune componenti hardware. L'accesso alla piattaforma del BEMS, destinata alla gestione dell'edificio e all'implementazione di regole di controllo, può essere effettuato mediante ip locale del sistema: https://192.168.154.73, mentre da remoto è necessario il collegamento alla VPN ENEA utilizzando credenziali personali. Sempre presso l'edificio F40, per rendere visibili a tutti gli utenti le grandezze elettriche dell'impianto Fotovoltaico presente in copertura, è stato installato all'esterno dell'ingresso dell'edificio, un display per il monitoraggio in tempo reale delle grandezze fondamentali dell'impianto (potenza istantanea, energia prodotta cumulata). Per gestire il display è stato sviluppato un software di controllo, in Python, che prende i dati dal server dell'impianto FV (jason) e li elabora, fornendo anche le informazioni relative alle tonnellate di CO_2 evitate. Tale attività non era prevista inizialmente nel capitolato di progetto.

Anche per il dimostrativo presso l'edificio F50, è stata rilasciata la prima versione del software di monitoraggio e controllo, mediante il quale è possibile monitorare in tempo reale il suo stato di funzionamento, selezionare la strategia di gestione desiderata e stabilire i set point ottimali per le varie apparecchiature: storage e stazione di ricarica. Il software è accessibile esclusivamente al gestore di impianto.

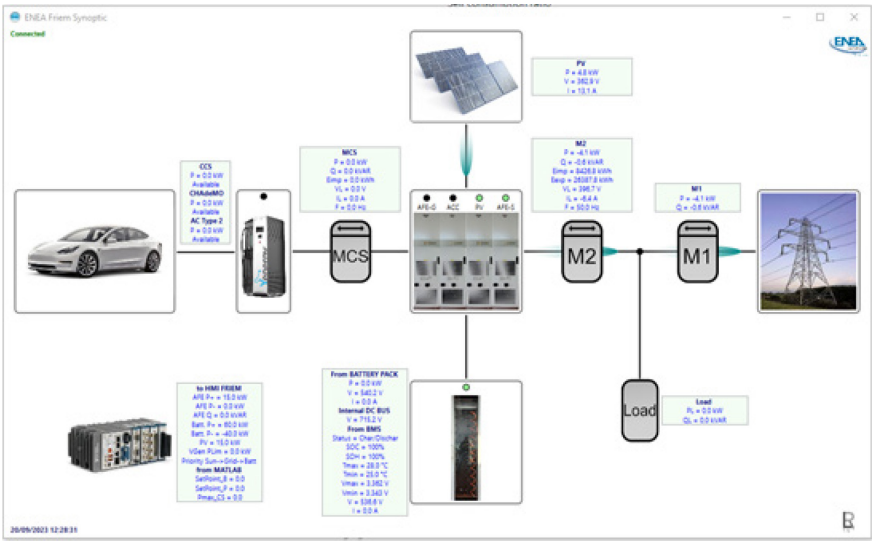

Figura 1. Software di monitoraggio e controllo del Dimostrativo F50

Per quanto riguarda la piattaforma di gestione dello smart building di Bari, accessibile tramite credenziali (id utente e password), al seguente link, https://enea.digimat.it/login, sono state sviluppate funzionalità aggiuntive per la definizione di flussi e regole per l'invio di allarmi e notifiche all'utente.

4.2 Hub energetici multi-vettore

Come già menzionato al paragrafo 3.2, sono stati sviluppati 14 modelli matematici relativi alle tecnologie energetiche candidate a far parte della configurazione ottimale di una CELI che verranno inclusi nel tool di ottimizzazione da sviluppare nella LA 1.26. Si rimanda al paragrafo 7 per i dettagli relativi a tali modelli.

4.3 Isola di calore

Sono stati realizzati i primi tre campioni di cool materials auto-pulenti, si rimanda al paragrafo 7 per i dettagli.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

5.1 Smart building

Si rileva uno scostamento economico relativo all'acquisto del sistema di gestione del sistema di monitoraggio previsto nella sede degli uffici di Bari, per il quale è stata approvvigionata solo la sensoristica, mentre il software specifico verrà rilasciata nel secondo Sal. Questa variazione non impatta sui risultati previsti.

5.2 Hub energetici multi-vettore

Si sono verificati ritardi nella consegna del materiale per le attività relative agli Hub energetici multi-vettore, la spesa verrà rendicontata nel secondo SAL.

5.3 Isola di calore

Uno scostamento economico riguarda una minore spesa per l'approvvigionamento per strumenti di misura, che verranno acquisiti nel secondo SAL. Le attività previste sono state svolte utilizzando apparecchiatura del dipartimento di Fisica dell'Università La Sapienza gentilmente concessa per la sperimentazione sul verde urbano.

6 Sintesi delle attività svolte

6.1 Smart building

Modellazione termo energetica del prototipo di smart building F40 per la definizione della flessibilità elettrica basata sui carichi termici dell'edificio e la definizione del caso d'uso flessibilità a livello POD con prime prove di funzionamento. Verifica funzionale del Dimostrativo F50 e rilascio del software di monitoraggio e controllo. Integrazione del sistema di monitoraggio esistente presso l'edificio di Bari per le attività da sviluppare nelle successive annualità.

6.2 Hub energetici multi-vettore

Definizione di una mappatura delle tecnologie energetiche e ICT per una CELI. Identificazione delle configurazioni di hub energetici multi-vettore utilizzate in letteratura. Definizione di una rassegna dei principali tool esistenti per la pianificazione energetica di CELI. Produzione di una review delle principali comunità energetiche presenti sul territorio nazionale. Sviluppo di modelli matematici delle tecnologie energetiche candidate a far parte di una CELI.

6.3 Isola di calore

Studio di letteratura di politiche e tecnologie sul tema della mitigazione dell'isola di calore urbana. Studi sperimentali su: capacità evapotraspirativa di sistemi verde urbano, cool materials aoutopulenti, cooling potential di sistemi evaporativi. Definite le specifiche per un sistema informativo sulla qualità termica urbana per i cittadini.

7 Dettaglio delle attività svolte

7.1 Smart building

7.1.1 Curve caratteristiche di premialità

Le curve di premialità/penalità sono un dato di input fondamentale per la caratterizzazione della flessibilità energetica e la programmazione dei carichi flessibili, in quanto formalizzano la richiesta di flessibilità in termini di una funzione obiettivo.
Per le applicazioni oggetto di questa LA si è ritenuto coerente definire due punti di vista principali: quello del DSO o Aggregatore che può inoltrare una richiesta basata sul costo orario dell'energia (basato sul PUN del MGP) e quello del Gestore di una CER che, per l'ottimizzazione dell'autoconsumo, è maggiormente interessato a spostare i carichi flessibili in corrispondenza della produzione fotovoltaica (basata sulle previsioni di radiazione solare).
Coerentemente con la disponibilità dei dati di PUN e radiazione, le curve sono state definite su base oraria e per un anno tipo, e quindi testate attraverso la simulazione dinamica del dimostratore.

7.1.2 Caso d'uso flessibilità a livello POD con prime prove di funzionamento.

L'obiettivo del task è quello di definire il caso d'uso relativo alla richiesta di flessibilità a livello di punto di consegna della rete, ovvero a livello di POD, riferito al dimostratore Smart building F40 (si veda report RdS/PTR(2021)/008).
Nel test effettuato il giorno che precede l'evento è stato simulato l'invio, da parte del DSO o Aggregatore della comunità energetica, della richiesta di minimizzare il prelievo dalla rete, si ipotizza che la richiesta venga effettuata in slot di due ore, l'obiettivo si basa sull'andamento del PUN, che esprime il prezzo dell'energia in funzione dell'andamento del mercato energetico del giorno prima. Nel test condotto si è considerato l'andamento del PUN di una giornata tipo, riportata nella figura 4.a dove si possono notare 2 intervalli orari, delle ore 8-10 e 16-18 in cui il PUN risulta più elevato, che corrispondono agli slot in cui si richiede di minimizzare il prelievo dalla rete.

Nella fig.3 si è rappresentato lo schema di funzionamento del caso d'uso: il messaggio viene acquisito dal POD virtuale dell'edificio e viene trasmesso all'EMS (Energy Management System), che gestisce lo storage dell'edificio e all'BEMS (Building Energy Management System) che gestisce i carichi elettrici dell'edificio, in particolare quelli termici costituiti da pompe di calore che rappresentano nella sperimentazione il carico flessibile dell'edificio (fig.2).

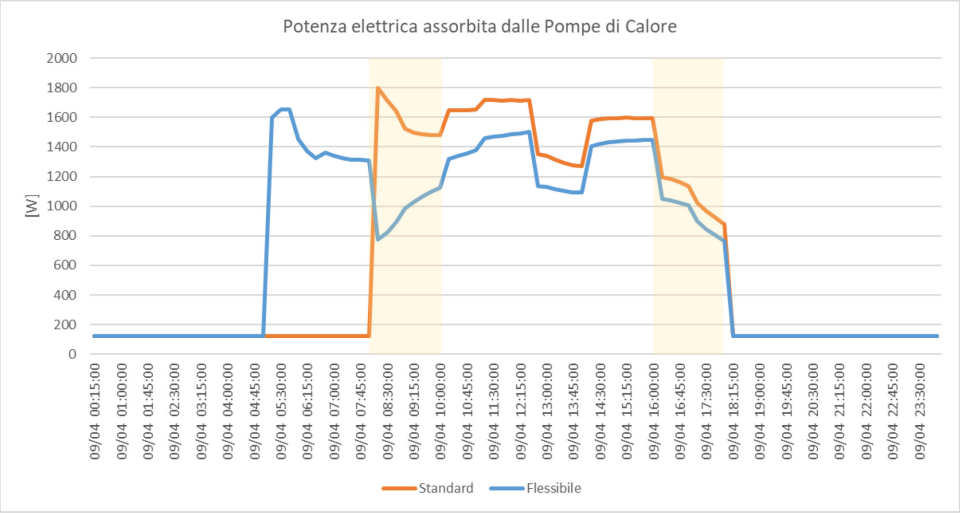

Figura 2. Andamento del PUN per il giorno prefissato per il test di flessibilità

I due sistemi di gestione, EMS e BEMS, acquisiscono inoltre le previsioni meteo che permettono, per il giorno successivo la previsione della produzione del fotovoltaico e della previsione della richiesta energetica da parte dell'edificio.
Sulla base della previsione di carico e della produzione fotovoltaica vengono programmati i set point delle pompe di calore e quelli dello storage per poter rispettare la curva di prelievo concordata (fig. 4c) che nel test condotto voleva dire ridurre a 100 W il prelievo da rete nelle 2 fasce orarie. Il giorno seguente il BEMS e l'EMS invieranno i set point e controlleranno le attuazioni programmate (fig. 4b e 4d).

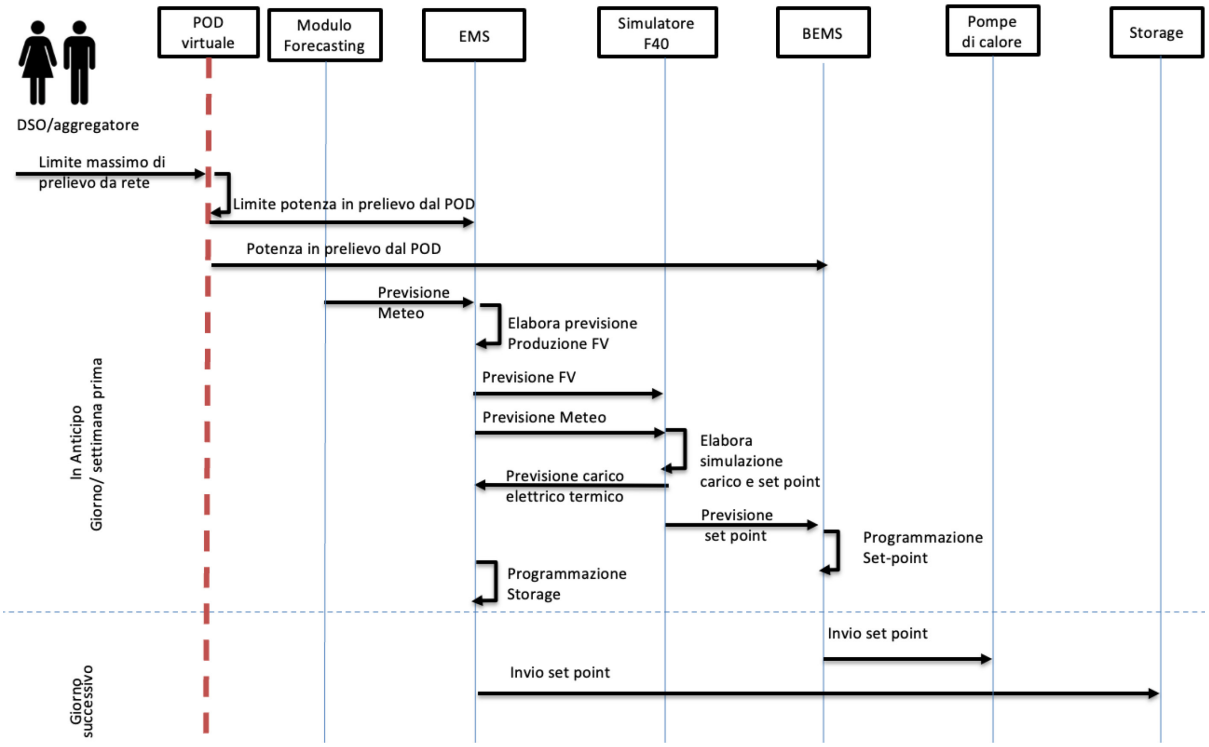

Figura 3. UML caso d'uso

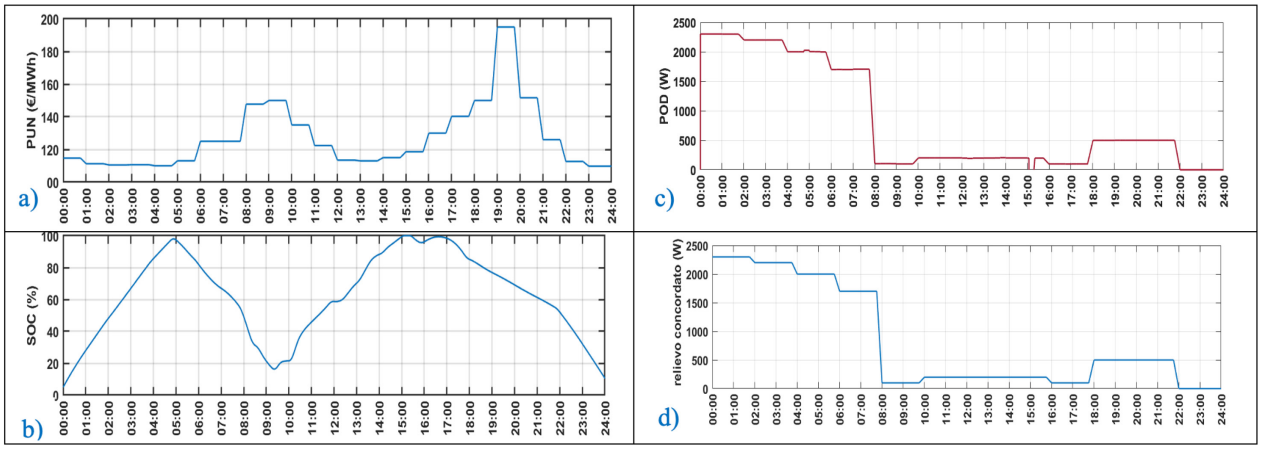

Figura 4. a) PUN per il giorno di test; b) stato di carica della batteria per il test; c) modifica del prelievo concordata con il DSO/Aggregatore; c) Profilo di prelievo effettuato il giorno di test.

Il Dimostrativo F50 consiste in un sistema di ricarica veloce per veicoli elettrici alimentato da fotovoltaico, storage e rete a basso impatto per la rete elettrica che potrà essere integrato in uno Smart building. Il sistema

è dotato di un EMS che accede mediante un protocollo Modbus TCP alle principali grandezze dei convertitori di potenza e della batteria e ne governa i flussi energetici. Un secondo sistema ModBus TCP, riferito alla stazione di ricarica, consente di accedere ad altre grandezze, tra cui lo stato dei connettori CCS, Type2 e Chademo, la potenza, la tensione e la corrente richieste dal veicolo, il suo SOC ed eventuali allarmi. Nel corso delle attività è stato rilasciato il software di monitoraggio e controllo di impianto che fornisce in tempo reale una rappresentazione grafica dello stato di funzionamento del Dimostrativo. Tutte le grandezze vengono salvate ogni 15 secondi su un NAS di impianto.
Nel corso delle attività sono state svolte prove finalizzate alla verifica del corretto funzionamento dei protocolli di comunicazione delle varie apparecchiature, sia in lettura che in scrittura (fig 5).

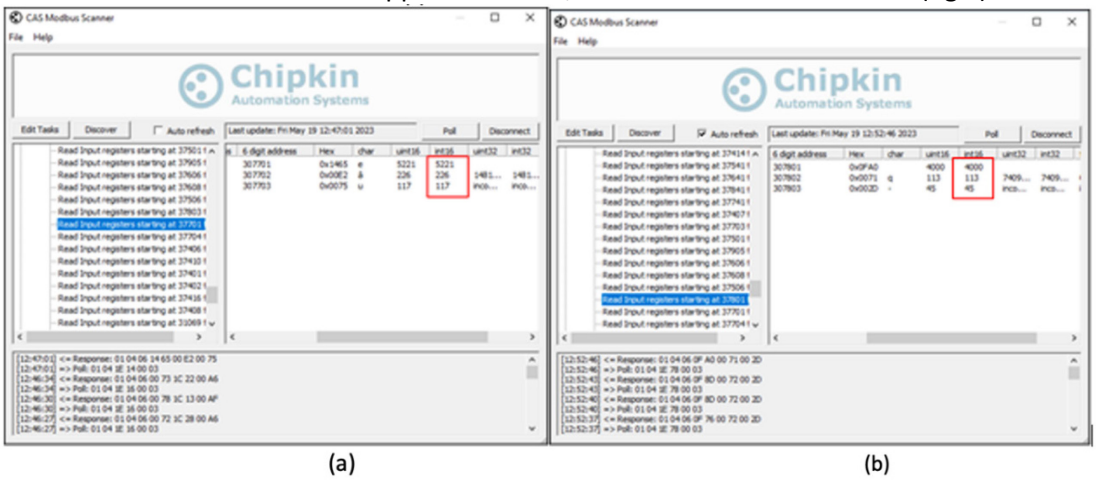

Figura 5. Prove di lettura della tensione (V), della corrente (A) e della potenza (W) erogate dalla batteria (a) e dal generatore fotovoltaico (b)

Presso il dimostrativo smart building a Bari è stato realizzato l'upgrade del sistema, tramite l'installazione di sensori di presenza ed illuminazione in ogni ufficio e l'allestimento completo di due uffici, con opposto orientamento solare, con tende semi oscuranti elettriche e con dispositivi di ventilazione meccanica controllata VMC. Grazie ai dispositivi di attuazione e "dimmeraggio" della luce artificiale, connessi ai sensori di luminosità, è possibile l'ottimizzazione della quantità di luce presente sul piano di lavoro. I dispositivi di attuazione sono stati collegati agli alimentatori delle plafoniere e ai VMC (per il controllo da remoto) che realizzano una rete mesh di tipo ZigBee 3.0 ed un Gateway, ponte tra la rete mesh Zigbee e la rete Internet. Tutti gli attuatori sono controllabili tramite telecomando in loco o da remoto tramite piattaforma. Il sistema è stato dunque predisposto, per le analisi multilivello dei dati con algoritmi di intelligenza artificiale previsti nel prossimo SAL.

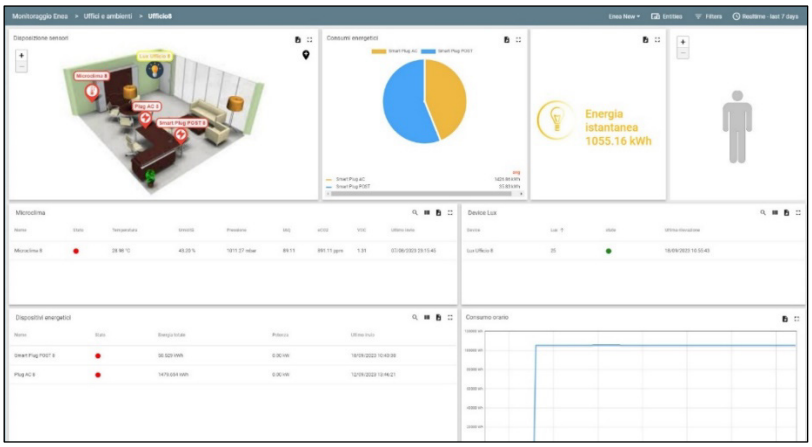

Figura 6. Interfaccia della piattaforma di gestione: sensori di presenza e luxmetro di un ufficio

7.2 Hub energetici multi-vettore

La comunità energetica locale integrata (CELI) è intesa come un insieme di hub energetici multi-vettore interconnessi elettricamente e termicamente, predisposti per il soddisfacimento della domanda multi-energetica degli utenti della comunità. L'architettura di una CELI dipende dalla disponibilità di risorse e tecnologie locali e dai corrispondenti standard tecnici, di mercato, del quadro politico e normativo. Le **tecnologie abilitanti** svolgono un ruolo chiave per lo sviluppo di una CELI e sono principalmente legate a tecnologie per facilitare l'integrazione delle fonti energetiche rinnovabili (FER), dell'accumulo energetico, del *sector coupling* e delle ICT. Nel dettaglio, sono state analizzate 25 tecnologie energetiche abilitanti mostrate nella seguente tabella. Le tecnologie elettriche identificate includono sistemi fotovoltaici, eolici, idroelettrici e a moto ondoso. Le prime due tecnologie sono implementabili sia a livello domestico che a livello comunitario, mentre l'energia idroelettrica e quella del moto ondoso sono implementabili solo a livello comunitario. Le tecnologie di generazione termica includono il solare termico, gli assorbitori e le caldaie alimentate a gas naturale, vapore o biomassa. Mentre gli assorbitori possono essere utilizzati solo a livello comunitario, le altre tecnologie possono essere utilizzate anche a livello domestico. Inoltre, altre tecnologie implementabili sono correlate alla generazione combinata, al power-to-heat, al power-to-gas, a diversi tipi di accumulo elettrico, inclusi i veicoli elettrici. Ad eccezione di alcuni tipi di accumulo elettrico, queste trovano applicazione sia a livello comunitario che domestico.

Tabella 1: Tecnologie energetiche abilitanti per una CELI con relative applicazioni.

Tipologia	Tecnologia	Applicazione a livello di utente	Applicazione a livello di comunità	Capacità di fornire flessibilità
Tecnologie elettriche	PV	X	X	
	Micro eolico/eolico	X	X	
	Micro idroelettrico/Idroelettrico		X	
	Moto ondoso		X	
Tecnologie termiche	Caldaia a gas	X	X	
	Caldaia a vapore		X	
	Solare termico per la produzione di ACS	X	X	
	Assorbitore		X	
	Caldaia a biomassa	X	X	
Tecnologie per la produzione combinata	Cogenerazione	X	X	
	Celle a combustibile (elettricità/calore)	X	X	
	Geotermico		X	
Power-to-heat	Pompa di calore	X	X	X
	Pompa di calore ibrida	X	X	X
	Boiler elettrico	X	X	X
	Accumulo termico (sensibile/latente/termochimico)	X	X	X
Power-to-hydrogen	Elettrolizzatore	X	X	X
	Accumulo a idrogeno	X	X	X
Accumulo elettrico	Batterie		X	X
	Supercapacitore		X	X
	Flywheel		X	X
	Accumulo energetico ad aria compressa		X	X
	Accumulo energetico ad aria liquida		X	X
Veicoli elettrici	Veicoli elettrici (con funzionalità V2B-V2G)	X	X	X
Centrali idroelettriche di pompaggio	Centrali idroelettriche di pompaggio		X	X

Le ICT analizzate sono state suddivise nelle seguenti 8 categorie con le relative applicazioni all'interno di una CELI, come riportato nella tabella di seguito. Si riporta nell'allegato al report la descrizione dettagliata delle funzionalità delle categorie ICT analizzate.

Tabella 2: ICT abilitanti per una CELI con relative applicazioni

Tipologia	Tecnologia	Applicazione a livello di utente	Applicazione a livello di comunità	Capacità di fornire flessibilità
Tecnologie di gestione e controllo	Energy Management Systems (EMS) / BEMS	X	X	X
	SCADA		X	X
	Programmable Logic Controller (PLC)	X	X	X
	Distributed Control System (DCS)		X	X
Tecnologie per l'analisi	Big Data Analytics		X	X
	Intelligenza Artificiale	X	X	X
Internet of Things (IoT)	Smart Meters	X	X	X
	Sensori	X	X	X
	Attuatori	X	X	X
	Rete di sensori / Rete di sensori wireless	X	X	X
Tecnologie di comunicazione	Protocolli di comunicazione (ad es. Modbus, Profibus, ecc.)	X	X	X
	Comunicazione cablata (ad es., Ethernet, Fibra Ottica, ecc.)	X	X	X
	Comunicazione senza fili (ad es., Wi-Fi (802.11), GSM, (2G/3G/4G/5G), ecc.)	X	X	X
Tecnologie per la gestione dei dati	Database (SQL e noSQL)	X	X	X
	Big Data		X	X
	Data Ingestion		X	X
Tecnologie di calcolo	On-Premises Computing	X	X	X
	Cloud Computing	X	X	X
	Edge Computing	X	X	X
Cybersecurity	Cybersecurity	X	X	X
Blockchain	Blockchain		X	X

Il **concetto di hub energetico** viene utilizzato in letteratura per valutare e ottimizzare la gestione dei flussi energetici in sistemi multi-vettore. È infatti in grado di rappresentare le tecnologie di generazione, conversione, distribuzione e accumulo al fine di gestire in maniera ottimale vettori energetici multipli, come ad esempio elettricità per il riscaldamento, gas naturale per il riscaldamento, solare termico per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria, accumulo termico, accumulo elettrico, etc., per il soddisfacimento del fabbisogno multi-energetico di una determinata utenza. A causa della grande varietà di vettori energetici e di sistemi coinvolti, in letteratura si ritrovano **diversi modelli di hub energetici**. Si riportano i dettagli di tali modelli nell'allegato al report.

Un ulteriore risultato conseguito riguarda la **rassegna dei principali tool esistenti per la pianificazione di hub energetici multi-vettore**. Nel dettaglio, sono stati identificati 6 tool idonei per la pianificazione energetica di una CELI, già disponibili in commercio. La tabella di seguito riassume la classificazione dei tool di pianificazione energetica per le CELI in funzione di una serie di parametri quali, tipologia, scopo, funzioni obiettivo, vettori energetici coinvolti, funzionalità, risoluzione temporale e modularità.
Si riporta nell'allegato al report la descrizione dettagliata dei tool analizzati

Tabella 3: Caratteristiche dei tool analizzati per la pianificazione energetica delle CELI.

Tool	Tipo	Scopo	Reti analizzate	Funzioni obiettivo	Vettori energetici	Funzionalità	Risoluzione temporale	Orizzonte temporale	Modularità
Energyplan	Free	Adattato dagli strumenti di pianificazione nazionale	Elettriche, termiche, combustibili fossili	Economico, ambientale, efficienza energetica, sociale	Elettricità, riscaldamento, raffrescamento, idrogeno, combustibili fossili	Funzionamento	Ore	1 anno	No
DER-CAM	Open	CELI	Elettriche, termiche, raffrescamento, combustibili fossili	Finanziario e ambientale	Elettricità, riscaldamento, raffrescamento, combustibili fossili	Progettazione e programmazione	Anni	Max. 20 anni	Si
Calliope	Open	CELI	Elettriche, termiche, idrogeno, combustibili fossili	Economico	Definita dall'utente	Progettazione e programmazione	Definita dall'utente	Definito dall'utente	Possibile
HOMER	Commerciale	CELI	Elettriche, termiche, combustibili fossili	Economico, ambientale, efficienza energetica	Elettricità, riscaldamento, idrogeno, biomassa, combustibili fossili	Funzionamento	Definita dall'utente	Definito dall'utente	Si
EnergyPro	Commerciale	CELI	Elettriche, termiche, combustibili fossili	Economico	Elettricità, riscaldamento, combustibili fossili	Funzionamento	Minuti	Max. 40 anni	No
eTransport (Integrate)	Commerciale	CELI	Elettriche, termiche, raffrescamento, combustibili fossili, idrogeno	Economico	Elettricità, teleriscaldamento/raffrescamento, gas, idrogeno	Progettazione e programmazione	Ore	Max. 50 anni	Si

Si riportano di seguito i risultati della **review condotta su 20 comunità energetiche locali presenti sul territorio nazionale**. Nel dettaglio, la figura di seguito riporta le comunità energetiche analizzate, classificandole in funzione del grado di maturità, mentre si riportano, nell'allegato al report, le caratteristiche delle comunità energetiche in stato avanzato di implementazione, analizzando una serie di parametri quali, ubicazione, organizzazione, motivazione per l'insediamento, tecnologie installate e vantaggi al loro sviluppo.

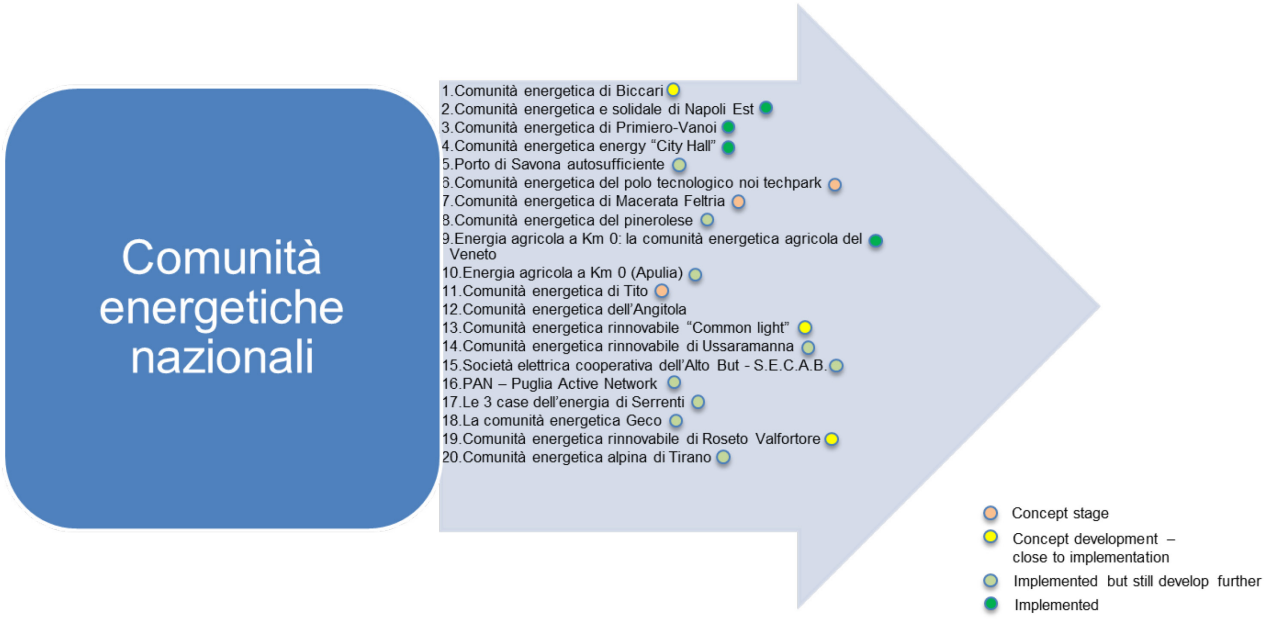

Figura 7. Comunità energetiche analizzate nel contesto nazionale e suddivise in funzione del grado di maturità

Infine, un ulteriore risultato conseguito ha riguardato lo **sviluppo di 14 modelli matematici relativi alle tecnologie energetiche** candidate a far parte della configurazione ottimale di una CELI, che verranno implementati mediante il tool di ottimizzazione da sviluppare nella LA 1.26. Nel dettaglio, tali tecnologie sono state suddivise in 4 macro-categorie, come mostrato nella seguente figura. Si riporta nell'allegato al report un esempio di modello matematico prodotto per il cogeneratore.

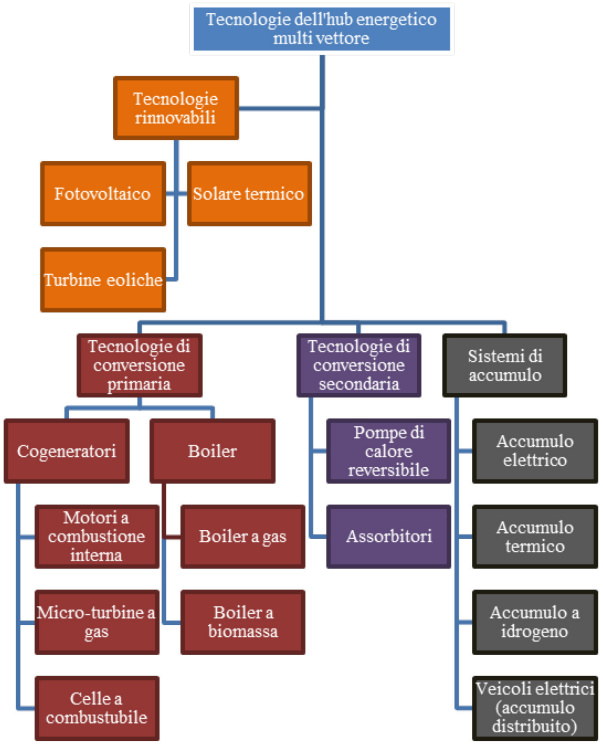

Figura 8. Modelli matematici sviluppati per le tecnologie energetiche analizzate nell'ambito delle CELI

7.3 Isola di calore

Per l'inquadramento dell'attività a livello generale è stata condotta una review sulle le politiche per contrastare il surriscaldamento urbano, che ha rilevato e selezionato oltre 50 casi esemplari riguardanti:

- Sistemi di supporto alla decisione (DDS) e *Digital Urban Climate Twin*.
- Incentivazione finanziaria di soluzioni *cool*), *green, grey,* architettoniche e urbanistiche.
- Integrazione in certificazione e standard edilizi.
- Formazione di operatori e coinvolgimento dei cittadini.
- Modelli di business, *crowdfunding*.
- Approccio integrato e partecipativo.

Priorità climatica e oggetto di finanziamento UE, le misure sull'isola di calore urbano sono promosse da alcuni piani nazionali e contenute, a livello locale, principalmente in Piani d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima. Questi risultano ancora poco integrati nella pianificazione territoriale vigente e carenti su partecipazione pubblica, monitoraggio e valutazione. In Italia 4 sono le città pioniere, Bologna in testa; diversi i network internazionali di città che condividono strumenti di misura, programmi e soluzioni.
È stata condotta una review di oltre 100 articoli scientifici su materiali per applicazioni solari e in edilizia. È emersa la perdita anche significativa delle prestazioni iniziali di *cool materials* già dopo pochi mesi dall'installazione. Per ovviare al degrado e allo sporcamento, sono stati perseguiti tre approcci mirati all'autopulenza, sviluppando rivestimenti di tipo idrofobico, idrofilico e fotocatalitico. È stata condotta la caratterizzazione chimico-fisica dei materiali e determinata la riflettanza solare al tempo zero e dopo 3 mesi di esposizione in ambiente urbano a Roma. Il monitoraggio continuerà fino a fine progetto. A titolo esemplificativo si riportano le curve spettrali dei 3 materiali e del rifermento in alluminio in Figura 9; i dati, a parte il recupero del campione fotocatalitico, non sono ancora indicativi a causa del lavaggio delle piogge abbondanti nel periodo. Sono in corso attività per trasferire su scala industriale le migliori soluzioni, con tecniche economiche e scalabili quali lo spray e la stampa draw-down per i materiali polimerici ed il magnetron sputtering per quelli inorganici.

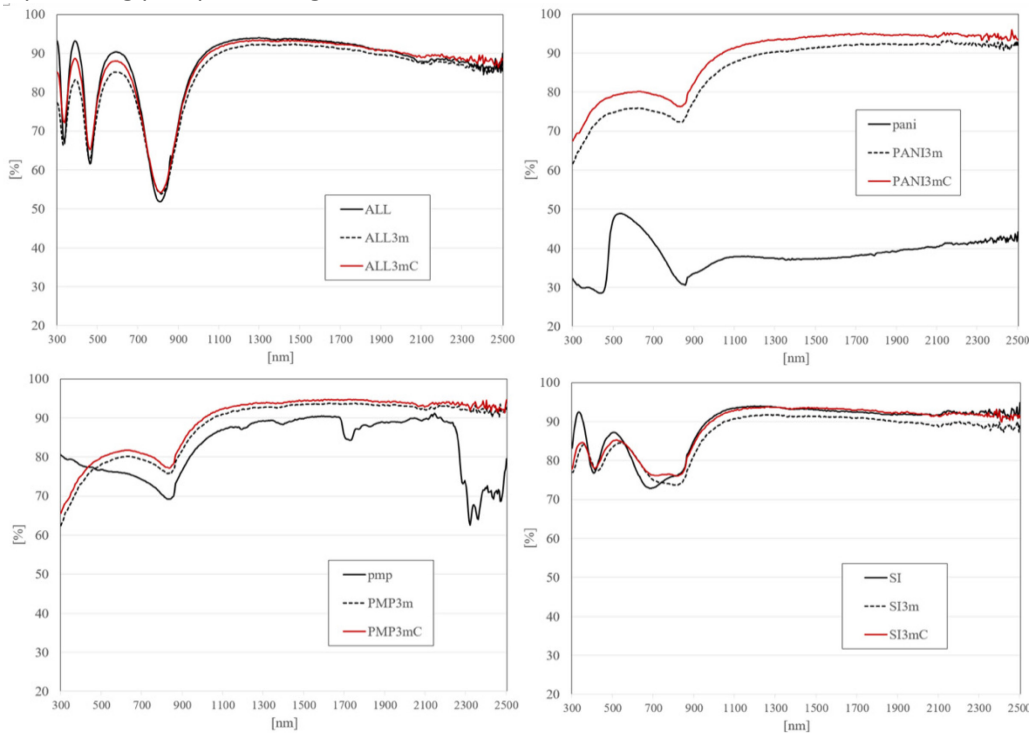

Figura 9. Riflettanza spettrale al tempo zero e a 3 mesi di esposizione per: riferimento in alluminio (alto-dx), materiale fotocatalico (alto-sx), materiale idrofobico (basso-sx), materiale idrofilico (basso-dx). Le misure sono fatte al tempo zero, dopo tre mesi di esposizione (3m) sia nelle condizioni effettive che dopo pulitura della superficie (3mC). L'esposizione è in corso in un sito nel centro di Roma

Per inquadrare il ruolo della vegetazione sul clima urbano è stata effettuata un'analisi dello Stato dell'Arte, utilizzando come motore di ricerca Google Scholar. Le parole chiave utilizzate sono state: "urban heath island; cooling effect; functional traits; green areas; transpiration; urban trees; urban forests; air temperature reduction; climate regulation". Sono stati analizzati 50 paper, pubblicati su rivista internazionale. Sulla base di quanto osservato, l'obiettivo era quantificare il potenziale di raffrescamento di due specie arboree presenti nella vegetazione urbana, aventi differenti caratteristiche ecologiche: la latifoglia sempreverde Quercus ilex L. (leccio) e la latifoglia decidua Ulmus minor L. (olmo). A tal fine, nei mesi di giugno e luglio 2023, sono stati quantificati, in area urbana ed extraurbana, i principali tratti funzionali delle due specie legati al loro potenziale di raffrescamento (Figura 10). I risultati preliminari mostrano come l'olmo, specie "water spender", nelle condizioni di elevata disponibilità idrica presenti tassi di traspirazione fogliare più elevati (Figura 11) ed una maggiore efficienza fotosintetica (Figura 12) rispetto al leccio, specie che adotta una strategia di uso conservativo di acqua. Pertanto, l'olmo nella stagione 2023 ha mostrato un potenziale di raffrescamento maggiore, in particolare nel sito di Villa Ada, dove nel mese di luglio si sono registrate temperature più elevate a causa dell'isola di calore urbana.

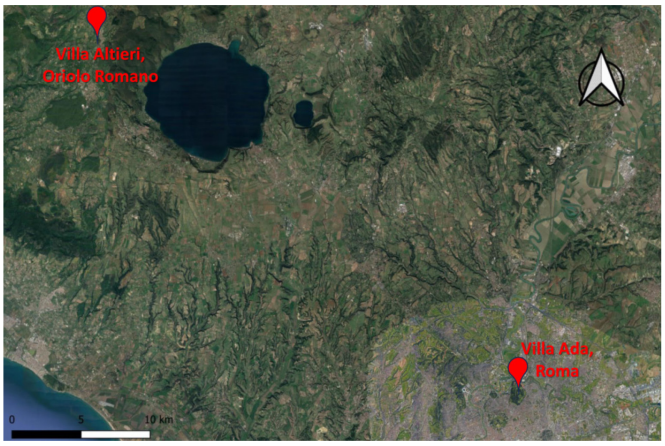

Figura 10. Aree di studio selezionate per le analisi sulla vegetazione: Villa Ada Savoia, sita nel centro di Roma, e Villa Altieri, sita nel Comune di Oriolo Romano (VT).

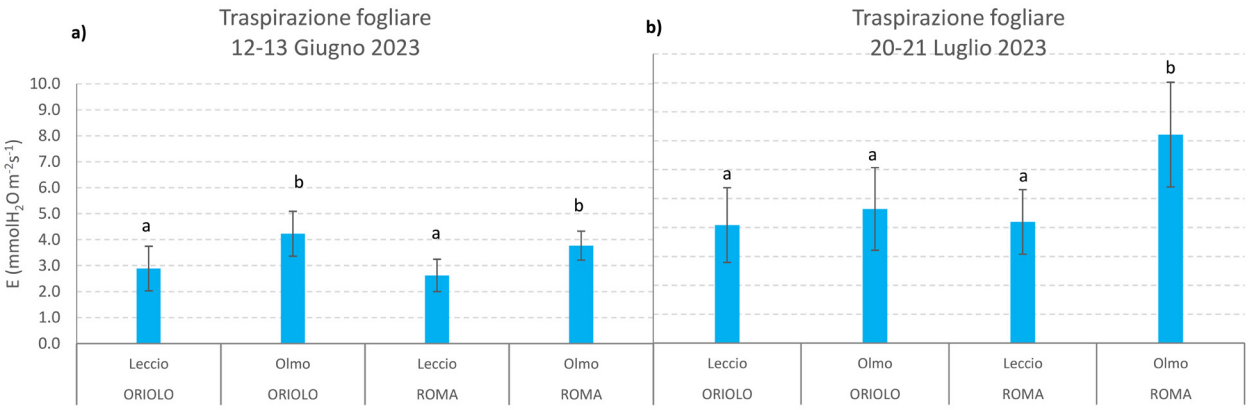

Figura 11. Traspirazione fogliare misurata, tramite l'analizzatore di scambi gassosi fogliari CIRAS 2 (PP-System, Amesbury, MA, USA), a Villa Ada Savoia (Roma) e Villa Altieri (Oriolo Romano) su individui di leccio e olmo il 12 e 13 giugno (a) e il 20-21 luglio (b). I dati sono riportati come medie ± deviazione standard, indicano differenze statisticamente significative ($p \leq 0,05$) tra siti e specie, nell'ambito dello stesso mese di campionamento.

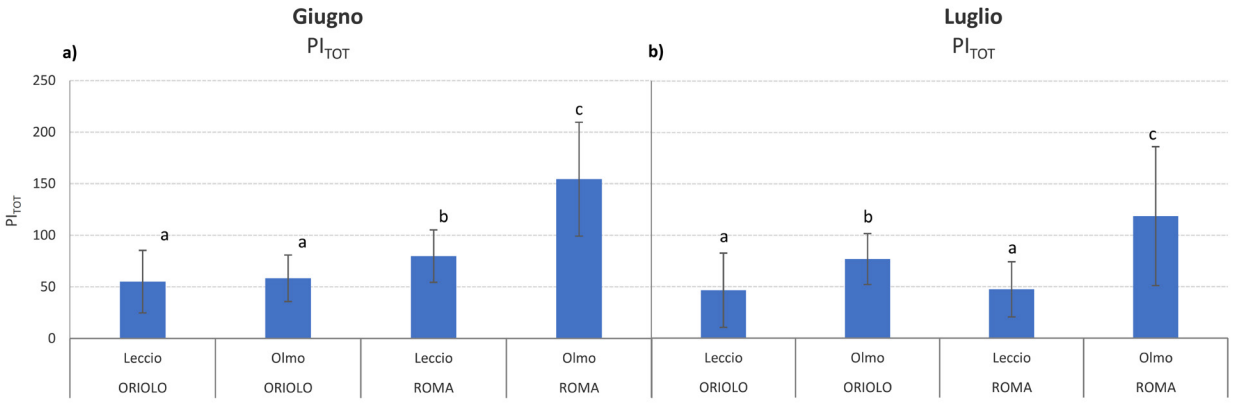

Figura 12. Andamento dell'Indice di Performance Fotosintetica, calcolato dalle misure di fluorescenza fogliare tramite applicazione del JIP-Test (Strasser et al., 2000) effettuate durante i campionamenti di giugno (Villa Altieri - Oriolo 12 giugno, Villa Ada – Roma 13 giugno) (a) e luglio (Villa Altieri - Oriolo 20 luglio, Villa Ada – Roma 21 luglio) (b) 2023, su leccio e olmo. I dati sono mostrati come medie ± deviazione standard, lettere diverse indicano differenze statisticamente significative ($p \leq 0,05$) tra siti e specie, nell'ambito dello stesso mese di campionamento.

Sono state analizzate nuove configurazioni di impianto evaporativo il CR Casaccia ENEA durante l'estate 2022 (Figura 13, sinistra). L'interasse degli ugelli è stato portato a 130cm rispetto ai 100 dei precedenti studi, per valutare configurazioni con minor uso idrico, che però hanno ridotto il potenziale di raffrescamento di 0.8 e 1.4°C alla temperatura ambiente di 32 e 34°C, rispettivamente. Nella tarda estate 2023 si è installato l'impianto in un asilo nido di Roma Capitale (Figura 13) con risultati da presentare nella LA1.24.
Si è sviluppato lo schema funzionale del software di monitoraggio del clima urbano: 1) il sistema di monitoraggio sarà costituito da un data-logger Campbell che acquisirà e gestirà i dati ambientali ed energetici in campo; 2) si calcoleranno gli indicatori di comfort termico e di energia; 3) si implementerà un sistema di comunicazione che attraverso API leggerà i dati locali e li invierà sulla piattaforma DHOMUS di ENEA con un'interfaccia dedicata; 4) quest'ultima visualizzerà l'indicatore di comfort comfort nell'area di mitigazione termica e all'esterno utilizzando un cruscotto colorato con scala ASHRAE (da 0-neutralità termica a 3-molto caldo), fornendo informazioni anche comportamentali ai cittadini. Il software sarà finalizzato nella LA1.24.

Figura 13. Installazione di un impianto di raffrescamento evaporativo presso il CR Casaccia di ENEA (sinistra) e presso un asilo nido di Roma.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

8.1 Smart building

A causa di un blackout, il BEMS dell'edifico F40 è stato danneggiato, per questo motivo è stata necessaria una manutenzione e aggiornamento dei sistemi hardware e software del BEMS per consentirne il corretto funzionamento e la successiva implementazione e test delle strategie di gestione flessibile dell'edificio. Per tale attività ci si è avvalsi di una consulenza esterna, in quanto i ricercatori ENEA si occupano principalmente di sviluppare le strategie di gestione e gli algoritmi di ottimizzazione, mentre per la realizzazione dei componenti software del BEMS sono richieste competenze specialistiche del settore informatico. In particolare, è stata effettuato il ripristino delle funzionalità di base nelle stanze del piano terra e primo dell'edificio non oggetto della sperimentazione, mentre sono stati verificati e aggiornati i sistemi di monitoraggio e controllo delle stanze del primo piano, grazie all'installazione di nuovi gateway e datalogger. Secondo le specifiche fornite da Enea sono state implementate le componenti software per la gestione delle regole di controllo delle stanze selezionate, in particolare dei serramenti, sistemi di oscuramento e condizionamento per consentire lo svolgimento di alcuni test. Infine, è stata aggiornata la dashboard di visualizzazione di tutti i dati acquisiti presso l'edificio F40 ed è stato implementato un servizio di allerta in caso di anomalie di funzionamento del BEMS.
Le attività svolte dai consulenti sono riportate in dettaglio nel report RdS_PTR 22-24_PR 1.7_LA1.23_005.

9 Pubblicazioni scientifiche

Elenco delle pubblicazioni scientifiche eventualmente risultanti dall'attività svolta:

- Botticelli, M., Agnoli, S., Romano, S., Zinzi, M. (2023). Exploiting Passive Cooling in Office Buildings with Advanced Automated Glazing Systems: Preliminary Analyses from a Field Study. In: Wang, L.L., et al. Proceedings of the 5th International Conference on Building Energy and Environment. COBEE 2022. Environmental Science and Engineering. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9822-5_55
- Di Somma, M., Buonanno, A., Caliano, M., Jin, L., Rossi, M., Graditi, G., & Comodi, G. (2023, July). Stochastic energy management for the Italian UNIVPM campus as a multi-carrier energy hub participating in the day-ahead market. In IEEE EUROCON 2023-20th International Conference on Smart Technologies (pp. 251-256). IEEE. Doi: 10.1109/EUROCON56442.2023.10199000
- Serena Falasca, Michele Zinzi, Lan Ding, Gabriele Curci, Mattheos Santamouris, On the mitigation potential of higher urban albedo in a temperate oceanic metropolis, Sustainable Cities and Society, Volume 81, 2022, 103850, https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103850.
- Zinzi, M., Falasca, S., Ding, L., Augello, A., Santamouris, M. (2023). Assessing the Potential Energy Savings in Residential Buildings by City-Scale Application of Cool Materials in a Temperate Oceanic Metropolis. In: Wang, L.L., et al. Proceedings of the 5th International Conference on Building Energy and Environment. COBEE 2022. Environmental Science and Engineering. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9822-5_308
- Gianluca Coccia, Serena Summa, Elisa Di Giuseppe, Marco D'Orazio, Michele Zinzi, Costanzo Di Perna, Experimental evaluation of a water spray system for semi-outdoor spaces: Analysis of the effect of the operational parameters, Building and Environment, Volume 241, 2023, 110456, https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110456.

10 Eventi di disseminazione

Lista degli eventi di disseminazione eventualmente scaturiti dall'attività svolta:

- Partecipazione a IEEE EUROCON 2023 – Torino, 6-8 Luglio 2023.
- Partecipazione a COBEE 2022 – 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON BUILDING ENERGY AND ENVIRONMENT, 25-29 luglio 2022, Montreal, Canada.