

PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2022-2024 DELLA RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO NAZIONALE

Presentazione dei progetti di ricerca di cui all'art. 10 comma 2, lettera a) del decreto 26 gennaio 2000

Tema di ricerca 1.5

Titolo del progetto

Edifici ad alta efficienza per la transizione energetica

- Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]
- C.I.T.E.R.A. [UNIRM1_CITERA]
- Dipartimento di Beni Culturali ed Ambientali Università degli Studi di Milano [UNIMI_BCA]
- Dipartimento di Biotecnologie, Chimica e Farmacia – Università di Siena [UNISI_DBCF]
- Dipartimento di Chimica – Università degli Studi di Torino [UNITO_CHIMICA]
- Dipartimento di Fisica – Università degli Studi di Salerno [UNISA_DF]
- Dipartimento di Ingegneria – Università di Perugia [UNIPG_DI]
- Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica dell'Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale [UNICAS_DICEM]
- Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione “G. Marconi” – Alma Mater Studiorum Università di Bologna [UNIBO_DEI_1]
- Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione “G. Marconi” – Alma Mater Studiorum Università di Bologna [UNIBO_DEI_2]
- Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Messina [UNIME_DI]
- Dipartimento di Ingegneria Elettronica – Università degli Studi di

- Roma “Tor Vergata” [UNIRM2_DIE_1]
- Dipartimento di Ingegneria Elettronica – Università degli Studi di Roma “Tor Vergata” [UNIRM2_DIE_2]
- Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università degli Studi di Napoli Federico II [UNINA_DII_1]
- Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università degli Studi di Napoli Federico II [UNINA_DII_2]
- Dipartimento di Ingegneria Industriale – Alma Mater Studiorum Università di Bologna [UNIBO_DIN_1]
- Dipartimento di Ingegneria Industriale – Alma Mater Studiorum Università di Bologna [UNIBO_DIN_2]
- Dipartimento di Ingegneria Industriale- Università degli Studi di Padova [UNIPD_DII]
- Dipartimento di Scienze Chimiche – Università degli Studi di Napoli Federico II [UNINA_DSC]
- Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti - Università degli Studi di Bari Aldo Moro [UNIBA_DISAAT]
- Dipartimento Energia - Politecnico di Torino [POLITO_DENERG_3]
- DIPARTIMENTO ENERGIA (DENERG) – Politecnico di Torino [POLITO_DENERG_1]
- Politecnico di Bari -Dipartimento Architettura, Costruzione e Design [POLIBA_ARCOD]
- Politecnico di Milano – Dipartimento di Architettura, ambiente costruito e ingegneria delle costruzioni (ABC) [POLIMI_ABC_1]
- Politecnico di Milano – Dipartimento di Architettura, ambiente costruito e ingegneria delle costruzioni (ABC) [POLIMI_ABC_2]
- Politecnico di Milano – Dipartimento di Energia [POLIMI_ENE]
- Politecnico di Torino – Dipartimento Energia “Galileo Ferraris” [POLITO_DENERG_2]
- Sapienza Università di Roma Dipartimento di Ingegneria [UNIRM1_DIAEE]
- Sotacarbo SpA [SOTACARBO]
- Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Ingegneria [UNIPA_DING]
- Università degli Studi di Perugia – CIRIAF Centro Interuniversitario di Ricerca sull’Inquinamento e sull’ambiente

- “Mauro Felli” [UNIPG_CIRIAF]
- Università di Cagliari, Dipartimento di ingegneria civile, ambientale e architettura [UNICA_DICAAR]
- Università di Pisa – Dipartimento di Ingegneria dell’Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni [UNIPL_DEST]
- Università IUAV di Venezia [IUAV_AIC]

Durata del progetto: 36 mesi

Costo proposto: 14.000.000,00 €

2. DATI GENERALI DEL PROGETTO

2.1 Dati progetto

Titolo del progetto

Edifici ad alta efficienza per la transizione energetica

Durata del progetto

36 mesi

2.2 Descrizione progetto

Abstract del progetto

Le tematiche proposte dal progetto riguardano nuove soluzioni e tecnologie per contenere le dispersioni energetiche e incrementare le prestazioni del sistema edificio-impianti, la gestione ottimizzata di flussi energetici e componenti edilizi e lo sviluppo di metodologie in grado di migliorare le abitudini di consumo da un lato e ottimizzare la produzione (sia su scala locale, sia su scala territoriale) dall'altro. Il progetto si pone l'obiettivo di fornire metodi, strumenti e soluzioni che incrementino le prestazioni degli edifici nuovi e riqualificati, alla base dello sviluppo energetico dell'edilizia nel futuro prossimo.

In particolare, il progetto sarà caratterizzato da attività focalizzate sulla riqualificazione energetica del parco edilizio nazionale che prevedono analisi disaggregate dei consumi elettrici e termici, delle principali tipologie edilizie e dei possibili risparmi derivanti da azioni volontarie dell'utenza basate sulla modifica dei profili di consumo a basso impatto economico; diagnosi energetiche di edifici reali di carattere storico/vincolato per valutare la fattibilità di interventi di riqualificazione mediante l'utilizzo di tecnologie innovative e fonti rinnovabili in ottica all-electric buildings; analisi di materiali innovativi ad alta efficienza per l'involucro edilizio (rivestimenti termocromici, irradiative coolers, sistemi trasparenti dinamici); analisi del thermal comfort e della qualità dell'aria indoor (anche mediante monitoraggi strumentali di grandezze termoigrometriche e ambientali di un edificio reale) al fine di valutare le implicazioni sul piano energetico e possibili interventi migliorativi.

Altre attività riguarderanno lo studio di soluzioni e lo sviluppo di strumenti che consentono di valutare il potenziale di incremento dell'efficienza energetica degli edifici con un approccio a scala urbana. Le soluzioni analizzate riguarderanno il miglioramento delle prestazioni dell'involucro edilizio con tecnologie verdi di involucro (TVI) e con tecnologie modulari basate sull'Off-Site Construction. Saranno sviluppati scenari urbani che prevedono l'installazione di TVI (tetti verdi estensivi, facciate verdi e living wall) sulle superfici degli edifici per la valutazione congiunta del potenziale di riduzione dei consumi energetici e di mitigazione dell'isola di calore urbana e sarà proposta l'analisi del caso studio della città di Bolzano mediante telerilevamento e GIS. Sarà anche realizzato e testato un prototipo di tetto blue-green. L'obiettivo dello studio su procedure standardizzate e tecnologie modulari basate sull'Off-Site Construction è definire un catalogo di potenziali soluzioni di sistemi di copertura che possa agevolare la diffusione sul territorio nazionale di tale soluzione e incrementare, conseguentemente, il numero degli edifici riqualificati. Sarà sviluppato, infine, il portale AUREE.it, finalizzato a creare una base conoscitiva che possa essere sfruttata per accelerare i processi di integrazione intelligente fra le energie rinnovabili, l'efficienza energetica e altre soluzioni sostenibili e per supportare i decisori locali nella pianificazione energetica.

Un WP sarà dedicato a migliorare le prestazioni dei singoli componenti del sistema edificio-impianti mediante lo sviluppo di un sistema integrato di cattura e accumulo dell'energia ambientale, utile ad alimentare la sensoristica presente negli edifici e in grado di offrire una soluzione efficiente ed eco-sostenibile per il monitoraggio ambientale; particolare attenzione sarà dedicata ad approfondire la tecnologia OLED, sorgente luminosa ad alta efficienza e sostenibile per applicazioni in "finestre intelligenti"; saranno studiati componenti opachi innovativi dell'involucro edilizio, in particolare pareti "responsive" alle diverse condizioni climatiche (in grado di variare le proprietà di isolamento termico grazie ad un'intercapedine confinata e ventilabile) e per lo stoccaggio di energia termica, oltre a sistemi di tamponature in legno capaci di integrare al loro interno dispositivi per l'accumulo elettrico innovativi ad alte prestazioni (come i condensatori a deposizione di grafene); in relazione alle reti termiche efficienti e al teleriscaldamento attivo saranno analizzate varie configurazioni ottimizzate di rete e utenze e sviluppate opportune strategie per l'estensione e l'ottimizzazione della quota di autoconsumo; sarà, inoltre, realizzato un prototipo di sottostazione bidirezionale per l'installazione in un'utenza su una rete reale. Nei contesti delle Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) e delle configurazioni di Autoconsumo Collettivo (AUC) condominiale saranno analizzate, sperimentate ed ottimizzate soluzioni innovative che possano favorire il sector-coupling, cioè l'utilizzo di energia rinnovabile elettrica in eccesso per usi termici. Per superare le barriere che possono ostacolare la diffusione delle comunità energetiche, il progetto si pone l'obiettivo di sviluppare algoritmi per facilitare la modalità di suddivisione dei ricavi tra gli utenti della comunità e implementare una metodologia multicriterio per classificare l'efficienza di una CER. Per quanto riguarda le attività sperimentali sulla stessa tematica, verranno ampliate le configurazioni del dimostratore sperimentale S.A.P.I.EN.T.E. e il relativo sistema di controllo, perfezionando le logiche del tipo power to heat applicate a nuove architetture ibride caratterizzate da più sorgenti rinnovabili e sistemi di accumulo. Verrà completato lo sviluppo della piattaforma web based applicata ai condomini con contabilizzazione individuale del calore per migliorare la

consapevolezza degli utenti sui propri consumi energetici e su come agire per ridurre gli stessi. Nell'ambito dell'efficientamento delle isole minori, saranno indagate soluzioni per migliorare le prestazioni di sistemi di generazione termica alimentati a biogas e la tecnologia free solar cooling ad adsorbimento (integrazione a pompa di calore a recupero termico).

L'attività sulle reti di teleriscaldamento/teleraffrescamento a bassa temperatura ha l'obiettivo principale di sviluppare e validare sperimentalmente un modello dinamico con pompe di calore elettriche; saranno implementate metodologie innovative per una gestione ottimizzata del carico elettrico delle pompe di calore, che considerino la flessibilità relativa alle condizioni di comfort termico degli utenti in DR (Demand Response). Sarà effettuato lo studio e la messa a punto di due soluzioni innovative per accumuli di energia refrigerante tramite materiali a cambiamento di fase (PCM – Phase Change Materials): una mediante un sistema di refrigerazione portatile con PCM integrato al condensatore e un'altra con un sistema di accumulo di energia refrigerante di tipo stand-alone, con PCM a cascata. Sempre nell'ambito dell'accumulo termico con PCM, un altro importante obiettivo è lo studio dei sistemi di accumulo termico innovativi basati sull'utilizzo di nano-PCM dinamici.

Abstract del progetto ENG

The topics proposed by the project concern new solutions and technologies to contain energy losses and increase the performance of the building-plant system, optimized management of energy flows and building components, and the development of methodologies that can improve consumption habits and optimize production (both on a local and territorial scale). The project aims to provide methods, tools and solutions that will increase the performance of new and upgraded buildings, the basis for building energy development in the near future.

In particular, the project will feature activities focused on the energy upgrading of the national building stock that include disaggregated analyses of electrical and thermal consumption, main building types and possible savings from voluntary user actions based on the modification of consumption profiles, with low economic impact; energy audit of real heritage constrained buildings to assess the feasibility of retrofitting through the use of innovative technologies and renewable sources from an all-electric buildings perspective; analysis of innovative high-efficiency materials for the building envelope (thermochromic coatings, radiative coolers, dynamic transparent systems); analysis of thermal comfort and indoor air quality (including instrumental monitoring of thermo-hygrometric and environmental quantities of a real building) in order to assess the energy implications and possible improvement actions.

Other activities will involve the study of solutions and the development of tools to assess the potential for increasing the energy efficiency of buildings with an urban-scale approach. The solutions analyzed will involve the performance improvement of the building envelope with green envelope technologies (TVIs) and modular technologies based on Off-Site Construction; urban scenarios involving the installation of TVIs (extensive green roofs, green facades, and living walls) on building surfaces will be developed for joint assessment of the potential for reducing energy consumption and mitigating the urban heat island; and a case study analysis of the city of Bolzano will be proposed using remote sensing and GIS. A blue-green roof prototype will also be built and tested. The objective of the study on standardized procedures and modular technologies based on Off-Site Construction is to define a catalog of potential roofing system solutions that can facilitate the nationwide dissemination of this solution and consequently increase the number of upgraded buildings. The AUREE.it portal will be developed, aimed at creating a knowledge base that can be leveraged to accelerate processes of smart integration of renewable energy, energy efficiency and other sustainable solutions and to support local decision makers in energy planning.

A WP will be dedicated to improve the performance of the individual components of the building-plant system through the development of an integrated system for capturing and storing environmental energy, useful to feed the sensors present in the buildings and able to offer an efficient and eco-sustainable solution for environmental monitoring; special attention will be devoted to investigate OLED technology, a high-efficiency and sustainable light source for applications in "smart windows." "responsive" walls to different climatic conditions, capable of varying thermal insulation properties thanks to a confined and ventilable cavity and wood infill systems, capable of integrating innovative high-performance electrical storage devices (such as graphene deposition capacitors) inside them, will be studied; in relation to efficient thermal grids and active district heating, various optimized grid and utility configurations will be analyzed and appropriate strategies for extending and optimizing the share of self-consumption will be developed; in addition, a two-way substation prototype will be built for the installation of a utility on a real grid.

In the contexts of Renewable Energy Communities (RECs) and Condominium Self-Consumption (AUC) configurations, innovative solutions that can facilitate sector-coupling, i.e., the use of excess renewable electricity for thermal uses, will be analyzed, tested and optimized. To overcome barriers that may hinder the deployment of energy communities, the project aims to develop algorithms to facilitate how revenues are shared among community users and implement a multi-criteria methodology to rank the efficiency of an AUC. Configurations of the S.A.P.I.EN.T.E. experimental demonstrator and its control system will be expanded, refining power-to-heat type logic applied to new hybrid architectures characterized by multiple renewable sources and storage systems. Development of the web-based platform applied to condominiums with individual heat metering will be completed to improve users' awareness of their energy consumption and how to act to reduce it. In the area of efficiency in the smaller islands, solutions to improve the performance of biogas-fueled thermal generation systems and adsorption free solar cooling technology (heat recovery heat pump integration) will be investigated.

The activity on the low temperature district heating/district cooling networks has the main objective of developing and validating experimentally a dynamic model with electric heat pumps; innovative methodologies for the optimal management of the electrical load of

the heat pumps will be implemented, considering the flexibility related to the thermal comfort conditions of the users in DR (Demand Response). The study and development of two innovative solutions for the storage of cooling energy will be carried out through the use of phase change materials (PCMs): one solution based on a portable refrigeration system with PCM integrated in the condenser; the other one based on a stand-alone cooling energy storage system with cascaded PCM. Moreover, remaining in the field of thermal storage with PCM, another important objective is the study of innovative thermal storage systems based on the use of dynamic nano-PCMs.

2.3 TRL progetto

TRL iniziale: 5

TRL finale: 7

L'analisi di strumenti e tecnologie per la riqualificazione energetica, condotta mediante applicazione a casi e/o contesti reali, potrà fornire rilevanti indicazioni sulle potenzialità di risparmio e la fattibilità tecnica ed economica delle diverse soluzioni esaminate. Lo studio di soluzioni per riqualificazione edilizia riguarderà anche soluzioni e strumenti che consentono di valutare il potenziale di incremento dell'efficienza energetica degli edifici con un approccio a scala urbana. Le soluzioni proposte riguarderanno il miglioramento delle prestazioni dell'involucro edilizio con tecnologie verdi di involucro (TVI) e con tecnologie modulari basate sull'Off-Site Construction e sarà ulteriormente sviluppato uno strumento (il portale AUREE.it) per la pianificazione energetica che favorisce l'integrazione fra energie rinnovabili, l'efficienza energetica e altre soluzioni sostenibili.

Le attività relative a sistemi impiantistici consentiranno di acquisire nuove conoscenze e individuare nuovi modelli e schemi di impianto mediante lo sviluppo di prototipi, la realizzazione di dimostratori a scala reale e la sperimentazione di casi studio in condizione operative reali. In particolare, per le reti termiche efficienti e il teleriscaldamento attivo saranno condotte attività di simulazione e di sperimentazione, con l'esecuzione di una campagna prove sul prototipo di sottostazione esistente e la realizzazione di un nuovo prototipo con dettaglio pre-commerciale per l'installazione in un'utenza reale. L'incremento della maturità tecnologica associata alle soluzioni studiate per le microcomunità energetiche, per l'efficientamento delle isole minori e per i sistemi di poligenerazione si concretizzerà nello sviluppo di sistemi hardware e nuove logiche di controllo applicati ai dimostratori sperimentali in ambiente operativo reale; saranno sperimentate e ottimizzate nuove soluzioni per la misura dei consumi e la sensibilizzazione degli utenti finali (utilizzo di indicatori semplificati) per diminuire la vulnerabilità energetica degli utenti nei confronti della fluttuazione dei prezzi energetici. Relativamente allo sviluppo e all'analisi di metodologie di demand-response per reti termiche a bassa temperatura di nuova generazione basate sull'impiego di pompe di calore elettriche, l'incremento di TRL sarà realizzato sfruttando la rete termica presente in ENEA Portici per l'implementazione pratica di tecniche di gestione ottimizzate del carico elettrico basate sul Demand Response (DR). Per quanto riguarda lo sviluppo di sistemi di accumulo innovativi basati sull'impiego di materiali a cambiamento di fase (Phase Change Materials - PCM), l'incremento di TRL sarà realizzato grazie a differenti dimostratori che saranno sviluppati e testati sperimentalmente in condizioni operative simili a quelle reali.

Lo sviluppo di componenti innovativi e sistemi dinamici riguarderà nuove soluzioni per applicazioni sull'involucro edilizio, quali: la progettazione e l'utilizzo di dispositivi innovativi per il recupero e l'accumulo di energia e per il monitoraggio degli edifici (moduli fotovoltaici a perovskite e dye-sensitized, dispositivi termoelettrici a base di compositi organici, schede di monitoraggio custom, supercapacitori e sensori eco-sostenibili); dispositivi OLED per finestre intelligenti, di cui saranno studiate e attuate varianti dei processi e dei materiali impiegati rispetto a quelli del triennio precedente, per implementare un aumento dell'area emissiva e per ottenere la semitrasparenza dei dispositivi che saranno provati in scala di laboratorio; prototipi di componenti opachi innovativi dell'involucro edilizio (pareti responsive alle diverse condizioni climatiche e per lo stoccaggio di energia termica, tamponature con accumulo elettrico integrato) che saranno caratterizzati mediante specifiche campagne di prova sperimentali in condizioni di esercizio.

2.4 Inquadramento del progetto nello stato dell'arte

a) Stato dell'arte nazionale e internazionale relativamente alle attività previste nel progetto

Il PNIEC, in riferimento all'obiettivo di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra al 2030 di almeno il 40% a livello europeo e dei consumi di energia primaria del 43% a livello nazionale, identifica il settore civile (residenziale e terziario) tra quelli maggiormente significativi. In particolare, è prevista una riduzione delle emissioni di circa 35 MtCO₂eq, associata all'efficientamento degli edifici esistenti, rafforzata da una maggiore diffusione di interventi di riqualificazione profonda e dall'applicazione di tecnologie particolarmente performanti. Ciò si riflette in una riduzione dei consumi di energia finale da politiche attive prevalentemente nei settori non ETS pari a 9,3 Mtep/anno al 2030, in cui il settore residenziale contribuisce per 3,3 Mtep. Pur registrando negli ultimi anni una complessiva riduzione dei consumi legata agli interventi di efficientamento energetico e ai relativi meccanismi incentivanti, il settore civile continua a rappresentare un elemento strategico nel percorso di decarbonizzazione del Paese, in linea con il Clean Energy Package europeo, il PNIEC, il PNRR e con gli obiettivi nazionali di riduzione delle emissioni. Nel solo settore residenziale si concentra infatti oltre un terzo del target di riduzione dei consumi finali al 2030, da raggiungere grazie agli interventi di riqualificazione edilizia e all'uso estensivo del vettore elettrico.

In questa prospettiva si rende necessario favorire l'integrazione tra sistemi e tecnologie secondo un approccio multi scalare e intersettoriale, che supporti l'evoluzione del sistema energetico verso un assetto distribuito e più flessibile e la diversificazione delle fonti, promuova l'efficienza come strumento per la riduzione dei consumi e della spesa energetica, per la tutela dell'ambiente, la sicurezza e il benessere abitativo. Con l'obiettivo di rendere cittadini e imprese protagonisti e beneficiari della trasformazione energetica, acquista sempre più importanza lo sviluppo di strumenti di supporto agli interventi di efficienza e misure per la promozione dell'autoconsumo e delle comunità energetiche, l'utilizzo di tecnologie di cross cutting per la copertura del fabbisogno energetico e di sistemi di analisi dati per la gestione efficiente degli edifici.

In questo contesto il progetto propone diverse attività rivolte ad analizzare gli strumenti e le tecnologie più efficaci ed innovative per riqualificare il parco edilizio nazionale. Alcune attività saranno rivolte ad esaminare possibili interventi di contenimento dei consumi basati sul Demand Side Management. Nel difficile contesto del mercato energetico in Europa, le scelte comportamentali o gestionali dell'utenza possono condurre infatti ad azioni efficaci in termini di risparmio conseguito, in quanto raggiungibili in tempi brevi e con basso impatto economico.

Particolare attenzione è dedicata all'analisi di casi studio di edifici reali a carattere storico, categoria di grande rilievo nell'ambito del parco immobiliare nazionale, soprattutto tra gli edifici pubblici. Gli edifici storici infatti sono da tempo oggetto di studi multidisciplinari che si pongono l'obiettivo ambizioso di raggiungere un alto livello di efficienza energetica, pur rispettando i vincoli di tutela cui gli edifici stessi sono sottoposti [1-3].

Nuove soluzioni sono necessarie per l'involucro edilizio, per il quale sono stati codificati standard ad elevate prestazioni per la stagione invernale, che però possono causare controeffetti durante la stagione estiva e nell'ambito della performance sull'intero anno. Per ovviare a tali problematiche negli ultimi anni si sono intensificati gli studi su soluzioni di tipo dinamico, ossia in grado di modulare la propria risposta in base alle condizioni microclimatiche. Materiali e componenti dinamici possono essere realizzati per sistemi trasparenti o opachi, per coperture e facciate. Nonostante alcune soluzioni siano diventate commerciali (vetri elettrocromici e termocromici), la maggior parte delle tecnologie è ancora nella fase di sviluppo con problemi tecnologici riguardanti le performance e, soprattutto, la durabilità [4-6]. Diverse linee di attività hanno l'obiettivo di analizzare alcune tecnologie particolarmente promettenti, sviluppando prototipi, e là dove possibile, caratterizzarne le proprietà e valutarne potenzialità e limiti.

La Direttiva EU 2018/844, recepita in Italia dal D.Lgs 48/2020, esorta gli Stati Membri, nell'ambito delle riqualificazioni degli edifici, all'utilizzo di sistemi ad alta efficienza, prendendo in considerazione il benessere termoigrometrico degli ambienti interni. Diversi studi condotti negli ultimi anni, infatti, hanno evidenziato che anche in edifici riqualificati con standard elevati di efficienza energetica possono riscontrarsi rilevanti carenze in termini di condizioni termoigrometriche e di qualità dell'aria indoor [7-9]. L'evoluzione delle normative tecniche (UNI EN ISO 52016-1:2018), basate su metodi di calcolo orari, potrebbe offrire la possibilità di valutare parametri o opportuni indicatori che consentano di verificare, già in fase di diagnosi energetica, le condizioni termoigrometriche e di qualità dell'aria degli edifici in esame, evitando possibili criticità successive alla riqualificazione.

Le Tecnologie Verdi d'Involucro (TVI) (i.e., pareti e tetti verdi) hanno effetti positivi sui consumi energetici degli edifici e sul clima urbano. L'installazione di pareti verdi può mitigare l'isola di calore urbana (UHI) fino a 8 °C in estate [10] e l'applicazione di TVI può diminuire il fabbisogno energetico estivo fino al 75% e quello invernale fino a 63% [10-11]. Ad esempio, l'analisi di una superficie verticale provvista di una specie decidua invernale, come copertura verde di un edificio, ha mostrato che le temperature superficiali sulla facciata con vegetazione erano fino a 13 °C inferiori rispetto alla facciata senza vegetazione (nuda), ottenendo un risparmio di circa 2 kWh/m² per il carico elettrico per il raffrescamento estivo. Queste riduzioni energetiche hanno inoltre permesso di risparmiare fino a circa 900 g CO₂/m² di emissioni [12]. Tuttavia, alcuni studi mostrano che, se non opportunamente installate, le TVI possono dare origine a prestazioni trascurabili o dannose (e.g. [13-14]), pertanto è necessaria l'ottimizzazione del loro design per migliorarne gli effetti sui consumi energetici e sulla mitigazione dell'UHI.

Gli studi sulla UHI hanno visto, negli ultimi anni, un ampio utilizzo del telerilevamento. Tuttavia, ad oggi, pochi studi hanno analizzato l'effetto microclimatico dei tetti verdi a scala urbana perché poche regioni urbane hanno implementato tetti verdi sufficientemente estesi da avere un impatto misurabile oltre la scala dell'edificio [15]. Tra questi, Imran (2018) ha dimostrato che la Land Surface Temperature (LST) si riduce di 1÷3,8 °C aumentando le frazioni di tetto verde dal 30 al 90% [16]. La disponibilità recente di immagini landsat 8 e 9 con risoluzione geometrica ottimizzata a 0,3 m nell'infrarosso termico ha reso possibile indagini preliminari di valutazione della LST nell'area urbana della città di Bolzano [17-18].

Il mercato offre soluzioni modulari per isolamento realizzate con diversi materiali, ma solitamente questo tipo di sistemi ha costi più alti rispetto alla soluzione tradizionale. Inoltre, di volta in volta, si rende necessario il calcolo delle prestazioni finali per verificare il rispetto dei requisiti minimi previsti dalle vigenti normative. Negli ultimi anni il campo delle costruzioni prefabbricate o dei singoli elementi prefabbricati da montare in cantiere ha fatto passi da giganti, infatti, si sta affermando sempre di più sul mercato edile. Corresponsabili di questa ascesa sono sicuramente l'ottimizzazione dei tempi di realizzazione, l'efficientamento energetico e il risparmio economico. L'edilizia off-site consente una riduzione dei costi fino al 25% rispetto all'edilizia tradizionale. Permette di rispettare il budget, riducendo sensibilmente gli extra-costi che risultano fisiologici in un intervento con tecniche tradizionali. Da uno studio RICS (Royal Institution of Chartered Surveyors) del 2018, emerge un risparmio del budget del 49% con tecniche tradizionali a fronte di un 94% con edilizia off-site.

Altri studi di RICS mostrano come le tecnologie tradizionali consentano il rispetto dei tempi per circa il 63% dei casi, valore che con l'edilizia off-site cresce fino al 96%. Queste considerazioni fanno intendere come la tecnologia, pur se emergente, è comunque di indiscutibile interesse. Anche a fronte dei risultati raggiunti nel PTR 2019-2021, che ha visto le pareti protagoniste del lavoro svolto, si è scelto di proseguire l'attività spostandosi anche sugli elementi di copertura al fine di verificare ed estendere ulteriori risultati.

L'ammmodernamento degli edifici attraverso la domotica e la costruzione di nuovi smart buildings hanno reso sempre più pervasiva la rete di sensori presenti all'interno degli ambienti. Al fine di massimizzare l'efficienza energetica del comparto di sensoristica è rilevante rendere quest'ultimo indipendente dall'alimentazione tramite rete elettrica, optando per una alimentazione basata su accumuli elettrici [19]. Inoltre, per evitare le ricadute organizzative e ambientali dovute alla frequente fornitura, sostituzione e smaltimento delle batterie, risulta necessario provvedere i sensori di un comparto di recupero energetico che mantenga carichi gli accumuli elettrici. Allo stato attuale le soluzioni che prevedono un comparto di energy harvesting associato a sensori autonomi risultano molto ridotte, tanto è vero che non si rileva presenza di soluzioni commerciali di tipo "mainstream", ma solamente di prodotti su richiesta e di tipo "semi-custom". In tali casi, il comparto di recupero energetico è basato principalmente sul silicio.

Il fotovoltaico tradizionale a base di silicio non è efficiente per applicazioni indoor, pertanto, per il recupero di energia in ambiente interno, bisogna considerare tecnologie emergenti come le dye-sensitized (DSSC) e perovskite (PSC) solar cells. Infatti, negli ultimi anni si è assistito alla rapida ascesa delle prestazioni e della stabilità di molti materiali impiegati nelle DSSC e PSC, che hanno raggiunto efficienze indoor su piccola area superiori al 30% [20].

Il termoelettrico ha attualmente applicazioni di nicchia e i materiali usati convenzionalmente in questa tecnologia sono costosi e basati su elementi poco abbondanti, tossici e difficili da processare (es. tellurio). Tali sistemi, basati su leghe di semiconduttori inorganici, sono anche caratterizzati da rigidità strutturale che ne limitano l'applicazione. Inoltre, i sistemi attualmente esistenti riescono ad erogare potenze elettriche significative partendo da elevati scarti termici (>100 °C). È noto altresì che la maggior parte del calore negli edifici viene disperso con gradienti termici inferiori [21].

Le schede elettroniche per il monitoraggio ambientale negli edifici hanno registrato notevoli progressi negli ultimi anni. Sono tipicamente dotate di più sensori, fabbricati su materiali semiconduttore o polimerici, per il monitoraggio di vari parametri, come temperatura, umidità e composti organici volatili. Alcune utilizzano tecniche di recupero di energia, come la luce ambientale o l'energia termica, per ridurre la dipendenza da fonti di alimentazione esterne e sono generalmente progettate per essere compatte e a risparmio energetico [19].

Recentemente sono stati sviluppati supercapacitori [22] e sensori [23] a basso consumo basati su materiali eco-sostenibili che possono essere integrati nelle schede elettroniche per ottimizzare il loro consumo energetico e migliorarne la sostenibilità ambientale.

In riferimento ai dispositivi OLED semitrasparenti, non esistono sul mercato prodotti analoghi a quanto riportato nel progetto. Inoltre, sono in commercio pochissimi prodotti OLED per illuminazione di interni per edifici o mezzi di trasporto (OLEDWorks, USA <https://www.oledworks.com/>; Yeolight Technology, Cina, <http://e.yeolight.com/>; UIV Chem, Cina, <http://www.ioledlight.com/>), ma che sono non trasparenti e non vengono proposti per l'integrazione in finestre; vari esempi di installazioni OLED o di ipotesi di "applicazioni ideali" sono presentati nei siti dei produttori sopracitati. Anche la testata giornalistica on-line OLED-Info (<https://www.oled-info.com/transparent-oleds>) afferma che non c'è traccia di produzione di OLED trasparenti per illuminazione, malgrado questi potrebbero avere un immediato impiego proprio nelle finestre. Esiste ormai una discreta letteratura sugli OLED trasparenti, ma ancora non molta su OLED trasparenti per illuminazione [24-27] (Scopus individua, dal 2015: 1017 riferimenti con "transparent OLED", 380 rif. con "transparent OLED display", 105 rif. con "transparent OLED lighting", 4 risultati per "bioinspired OLED materials"). Infine, non esistono ad oggi industrie italiane che producono OLED.

L'aumento della prestazione energetica dei fabbricati si ottiene dalla riduzione dei fabbisogni di energia termica, dall'impiego di sottosistemi di generazione ad alta efficienza, da un maggior impiego di fonti di energia rinnovabile e, rispetto alla produzione di energia, con un impiego differenziato dell'energia primaria rispetto alla classica curva dei fabbisogni di un immobile. La necessità di ridurre i fabbisogni di energia primaria per la climatizzazione di edifici sta portando allo sviluppo di nuove tecnologie, funzionali ai vari impieghi e con caratteristiche fisiche o di efficienza energetica adattabili in funzione delle condizioni esterne e interne, capaci di svolgere funzioni differenti. Tali elementi, detti "responsivi" (RBE Responsive Building Element) [28-30], riguardano vari componenti che concorrono alla realizzazione di edifici ad alte prestazioni energetiche: dai componenti per lo sfruttamento delle energie rinnovabili, allo stoccaggio di energia, agli involucri edilizi, etc.

La riduzione della conducibilità termica delle pareti perimetrali permette una diminuzione delle dispersioni verso l'esterno nel periodo invernale; pur riducendo al contempo i flussi termici verso l'interno nel periodo estivo, si genera una tendenza ad un aumento dei fabbisogni di raffrescamento, al surriscaldamento in presenza di carichi interni e in generale ad un aumento della durata della stagione di raffrescamento, soprattutto nel caso di pareti con bassa capacità termiche [31-32]. L'adozione di pareti perimetrali con caratteristiche termiche variabili per la realizzazione di involucri edilizi è in grado di ridurre significativamente i fabbisogni di energia primaria per il raffrescamento e conservando e/o migliorando le caratteristiche per il funzionamento invernale [29-30, 33].

Lo stoccaggio di energia (termica ed elettrica) è una tecnologia fondamentale [34-35] in ordine all'incremento della penetrazione delle fonti rinnovabili di energia. In particolare, lo stoccaggio termico permette di implementare tecniche di "peak shaving" ovvero disaccoppiamento tra la produzione di energia termica ed i fabbisogni dell'edificio specie con l'impiego di generatori (pompe di calore) utilizzando energia elettrica con o senza integrazione fotovoltaica. L'implementazione di stoccaggi di energia termica permette il

funzionamento dei generatori in condizioni di maggiore efficienza, ovvero nei periodi di maggior disponibilità di energia rinnovabile, ovvero nei periodi di disponibilità di energia a costi minori [36-39].

L'accumulo di energia negli elementi costruttivi è ormai da tempo una tematica di ricerca molto attiva. Utilizzare l'involucro dell'edificio come accumulo è infatti particolarmente interessante sia per il potenziale quantitativo di energia immagazzinabile, sia per il fatto che tale energia sarebbe distribuita sul territorio e, quindi, decentralizzata. Sebbene diversi lavori siano stati pubblicati riguardo l'utilizzo di elementi costruttivi come elementi di accumulo di energia termica [40], quando l'oggetto di studio diventa l'energia elettrica ad oggi sembra che la ricerca debba muovere ancora diversi passi in avanti. Attualmente in campo residenziale le soluzioni di stoccaggio dell'energia elettrica seguono generalmente il modello "ad elettrodomestico", prevedendo dispositivi collegati ma a sé stanti, da collocare all'interno o all'esterno dell'unità abitativa. In ambito industriale, invece, sono diffusi banchi di accumulatori allestiti in spazi ad-hoc, più limitatamente per l'utilizzo come alimentazione e più comunemente per il rifasamento.

In tutte queste soluzioni è necessario un compromesso tra capacità di accumulo, ingombro, peso, ciclo di vita e costo. Inoltre, le batterie più comunemente utilizzate soffrono di un rapido degrado delle prestazioni nel tempo e risultano inquinanti. Per ovviare a queste problematiche una tecnologia molto promettente per il prossimo futuro è quella impiegata nei supercondensatori [41]. Questi, infatti, stanno raggiungendo livelli di densità energetica molto interessanti per le applicazioni civili e costi sempre più prossimi a quelli delle batterie, utilizzando tecnologie più ambientalmente compatibili. Alla luce di queste considerazioni risulta di interesse indagare l'utilizzo di tamponature per l'involucro edilizio (come elementi prefabbricati in legno) capaci di integrare al loro interno sistemi di accumulo elettrico innovativi ad alte prestazioni.

Le configurazioni innovative di reti efficienti rappresentano argomenti chiave nel panorama della ricerca scientifica [42], con particolare attenzione alle temperature di distribuzione [43], ai sistemi di generazione distribuita e all'integrazione di impianti di produzione locale da fonti rinnovabili e/o da recupero del calore di scarto [44] (tramite sottostazioni bidirezionali), come previsto dalla Direttiva 2018/2001/UE. Un utente può quindi operare come prosumer e alimentare la rete con il surplus di calore prodotto o recuperato. Oltre alla scelta corretta dell'architettura della sottostazione, risulta di fondamentale importanza lo sviluppo di modelli accurati della rete e dei singoli componenti per prevedere profili della domanda di energia termica, produzione locale, dinamiche di rete e transitori termici [45-46]. Con lo scopo di valutare gli effetti energetici, ambientali ed economici dell'introduzione dei prosumer termici nelle reti di TLR, nonché per ottimizzare il dimensionamento e il funzionamento delle stesse, sono stati sviluppati diversi algoritmi e modelli numerici [47-48], il cui principale limite è rappresentato dalla possibilità di validare i modelli con dati reali per la ridotta diffusione di utenze attive. A livello di rete, la presenza di prosumer richiede strategie di controllo e di funzionamento per mantenere valori corretti di temperature e portate nella rete [49]; possibili soluzioni possono derivare dall'ottimizzazione dell'accumulo di energia termica [50] o da algoritmi per catturare le fluttuazioni a breve termine.

Il D.lgs. 199/2021, completando il recepimento della Direttiva Europea 2018/2001 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, introduce in modo definitivo nel regolamento nazionale le Comunità Energetiche di energia Rinnovabile (CER) e le Associazioni di Autoconsumatori che agiscono collettivamente (AUC).

Anche se l'attuale regolamentazione consente di realizzare nuove forme di economie collaborative e un nuovo modello energetico-sociale, le soluzioni proposte per le architetture di CER e UAC condominiali risultano ancora di tipo tradizionali; queste prevedono infatti prevalentemente l'installazione di impianti fotovoltaici progettati sulla base dei consumi storici con limitate innovazioni sulla gestione dei flussi di potenza per facilitare anche gli utenti meno esperti nella partecipazione attiva alla comunità.

Diversi sono quindi le soluzioni di interesse scientifico da studiare e trasferire al settore industriale al fine di: i) massimizzare l'autoconsumo delle fonti rinnovabili locali sia termiche che elettriche, ii) standardizzare e ottimizzare la modalità di suddivisione dei ricavi economici tra i membri della comunità iii) contribuire alla lotta alla povertà energetica attraverso la riduzione di consumi e tariffe di fornitura.

La nuova Direttiva EPBD recast rafforza lo "Smart Readiness Indicator" (SRI), indicatore già introdotto nel 2018 e attualmente in fase di testing sperimentale in 6 Stati Membri dell'UE.

L'obiettivo della Direttiva è quello di accelerare le riqualificazioni degli edifici, anche in ottica smart, focalizzando l'attenzione sugli edifici con le prestazioni energetiche peggiori i cui utenti sono spesso anche quelli più vulnerabili nei confronti delle fluttuazioni dei mercati energetici. L'analisi della letteratura scientifica dimostra come il raggiungimento di una piena consapevolezza per aumentare l'efficienza energetica sia ancora ostacolato da una serie di fattori, quali, ad esempio: i) la mancanza di solide evidenze sperimentali dell'efficacia dei dispositivi nella riduzione dei consumi energetici, ii) la carenza di informazioni sul rapporto costi/benefici delle tecnologie smart.

Si riportano di seguito i riferimenti bibliografici sugli studi condotti da ENEA e dai Cobeneficiari sui temi di interesse scientifico sopra descritti [51-61].

La più recente letteratura relativa alle reti termiche a bassa temperatura con pompe di calore elettriche alle utenze è concorde sul fatto che queste possono portare notevoli benefici sia economici che ambientali, per effetto di un abbattimento dei consumi rispetto alle reti termiche convenzionali, soprattutto nel caso in cui la sorgente centralizzata "a bassa temperatura" sia una sorgente a basso costo, come ad esempio una fonte di energia termica di scarto o una fonte geotermica spontanea, e anche perché consentono un certo grado di flessibilità nell'utilizzo di rinnovabili per la produzione elettrica, ovvero nella gestione del sistema energetico in cui sono integrate. Tra i lavori più

recenti su tali aspetti si possono elencare gli articoli di Meibodi e Loveridge [62], Quirosa et al. [63], e Milla et al. [64]. Un altro punto su cui la letteratura specializzata è d'accordo è il fatto che la strategia di funzionamento rappresenta l'aspetto tecnico più importante per le reti a bassa temperatura, per il quale ancora non sono emerse delle metodologie o degli standard consolidati.

Quanto all'accumulo innovativo con PCM, tra le applicazioni più recenti e promettenti, per il pieno sfruttamento dell'alta densità di energia accumulabile che caratterizza i PCM, si possono elencare i sistemi con PCM cascata [62], i sistemi per il cosiddetto "Personal Cooling" con PCM integrato [66], e i PCM dinamici [67].

Bibliografia:

1. Ministero della Cultura, Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale. Architettura, centri e nuclei storici ed urbani. 27 Ottobre 2020
MiC.https://www.soprintendenzapdve.beniculturali.it/wpcontent/uploads/2021/04/Linee_indirizzo_miglioramento_efficienza_energetica_nel_patrimonio_culturale.pdf
2. Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro, Ministero della Cultura, Progetto Vincoli in Rete.
<http://vincoliinrete.beniculturali.it/VincoliInRete/vir/utente/login>
3. International Energy Agency (IEA), Solar Heating and Cooling programme (SHC), IEA SHC Task 59: "Renovating Historic Buildings Towards Zero Energy", Settembre 2017 - Febbraio 2021, <https://task59.iea-shc.org/>
4. M. Fawaier, B. Bokor (2022) Dynamic insulation systems of building envelopes: A review
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112268>
5. M. Casini (2017) Active dynamic windows for buildings: A review <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.049>
6. Y. Yang, S. Chen (2022) Thermal insulation solutions for opaque envelope of low-energy buildings: A systematic review of methods and applications <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112738>
7. P.Wargocki, C.Mandin, W. Wei, C.Espigares, J.Bendzalova, O.Greslou, M.Rivallain, J. Zirngibl (2019) Assessment of Indoor Environmental Quality (IEQ) in offices and hotels undergoing deep energy renovation REHVA Journal August 2019
8. S.Zuhaib, R.Manton a, C. Griffin, M.Hajdukiewicz, M.Keane, J.Goggins (2018) An Indoor Environmental Quality (IEQ) assessment of a partially-retrofitted university building. Building and Environment Volume139 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.001>
9. D. Palladino, D. Iatauro and P. Signoretti (2021) Application of hourly dynamic method for nZEB buildings in Italian context: analysis and comparisons in national calculation procedure framework. Conferenza ATI 2021 DOI:10.1051/e3sconf/202131202006
10. Susca, T., Zanghirella, F., Colasuonno, L., Del Fatto, V. (2022). Effect of green wall installation on urban heat island and building energy use: A climate-informed systematic literature review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 159, 112100.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112100>
11. Susca, T. (2019). Green roofs to reduce building energy use? A review on key structural factors of green roofs and their effects on urban climate. Building and Environment, 162, 106273. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106273>
12. Campiotti, C.A., Gatti, L., Campiotti, A., Consorti, L., De Rossi, P., Bibbiani, C., Muleo, R., Latini, A (2022). Vertical Greenery as Natural Tool for Improving Energy Efficiency of Buildings. Horticulturae 8(6):526. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8060526>
13. Koch, K., Ysebaert, T., Denys, S., Samson, R. (2020). Urban heat stress mitigation potential of green walls: A review. Urban Forestry & Urban Greening, 55, 126843. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126843>
14. Acero, J.A., Koh, E.J.Y., Li, X., Ruefenacht, L.A., Pignatta, G., Norford, L.K. (2019). Thermal impact of the orientation and height of vertical greenery on pedestrians in a tropical area. Building Simulation, 12(6), 973-984. <https://doi.org/10.1007/s12273-019-0537-1>
15. Dong, J., Lin, J. M., Zao, T., Lin, C., Sun., J. (2020). Quantitative study on the cooling effect of green roof in a high-density urban area - A case study of Xiamen, China. Journal of Cleaner Production, 255, 120-152. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120152>
16. Imran, H., Kala, J., Ng, A., Muthukumar, S. (2018). Effectiveness of green and cool roofs in mitigating urban heat island effects during a heatwave event in the city of Melbourne in southeast Australia. Journal of Cleaner Production 197, 393-405.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.179>
17. Barbieri, T., Despini, F., Teggi, S. (2018). A multi-temporal analyses of land surface temperature using landsat-8 data and open-source software: the case study of Modena, Italy. Sustainability, 10, 1678. <https://doi.org/10.3390/su10051678>
18. Pace, S., Del Fatto, Loperfido R., Crescini E., Buratti U. (2022). Environmental efficiency assessment of green infrastructure through remote sensing and GIS techniques. Remote Sensing Applied to Land Knowledge and Management Processes Workshop, Bologna 22-23/09/2022.
19. Kanoun, O.; Bradai, S.; Khriji, S.; Bouattour, G.; El Houssaini, D.; Ben Ammar, M.; Naifar, S.; Bouhamed, A.; Derbel, F.; Viehweger, C. Energy-Aware System Design for Autonomous Wireless Sensor Nodes: A Comprehensive Review. Sensors 2021, 21, 548, doi:10.3390/s21020548
20. A. Biswas and H. Kimi, "Solar Cells for Indoor Applications: Progress and Development", Polymers, Vol. 12, 2020. doi:10.3390/polym12061338
21. Jabri, M.; Masoumi, S.; Sajadirad, F.; West, R.P.; Pakdel, A. Thermoelectric Energy Conversion in Buildings. Mater. Today Energy 2023, 101257, doi:10.1016/j.mtener.2023.101257

22. Landi, G.; La Notte, L.; Palma, A.L.; Puglisi, G. Electrochemical Performance of Biopolymer-Based Hydrogel Electrolyte for Supercapacitors with Eco-Friendly Binders. *Polymers (Basel)*. 2022, 14, 4445, doi:10.3390/polym14204445
23. Landi, G.; Granata, V.; Germano, R.; Pagano, S.; Barone, C. Low-Power and Eco-Friendly Temperature Sensor Based on Gelatin Nanocomposite. *Nanomaterials* 2022, 12, 2227, doi:10.3390/nano12132227
24. R. Pode, "Organic light emitting diode devices: An energy efficient solid state lighting for applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 133 (2020) 110043; <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110043>
25. Je-Heon Oh and Jin-Woo Park, "Highly Transparent and Colorless Organic Light-Emitting Diodes", *Phys. Status Solidi RRL* 2020, 14, 1900707; <https://doi.org/10.1002/pssr.201900707>
26. M.-G. Song et al., "Highly reliable and transparent Al doped Ag cathode fabricated using thermal evaporation for transparent OLED applications", *Organic Electronics* 76 (2020) 105418, <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2019.105418>
27. D. Zhao et al., "Progress on material, structure and function for tandem organic light-emitting diodes", *Organic Electronics* 51 (2017) 220-242; <http://dx.doi.org/10.1016/j.orgel.2017.09.023>
28. AA.VV. "Designing with Responsive Buildings Elements" IEA-ECBCS Report Annex 44
29. M. Juaristi et al, "Exploring the potential of smart and multifunctional materials in adaptive opaque façade systems" *Journal of façade design & Engineering*, Vol 6, N°2, 2018
30. X. Zhang, et al. "Adaptative facades: Review of Designs, Performance Evaluation, and Control Systems" *Buildings* 2022, 2112.
31. K. M. S. Chvatal, et al. "The impact of increasing the building envelope insulation upon the risk of overheating in summer and an increased energy consumption" *Journal of Building Performance Simulation* Vol. 2, No. 4, December 2009, 267-282
32. Z. Yilmaz "Evaluation of energy efficient design strategies for different climatic zones: Comparison of thermal performance of buildings in temperate-humid and hot-dry climate" *Energy and Buildings* 39 (2007) 306-316
33. AA.VV. Rapporto interno "La ventilazione all'interno di pareti perimetrali multistrato a trasmittanza variabile." ENEA - DUEE SPS SAP
34. AA.VV. Innovation Outlook: Thermal Energy Storage, International Renewable Energy Agency, IRENA (2020), Abu Dhabi
35. AA.VV. "A National Roadmap for Grid-Interactive Efficient Buildings" DOE 2021
36. Prasher R. et al., "Addressing energy storage needs at lower cost via on-site thermal energy storage in buildings" *Energy Environ. Sci.*, 2021, 14, 5315
37. Sun, L., et al. "Energy storage capacity configuration of building integrated photovoltaic-phase change material system considering demand response." *IET Energy Syst. Integr.*, 2021, 3(3),263-272
38. S. Jung, et al. "Peak cooling load shift capability of a thermal energy storage system integrated with an active insulation system in US climate zones" *Energy and Buildings*, Volume 277, 2022, 112484
39. M. G. Gado, et al. "Energy-saving potential of compression heat pump using thermal energy storage of phase change materials for cooling and heating applications" *Energy* 263 (2023) 126046
40. E. Iffaa, D. Huna, M. Salonvaara, S. Shrestha and M. Lapsab, "Performance evaluation of a dynamic wall integrated with active insulation and thermal energy storage systems", *Journal of Energy Storage*, v. 46, 103815
41. Z. Zhai, L. Zhang, T. Duc, B. Ren, Y. Xu, S. Wang, J. Miao, Z. Liu, "A review of carbon materials for supercapacitors", *Materials & Design*, v. 221, 111017
42. Sorknæs, P.; Nielsen, S.; Lund, H.; Mathiesen, B.V.; Moreno, D.; Thellufsen, J.Z. The benefits of 4th generation district heating and energy efficient datacentres. *Energy* 2022, 260, 125215. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125215>
43. Ding, Y.; Ohlson Timoudas, T.; Wang, Q.; Chen, S.; Brattebø, H.; Nord, N. A study on data-driven hybrid heating load prediction methods in low-temperature district heating: An example for nursing homes in Nordic countries *Energy Conversion and Management* 2022, 269, 116163. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116163>
44. Di Pietra, B.; Zanghirella, F.; Puglisi, G. An evaluation of distributed solar thermal net metering in small-scale district heating systems. *Energy Procedia* 2015, 78, 1859-1864. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.335>
45. Guelpa, E.; Marincioni, L.; Capone, M.; Deputato, S.; Verda, V. Thermal load prediction in district heating systems. *Energy* 2019, 176, 693-703. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.021>
46. Ricci, M.; Sdringola, P.; Tamburrino, S.; Puglisi, G.; Di Donato, E.; Ancona, M.A.; Melino, F. Efficient District Heating in a Decarbonisation Perspective: A Case Study in Italy. *Energies* 2022, 15, 948. <https://doi.org/10.3390/en15030948>
47. Ancona, M.A.; Branchini, L.; De Pascale, A.; Melino, F. Smart district heating: Distributed generation systems' effects on the network. *Energy Procedia* 2015, 75, 1208-1213. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.157>
48. Postnikov, I. Methods for the reliability optimization of district-distributed heating systems with prosumers. *Energy Reports* 2023, 9, 584-593. <https://doi.org/10.1016/j.egypr.2022.11.085>
49. Bünning, F.; Wetter, M.; Fuchs, M.; Müller, D. Bidirectional low temperature district energy systems with agent-based control: Performance comparison and operation optimization. *Appl Energy* 2018, 209, 502-515. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.072>
50. Li, H.; Hou, J.; Hong, T.; Nord, N. Distinguish between the economic optimal and lowest distribution temperatures for heat-prosumer-based district heating systems with short-term thermal energy storage. *Energy* 2022, 248, 123601. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123601>
51. Canale, L., Slott, B.P., Finsdottir, S., Kildemoes L.R., Andersen, R.K. (2021). Do in-home displays affect end-user consumptions? A mixed

- method analysis of electricity, heating and water use in Danish apartments. *Energy and Buildings*, vol. 246, ISSN: 0378-7788, doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111094
52. Canale, L., De Monaco, M., Di Pietra, B., Puglisi, G., Ficco, G., Bertini, I., Dell'Isola, M. Estimating the Smart Readiness Indicator in the Italian Residential Building Stock in Different Scenarios. *Energies* 2021, 14, 6442. <https://doi.org/10.3390/en14206442>
53. M. Dell'Isola, G. Ficco, L. Canale, B.I. Palella, G. Puglisi, An IoT Integrated Tool to Enhance User Awareness on Energy Consumption in Residential Buildings. *Atmosphere* 2019, 10, 743. <https://www.mdpi.com/2073-4433/10/12/743>
54. L. Canale, M. Dell'Isola, G. Ficco, T. Cholewa, S. Siggele, I. Balen, A comprehensive review on heat accounting and cost allocation in residential buildings in EU. (2019) *Energy and Buildings*, 202. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109398>
55. Palma, A.L., La Notte, L., Landi, G., Di Pietra, B.: Application of a demand-response-optimized electrical load profile to a plant supplying an energy micro-community, Workshop on Blockchain for Renewables Integration, BLORIN 2022, Palermo 2 September 2022
56. Canale, Laura; Ficco, Giorgio; Dell'Isola, Marco; Di Pietra, Biagio; Puglisi, Giovanni; Bertini, Ilaria:
57. Effect of end-user awareness and individual heat metering in a social housing building in Mediterranean climate, 2022 7th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech) , 2022, p.146-6
58. Dell'Isola, M; Ficco, G; Di Pietra, B; Saba, F; Masoero, MC: A novel measurement method for accurate heat accounting in historical buildings ISSN: 0263-2241,1873-412X; DOI: 10.1016/j.measurement.2020.107876, *Measurement*, 2020, Vol.161, p.107876
59. F. Martorana, M. Bonomolo, G. Leone, F. Monteleone, G. Zizzo, M. Beccali. "Solar-assisted heat pumps systems for domestic hot water production in small energy communities", *Solar Energy*, vol. 217, Mar 2021, pp. 113 - 133, ISSN: 0038-092X, DOI: 10.1016/j.solener.2021.01.020.
60. Ballistreri, Samuele; Di Pietra, Biagio; Sdringola, Paolo. Innovative Solutions for Energy Transitions of Small Islands: The Case of a Hybrid Photovoltaic System at the ENEA Climatic Observatory in Lampedusa Island, 2022 Workshop on Blockchain for Renewables Integration (BLORIN), 2022, p.218-223
61. Barberi, A; Dio, V Di; Pietra, B Di; Favuzza, S; Galluzzo, M; Massaro, F; Musca, R; Zizzo, G. "Assessing the Economic Benefit due to BESS Management in a Renewable Energy Community of a Small Island," 2022 IEEE 21st Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON), Palermo, Italy, 2022, pp. 543-548, doi: 10.1109/MELECON53508.2022.9843052.
62. Saleh S. Meibodi, Fleur Loveridge, The future role of energy geostructures in fifth generation district heating and cooling networks, *Energy*, 240 (2022), 122481.
63. Gonzalo Quirosa, Miguel Torres, Ricardo Chacartegui, Analysis of the integration of photovoltaic excess into a 5th generation district heating and cooling system for network energy storage, *Energy*, 239 (2022), 122202.
64. Michael-Allan Millar, Zhibin Yu, Neil Burnside, Greg Jones, Bruce Elrick, Identification of key performance indicators and complimentary load profiles for 5th generation district energy networks, *Applied Energy*, 291 (2021), 116672.
65. Jugal M. Panchal, Kalpesh V. Modi, Vikas J. Patel, Development in multiple-phase change materials cascaded low-grade thermal energy storage applications: A review, *Cleaner Engineering and Technology*, 8 (2022), 100465.
66. Rohit Dhumane, Jiazhen Ling, Vikrant Aute, Reinhard Radermacher, Performance comparison of low GWP refrigerants for a miniature vapor compression system integrated with enhanced phase change material, *Applied Thermal Engineering*, 182 (2021), 116160.
67. Wuchen Fu, Xiao Yan, Yashraj Gurumukhi, Vivek S. Garimella, William P. King, and Nenad Miljkovic, High power and energy density dynamic phase change materials using pressure-enhanced close contact melting, *Nature Energy*, 7 (2022), 270-280.

b) Attività svolte nel triennio precedente

Il progetto di riferimento del triennio precedente è il PROGETTO 1.5 "Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti", di cui la presente proposta progettuale rappresenta uno sviluppo. Di seguito si descrivono per ciascun WP della proposta progettuale, le attività che sono state oggetto del precedente triennio e che presentano collegamenti con quelle attuali.

Il WP1 affronta le stesse tematiche del triennio precedente, ma con attività che solo indirettamente sono correlate a quelle proposte. In particolare, nel triennio 2019-2021 le attività sono state focalizzate sullo studio di metodologie e strumenti di calcolo per l'analisi del fabbisogno energetico di edifici ad alta efficienza. Sono stati analizzati differenti modelli di edifici in ottica Zero Energy Buildings (ZEB), verificando la fattibilità tecnica ed economica delle tecnologie utilizzate al variare delle condizioni climatiche. Parallelamente sono state svolte analisi LCA per valutare l'impatto ambientale di edifici ZEB con diversa destinazione d'uso. È stata condotta un'analisi comparativa tra la metodologia di calcolo dinamica oraria, introdotta dalla norma UNI:52016 e gli attuali metodi di calcolo utilizzati in ambito EPBD. Attraverso l'applicazione della Cost Optimality Methodology, utilizzando lo stesso metodo orario della UNI 52016, sono stati esaminati i valori ottimali dei Requisiti Minimi in funzione dei costi. È stato inoltre prodotto e reso disponibile in forma open source, il software di simulazione dinamica, OpenBPS. Un approccio metodologico completo per la stima di consumi energetici più realistici è stato sviluppato a partire dal profilo di utilizzo standard utilizzato nella certificazione energetica (APE). Sono state redatte delle linee guida per le diagnosi energetiche degli edifici in ambiente BIM ed è stata investigata la fattibilità economica e il vantaggio competitivo derivante dall'applicazione di procedure/piattaforme open BIM al ciclo di vita di Zero Energy Buildings. Sono stati elaborati dati climatici a scala suboraria per le simulazioni energetiche, e sono state esaminate le eventuali implicazioni derivanti da una zonizzazione del territorio nazionale basata sui GG derivati dai dati di temperatura della UNI:10349. Sono stati esaminati due modelli per la previsione, a bassa scala temporale, della

disponibilità della radiazione solare globale, WRF-ARW ed ibrido ENEA-WRF, da utilizzare nella progettazione e nella gestione di impianti solari.

Il WP2 rappresenta una continuazione delle attività del PTR 19-21 per la tematica tetti e pareti verdi, di cui sono stati analizzati i vantaggi energetici e ambientali del prototipo realizzato presso il CR ENEA Casaccia. Principalmente, sul tetto, sono stati analizzati i flussi termici attraverso la copertura e gli effetti sulle temperature superficiali in corrispondenza di due diverse tipologie di vegetazione (Sedum e prato a graminaceae); è stato analizzato l'albedo, collegandolo ai diversi parametri microclimatici rilevati. Sulla parete verde, oltre all'analisi dei flussi termici e lo sviluppo di un parametro "Kv*" correlato al livello di schermatura della vegetazione nel caso di parete distaccata, è stato valutato l'impatto della parete sulla qualità dell'aria, monitorando sia la CO₂ sia i BTEX tra i principali composti organici volatili. Inoltre, si è sperimentata la possibilità di discriminare il tetto verde dell'edificio prototipo mediante l'analisi di immagini satellitari nell'infrarosso termico nonostante le dimensioni inferiori alla risoluzione geometrica disponibile.

È stata simulata l'interazione tra clima ed edificato urbano in tre aree delle città di Roma, Torino e Milano per una giornata tipica estiva, con ondata di calore e invernale in seguito all'applicazione di scenari di mitigazione dell'UHI basati sull'installazione di TVI. Per ciascuna città, sono state valutate le variazioni di temperatura conseguenti ed è stata calcolata la variazione di consumo energetico relativa ad archetipi di edifici, utilizzando un modello di calcolo semplificato in regime statico.

L'attività sul portale AUREE.it è la naturale prosecuzione dello studio eseguito da Sotacarbo nel precedente PTR 2029-2021. Tale studio ha consentito di conseguire significativi risultati nello studio e nello sviluppo di un protocollo per la mappatura energetica di una cittadina caratterizzata da medie dimensioni (caso Studio su Carbonia), lo sviluppo e l'implementazione di un modello energetico alla scala di quartiere e urbana (UBEM) integrato nel portale AUREE.it, che oltre che essere il contenitore dei risultati principali del progetto, costituisce uno strumento di comunicazione per il coinvolgimento degli stakeholder e per la diffusione della conoscenza. Le sperimentazioni svolte hanno permesso di individuare alcuni elementi di criticità da affrontare e risolvere per rendere il protocollo più efficace e il portale più snello e mirato, con l'obiettivo finale di favorirne la replicazione in altri contesti. L'attività proposta ha, inoltre, l'obiettivo di arricchire i contenuti del portale anche tramite il coinvolgimento degli utenti locali e lo studio e la sperimentazione di nuovi servizi come ad esempio strumenti di supporto alla diffusione di Comunità Energetiche Rinnovabili (CER), strumenti per la valutazione e rappresentazione del potenziale solare del patrimonio edilizio e strumenti per lo sviluppo e la condivisione di scenari di efficientamento energetico di quartiere.

L'attività sull' Off-Site Construction - OSC era presente nella scorsa annualità nel progetto 1.6 "Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali" e ha prodotto come risultato finale la definizione di un catalogo di configurazioni costruttive standard per soluzioni di facciata da realizzare in modalità Off-Site che, attraverso la raccolta e diffusione di informazioni chiave relative alle modalità costruttive e alle prestazioni di tali configurazioni, ne agevoli la scelta da parte degli utenti finali, consentendo di accedere alla riqualificazione degli immobili con costi e tempi di realizzazione ridotti. Le soluzioni a catalogo, oltre ad avere caratteristiche termiche ed energetiche tali da consentire importanti risparmi a livello locale (sul singolo edificio cui vengono applicate) hanno anche ricadute a largo spettro in termini energetici ed ambientali grazie allo studio approfondito della filiera che permette una riorganizzazione dei processi volta a supportare miglioramenti in termini di costi, tempi e qualità per l'intera Supply Chain. L'attività proposta costituisce un completamento di quella precedente in quanto si focalizza sulle coperture orizzontali ed inclinate.

Anche per il WP3 alcune delle attività si configurano come un'evoluzione di quanto svolto nel precedente triennio. In particolare, riguardo i supercapacitori (SC) eco-sostenibili sono presi come riferimento i risultati delle attività sulle sorgenti luminose OLED alimentate da generatori elettrici DC con materiali biodegradabili. Queste hanno portato alla fabbricazione di dispositivi con tensioni operative che variavano tra 1 e 5V, quest'ultima ottenuta con la connessione in serie di 3 SC basata su una geometria non ottimizzata; inoltre, era stato utilizzato un elettrolita gel-polimerico di test. I prototipi presentavano problemi di stabilità ai cicli di funzionamento e prestazioni energetiche non ottimizzate.

Per le attività sugli OLED, nel precedente triennio sono stati realizzati dispositivi di piccole dimensioni con emissione di luce di vari colori (rosso, arancione, verde, blu), fino alla luce bianca. Alcuni hanno impiegato materiali emissivi elettroluminescenti di nuova sintesi bio-ispirati, a dimostrazione della fattibilità di tale approccio per la sostenibilità dei processi di realizzazione degli OLED.

Riguardo le soluzioni per pareti prefabbricate in legno, integrate con sistemi innovativi ad alta densità energetica, sono stati condotti studi e approfondimenti a partire dal brevetto ENEA sui singoli elementi di tamponatura (i.e., mattoni) che ospitano al loro interno componenti per l'accumulo elettrico basati sulla tecnologia a film sottile.

Infine, riguardo il teleriscaldamento attivo è stato creato e validato un modello dinamico di una sottostazione di scambio termico bidirezionale, avviato lo sviluppo dello stesso come componente e la successiva integrazione in una rete di teleriscaldamento. Sono state eseguite prove sperimentali su un prototipo di sottostazione, considerando una rete operante in condizioni standard e a bassa temperatura e la presenza di sistemi di generazione locale; è stato rilevato che la quantità di energia termica prodotta localmente può essere solo in parte auto-consumata, ponendo vincoli in merito al numero, posizionamento e capacità termica delle sottostazioni potenzialmente integrabili in una specifica rete di teleriscaldamento.

Per il WP4, nel precedente triennio è stata completata presso il C.R. ENEA Casaccia l'installazione del sistema ibrido S.A.P.I.EN.T.E. e sono state avviate le prove sperimentali applicando un controllo del tipo power to heat. Con l'ausilio della simulazione dinamica in Matlab/Simulink è stata condotta una analisi tecnico economica del sistema sperimentale in una configurazione Autoconsumo Collettivo (AUC) Condominiale. Nel nuovo progetto verranno estese le prove con S.A.P.I.EN.T.E. per valutare nuove configurazioni impiantistiche

anche in modalità hardware in the loop. Inoltre integrando i modelli in Matlab/Simulink, verrà simulata e provata con tecnologia hardware in the loop la connessione del sistema SAPINETE ad una rete di teleriscaldamento con sottostazione bidirezionale in un contesto di comunità energetica termica.

Nelle precedenti annualità sono state studiate in simulazione e in campo diverse soluzioni sperimentali per l'efficientamento energetico delle isole minori utilizzando diversi dimostratori come i sistemi ibridi installati presso l'Osservatorio Climatico ENEA di Lampedusa e presso C.R. ENEA di Casaccia e il prototipo di microgeneratore a biogas per la produzione di ACS. Nel nuovo progetto verranno completate le prove e le simulazioni necessarie a caratterizzare le prestazioni degli impianti e verranno valutati i vantaggi energetici ed economici secondo gli attuali scenari tariffari.

Durante l'ultimo triennio è stata realizzata e applicata una piattaforma web come strumento per migliorare la consapevolezza degli utenti dei propri consumi termici tramite la visualizzazione giornaliera di indicatori semplificati. Nel nuovo triennio la piattaforma verrà ottimizzata sulla base dei feedback forniti dagli utenti e verrà adattata per essere utilizzata nelle configurazioni AUC condominiale. Nel precedente triennio è stato avviato lo studio per adattare al contesto nazionale lo Smart Radiness Indicator, analizzando lo stato dell'arte delle tecnologie presenti nel catalogo dei servizi. Il nuovo progetto prevede i) l'aggiornamento del catalogo dei servizi, ii) il completamento di un foglio di calcolo adattato al contesto nazionale, iii) l'analisi delle possibili correlazioni tra l'SRI e la prestazione energetica degli edifici, iv) l'analisi tecnico economica degli interventi migliorativi del livello di smartness di alcuni casi studio.

Le attività del triennio precedente del WP5 hanno riguardato lo studio di reti di teleriscaldamento/raffrescamento di nuova generazione a bassa temperatura, per il quale è stata realizzato un impianto presso ENEA Portici per simulazioni sperimentali, lo studio di sistemi di refrigerazione innovativi con PCM integrato, e la simulazione e la validazione sperimentale di un sistema innovativo per accumulo di energia refrigerante basato sull'utilizzo di un unico PCM come materiale di accumulo.

c) Obiettivi scientifici e tecnologici e progressi attesi rispetto allo stato dell'arte

Come si evince dall'analisi dello stato dell'arte descritto in precedenza, il settore civile continua a rappresentare un elemento strategico nel percorso di decarbonizzazione del Paese in prospettiva degli obiettivi al 2030 e, ancor più, al 2050. L'applicazione di soluzioni innovative per l'involucro edilizio e gli impianti, l'integrazione di energie rinnovabili, l'utilizzo di strumenti, metodologie di calcolo e indicatori più accurati per l'analisi del fabbisogno e delle prestazioni energetiche, la diffusione di sistemi orientati ad un maggiore autoconsumo rappresentano infatti tematiche con ampi margini di approfondimenti. Si fa in particolare riferimento agli edifici ad elevate prestazioni e all'interazione degli stessi con il contesto urbano, alla valutazione delle relazioni tra il sistema edificio-impianto e il benessere dei suoi occupanti, allo studio di soluzioni e configurazioni impiantistiche che massimizzino la generazione da fonte rinnovabile e ottimizzino la gestione dei flussi energetici scambiati con le utenze. Ciò consentirà una riduzione dei consumi e un'ottimizzazione del sistema energetico, con particolare riferimento al vettore elettrico e ai conseguenti benefici per il sistema elettrico nazionale.

Diverse delle linee di attività proposte prevedono, pertanto, analisi di casi studio reali tesi ad incrementare la conoscenza delle soluzioni studiate in termini di fattibilità tecnico-economica, replicabilità degli interventi e potenziale di risparmio energetico. In particolare, tali valutazioni saranno effettuate per le attività inerenti lo studio di interventi e soluzioni tecnologiche per l'incremento dell'efficienza energetica degli edifici, per le tecnologie verdi di involucro, per le soluzioni prefabbricate basate sull'Off-Site Construction, per le comunità energetiche e le reti di teleriscaldamento attivo.

Le attività riguardanti lo sviluppo di materiali, componenti e sistemi innovativi consentiranno, mediante campagne sperimentali, di elevare il grado di maturità e valutare il potenziale commerciale delle soluzioni studiate, in termini di prestazioni energetiche, economicità ed efficienza.

Di seguito sono descritti più in dettaglio gli obiettivi scientifici delle principali attività.

Analisi dei consumi elettrici e termici nazionali disaggregati e valutazioni di risparmi derivati da interventi di tipo DSM: saranno analizzati consumi nazionali di energia elettrica suddivisi sulla base delle zone climatiche e dei diversi settori (domestico e terziario). Simulazione di strategie di risparmio mirate per differenti destinazioni d'uso (settore residenziale e terziario). Stima dei risparmi potenziali di gas metano e di energia elettrica derivanti da interventi di carattere gestionale e comportamentale.

Efficienza energetica di edifici storici: obiettivo della ricerca sarà lo studio e la caratterizzazione di edifici di particolare pregio storico e artistico, con riconosciuta qualità architettonica e specificità dal punto di vista distributivo-funzionale, tecnologico ed energetico. Il lavoro includerà l'analisi energetica in quanto tali edifici saranno impiegati come "casi pilota" per lo studio di soluzioni che permettano di raggiungere standard energetici più efficienti e l'utilizzo di fonti rinnovabili, pur rispettando il valore culturale del bene e dell'area circostante.

Materiali innovativi per l'involucro edilizio: mediante studi di carattere sperimentale e teorico saranno analizzati materiali altamente innovativi, per l'involucro edilizio come i rivestimenti termocromici, ed i radiative coolers, le cui applicazioni sono attualmente sperimentali. Saranno inoltre valutate le proprietà solari e termiche di sistemi trasparenti dinamici. Le attività includeranno anche simulazione numeriche con differenti di esempi applicativi delle tecnologie esaminate.

Analisi termoisolometrica e ambientale indoor di edifici del terziario: si analizzeranno le condizioni di benessere microclimatico indoor di un edificio reale del terziario attraverso un monitoraggio delle principali grandezze termoisolometriche e ambientali, per poi confrontarle con quelle ottenute mediante simulazione e applicazione della norma UNI 52016. Oltre all'analisi comparativa, saranno valutati possibili interventi migliorativi dell'indoor environmental quality IEQ dell'edificio verificando le implicazioni di carattere energetico in termini di

consumi.

Tecnologie Verdi di Involucro: dall'analisi della letteratura scientifica è emersa una carenza di studi che considerino la contemporanea ottimizzazione dell'applicazione delle TVI in termini di potenziale risparmio energetico e di mitigazione dell'UHI. Si supererà tale limite analizzando due o più modelli urbani per i quali verranno sviluppati degli scenari che prevedono l'installazione di TVI (i.e., tetti verdi estensivi, facciate verdi e living wall) sulle superfici degli edifici. Rispetto al triennio precedente le simulazioni microclimatiche ed energetiche valuteranno diverse tipologie di tessuto urbano e le analisi energetiche saranno effettuate in regime dinamico. Sarà anche affrontato un caso studio reale, analizzando le prestazioni energetiche e ambientali dei tetti verdi della città di Bolzano mediante telerilevamento e GIS. Verrà anche sviluppato un prototipo innovativo di tetto blue-green per il "Sustainable Urban Drainage System" (SUDS), integrato delle conoscenze sui tetti verdi acquisite durante le precedenti annualità.

Soluzioni modulari OSC: si studieranno soluzioni modulari per le coperture applicabili a larga scala sul territorio italiano che abbiano requisiti energetici ad alte prestazioni e che facilitino l'installazione, abbattendo i tempi di progettazione e posa in opera. Queste soluzioni, integrate con quelle "a catalogo" già definite nello scorso triennio per le pareti, daranno vita ad un "pacchetto" di soluzioni per la completa riqualificazione dell'involucro edilizio. Per rendere il pacchetto ancora più completo, sulla base dei risultati del progetto precedente, si studierà una soluzione complementare realizzabile on-site che potrà essere utilizzata in tutti quei casi "critici" in cui non sarà possibile applicare le soluzioni Off-site (porzioni di facciata troppo strette o con angoli difficili da trattare, soluzioni di attacco non gestibili con la prefabbricazione come l'attacco parete-falda o l'attacco parete-basamento, contorni di vetrate non rettilinee...).

Portale Auree.it: l'attività prevede lo sviluppo della versione del portale sviluppata nel triennio precedente che verrà arricchito di contenuti anche tramite il coinvolgimento degli utenti locali e lo studio e di nuovi servizi come ad esempio strumenti di supporto alla diffusione di Comunità Energetiche Rinnovabili (CER), strumenti per la valutazione e rappresentazione del potenziale solare del patrimonio edilizio e strumenti per lo sviluppo e la condivisione di scenari di efficientamento energetico di quartiere.

Teleriscaldamento attivo: sarà portata avanti la modellazione di una sottostazione di scambio termico bidirezionale, componente caratterizzante gli utenti attivi di una rete (prosumer); in particolare per superare i problemi del modello dinamico sviluppato e validato nel precedente PTR, legati all'attuale modalità di connessione della singola utenza alla rete, sarà portata avanti l'ottimizzazione come componente in linguaggio Modelica, finalizzata all'inserimento e alla simulazione dello stesso in una rete. I modelli dinamici di sistemi energetici complessi come il teleriscaldamento saranno valutati anche in chiave predittiva a servizio del gestore di rete. Al fine di aumentare la percentuale di energia rinnovabile/calore di scarto utilizzata per coprire il carico, le attività prevedono lo sviluppo di opportune strategie per l'estensione e l'ottimizzazione della quota di autoconsumo. La realizzazione di un nuovo prototipo di sottostazione bidirezionale consentirà infine di raggiungere un dettaglio pre-commerciale, utile all'installazione in corrispondenza di un'utenza su una rete reale, con la conseguente sperimentazione sul campo di questa soluzione.

Comunità energetiche: mediante il sistema ibrido S.A.P.I.EN.T.E. si propone di analizzare, sperimentare e ottimizzare nuove configurazioni di sistemi ibridi per migliorare l'utilizzo e la condivisione delle fonti rinnovabili nei contesti di autoconsumo collettivo condominiale superando gli attuali schemi tradizionali che vedono prevalentemente l'installazione di impianti fotovoltaici progettati sulla base dei fabbisogni storici degli edifici. Inoltre per superare le barriere che possono ostacolare la diffusione delle comunità energetiche, il progetto si pone l'obiettivo di guidare gli utenti verso un approccio collettivo all'efficientamento energetico proponendo: i) algoritmi per facilitare le modalità di suddivisione dei ricavi nelle varie configurazioni ii) metodologia multicriterio per classificare l'efficienza di una comunità iii) una metodologia per verificare che non ci siano immotivati aumenti di consumi in una comunità energetica finalizzati esclusivamente al percepimento dell'incentivo. Si prevede anche la realizzazione di un prototipo di box del tipo plug and play per facilitare la gestione dei carichi nelle utenze di configurazioni AUC e Comunità Energetiche tramite l'applicazione di algoritmi Demand Side Management e Demand Response. Rispetto a sistemi di interfaccia in commercio, la nuova box sarà in grado di riconoscere, mediante protocolli di comunicazione bidirezionale e una specifica banca dati, i sistemi di generazione (e.g., inverter FV, pompe di calore), i sistemi di accumulo e i carichi programmabili delle utenze che eventualmente dispongono di una interfaccia di comunicazione; verrà anche sviluppata una piattaforma web based (iniziata lo scorso triennio) con la quale fornire agli utenti informazioni sulla qualità dei propri consumi tramite indicatori semplificati che possano migliorare la consapevolezza degli utenti finali favorendo interventi o comportamenti efficienti. La piattaforma includerà anche una sezione per informare gli utenti delle configurazioni AUC condominiali; a questa verrà associata una App per smartphone, tramite la quale sarà possibile visualizzare messaggi di allert sui consumi termici anomali nonché rendere disponibili mini diagnosi semplificate tramite specifiche schede informative.

Isole minori: si svilupperà e proverà una nuova soluzione Power Line Communication per consentire ai gestori delle reti elettriche isolate di controllare tramite la rete BT i carichi programmabili già presenti e garantire un bilanciamento della rete anche con una elevata diffusione delle fonti rinnovabili sull'isola. La gestione degli scaldacqua con accumulo già presenti nelle isole minori risulta una alternativa alle soluzioni tradizionali che prevedono un impiego di accumuli elettrici distribuiti. Il progetto prevede, inoltre, un progresso tecnologico per le soluzioni studiate nel precedente triennio per efficientare il sistema biodigestore-microgeneratore a biogas.

Nell'ambito delle soluzioni innovative per la climatizzazione degli edifici e per la produzione di ACS è prevista l'integrazione impiantistica di un sistema di free solar cooling ad adsorbimento (freescoo) con un sistema basato su pompa di calore acqua - acqua a recupero.

Smart Readness Indicator: per supportare il recepimento nazionale del nuovo indicatore SRI introdotto dalla Direttiva EPBD verrà completato e validato lo sviluppo di uno strumento di calcolo adattato alle peculiarità del parco edilizio e del mercato italiano.

Reti termiche a bassa temperatura: verranno implementate metodologie innovative per una gestione ottimizzata del carico elettrico delle

pompe di calore alle utenze, questo può contribuire a definire nuove ed efficienti modalità operative per la gestione di reti termiche a bassa temperatura, la cui strategia di funzionamento rappresenta un aspetto cruciale e ancora non consolidato, cui è legata anche la diffusione di tale tecnologia.

Accumulo innovativi con PCM: riguardo allo studio dei sistemi di accumulo innovativi con PCM, il principale obiettivo scientifico è quello di contribuire alla comprensione del comportamento di tali sistemi per identificare le strategie operative più efficienti, e di valutarne l'applicabilità in contesti reali, attraverso attività di simulazione, ottimizzazione, e analisi sperimentale.

Soluzioni innovative per il recupero e l'accumulo di energia e per il monitoraggio degli edifici: le tecnologie fotovoltaiche proposte per il recupero di energia luminosa indoor, oltre ad avere performance superiori in tali applicazioni rispetto al fotovoltaico basato su silicio, coinvolgono processi di fabbricazione a basso costo che si basano su tecniche di stampa e di coating in aria offrendo, dunque, una soluzione economica ed efficiente. La tecnologia termoelettrica proposta per il recupero di energia termica viene investigata attraverso due tipologie di materiali differenti (semiconduttori organici e sistemi elettrolitici non convenzionali) che offrono vantaggi in termini di costo, scalabilità e sostenibilità, rendendo competitivo l'harvesting energetico in applicazioni legate a bassi gradienti termici e larga area (come necessario nel caso di calore disperso negli edifici). Le tecnologie di recupero energetico consentono di migliorare l'efficienza delle schede utilizzate per il monitoraggio ambientale riducendo, ulteriormente, il loro consumo di energia. Attualmente, non esistono soluzioni commerciali per il monitoraggio e controllo degli ambienti di vita che gestiscono più di una sorgente di energia ambientale. Grazie all'elevata efficienza di conversione indoor osservata per il fotovoltaico emergente si prevede un funzionamento della scheda proposta prevalentemente in modalità autonoma; questa potrà integrare anche un generatore termoelettrico per aumentare l'autonomia. L'impiego di supercapacitori a 5V e di almeno un sensore a basso consumo energetico realizzati con materiali eco-sostenibili a basso impatto ambientale consentirà di ottimizzare l'energia generata e di ridurre ulteriormente il consumo energetico del sistema completo. I dispositivi emergenti fin qui descritti, verranno impiegati in un sistema integrato per il recupero e l'accumulo di energia, rendendolo unico e innovativo, in grado di offrire una soluzione efficiente ed eco-sostenibile per il monitoraggio ambientale negli edifici.

OLED semitrasparenti: l'ottenimento di OLED con prestazioni e dimensioni tali da poter essere utilizzati su finestre per l'illuminazione di interni (abitazioni, uffici, ecc.) rappresenta un'evoluzione di quanto portato avanti nel PTR19-21. Permetterebbe inoltre ad ENEA di offrire competenze innovative ad imprese italiane potenzialmente interessate a nuove soluzioni di illuminazione, settore in cui l'industria italiana è tra le prime al mondo, con soluzioni efficienti, sostenibili e significative per il sistema elettrico.

Pareti responsive alle diverse condizioni climatiche esterne ed interne abili allo stoccaggio di energia termica: a partire dal brevetto ENEA n° 865 è previsto lo sviluppo di pareti multistrato "responsive", in grado di variare le proprietà di isolamento termico (trasmissione) dell'involucro dell'edificio grazie ad un'intercapedine confinata e ventilabile. Sarà inoltre sviluppato un manufatto per lo stoccaggio di energia termica, sfruttando l'entalpia del cambiamento di fase di opportuni materiali, da accoppiare all'intercapedine per realizzare una parete prefabbricata multistrato. I manufatti saranno ottimizzati in ordine alla prefabbricazione sia delle pareti complete (in ambito residenziale e industriale) che delle singole parti. Le attività saranno condotte attraverso simulazioni numeriche per la stima dei risparmi di energia primaria e attività sperimentali su un prototipo dimostrativo (circa 20 m²).

Tamponature prefabbricate in legno con accumulo energetico integrato: le analisi svolte durante il precedente triennio di ricerca hanno evidenziato come la struttura testata fornisce buone prestazioni a livello termico, acustico ed antisismico rispetto ad un mattone da tamponatura comune. Dal punto di vista energetico è emersa invece la necessità di incrementare le prestazioni di accumulo del prototipo, con lo scopo di portare un significativo contributo all'efficienza complessiva degli edifici e ottimizzare lo stoccaggio di energia elettrica data dal surplus di produzione delle rinnovabili. Al fine di superare i limiti della tecnologia precedentemente esplorata, la nuova componente di accumulo verrà realizzata tramite l'utilizzo di innovativi condensatori a deposizione di grafene, caratterizzati da una maggior densità energetica. Infine, il passaggio dal singolo elemento costruttivo (mattone) alla prefabbricazione di un'intera parete permetterà di ridurre gli errori nella posa in opera, i tempi di costruzione, i costi e le emissioni di polvere in cantiere.

d) Eventuali collegamenti con altri progetti relativamente alle attività previste nel progetto

Di seguito l'elenco dei progetti che hanno un collegamento con le attività del progetto, suddivisi per singolo WP.

WP2:

- "Scuola delle Energie" finanziato dalla Regione Lazio e "Programma Informazione e Formazione, PIF 2021-2023" finanziato dal MiTE, entrambi per attività di informazione e formazione su Nature-based Solution (NBS), tetti e pareti verdi per l'efficienza energetica e la sostenibilità ambientale delle città.

WP3:

- Programma Proof of Concept (PoC) ENEA. Le attività del PoC hanno prodotto come risultato la fabbricazione di un primo prototipo di sensore di temperatura basato su materiali eco-sostenibili con una preliminare caratterizzazione elettrica. Il sensore presentava una risposta non lineare con un offset e una deriva in tensione del segnale elettrico. La sensibilità del dispositivo dipendeva dalla corrente di polarizzazione. Le attività del PoC sono terminate il 31 dicembre 2021 (dopo una proroga a causa dell'emergenza COVID-19).
- Il progetto OLEDWIND - "Dispositivi luminosi organici per applicazioni in finestre intelligenti per fabbricati eco-friendly" (Proof of Concept ENEA, data di conclusione 31/03/2023), in collaborazione con la società Materias S.r.l. (Napoli), prevede lo studio di particolari strutture OLED che mirano ad ottenere un'elevata trasparenza utilizzando configurazioni innovative e processi tecnologici all'avanguardia. Questo si differenzia dall'attuale proposta progettuale sullo sviluppo di OLED semitrasparenti (LA3.7-3.8) per la scelta dei

materiali utilizzati e per la trasparenza del dispositivo finale.

- Il progetto “Pannello per sistema pareti a trasmittanza termica variabile – SiPaRes” (Proof of Concept ENEA, Giugno 2021- Maggio 2022) ha avuto come obiettivo lo sviluppo dell’idea contenuta nel brevetto ENEA n° 865 (N° Brev. in Italia 10201800003193 del 01.03.2018) riguardo pareti perimetrali “responsive”, adattabili alle differenti condizioni climatiche esterne ovvero condizioni interne di uso mediante componenti in grado di variare le proprietà di isolamento termico dell’involucro dell’edificio (trasmittanza termica). Con il progetto sono stati verificati con metodi numerici differenti assetti di pannelli in ordine ai flussi, all’uso di alettature per il miglioramento dello scambio termico e l’impiego di PCM; sono stati realizzati dei pannelli prototipali installati singolarmente su una parete.

2.5 Obiettivi e risultati

a) Obiettivi finali del progetto

WP1

Il WP è focalizzato sullo studio e l’analisi di strumenti e tecnologie per la riqualificazione energetica del parco edilizio nazionale. Le attività sono state indirizzate all’approfondimento di soluzioni innovative applicabili a contesti reali, scegliendo opportuni casi studio relativi a diverse tipologie edilizie. In particolare saranno analizzati complessi di carattere storico, al fine di valutare la fattibilità tecnica ed economica di soluzioni specifiche di riqualificazione energetica, compatibili con i vincoli degli edifici in esame.

Saranno analizzati materiali innovativi per l’involucro edilizio quali rivestimenti termocromici, e radiative coolers le cui applicazioni sono attualmente solo sperimentali, nonché sistemi trasparenti dinamici presenti sul mercato, ma oggetto di studi in corso, finalizzati a ridurre le criticità legate alla durabilità ed all’economicità di tali tecnologie. Le analisi saranno integrate da simulazioni numeriche su differenti casi studio. Avendo le soluzioni individuate complessità e maturità sufficiente, è lecito attendersi diversi livelli di incremento del TRL.

Attraverso attività monitoraggio di edifici reali del terziario, sarà svolta un’analisi comparativa per valutare l’applicazione del metodo orario della UNI 52016 nella valutazione dell’IEQ (Indoor Environmental Quality) e le relative implicazioni di carattere energetico. Sarà inoltre condotta un’analisi dell’efficienza di differenti sistemi di ventilazione meccanica.

Mediante simulazioni di opportuni modelli di edifici ad uso residenziale e terziario saranno valutati i possibili risparmi energetici derivanti da interventi basati su azioni comportamentali e gestionali da parte dell’utenza. (Demand Side Management)

L’obiettivo generale del WP è di fornire, indicazioni di approccio ad ampio spettro, nonché soluzioni tecnologiche a supporto della strategia nazionale di incremento dell’efficienza energetica e decarbonizzazione del settore edifici.

WP2

L’attività sulle TVI ha, tra gli obiettivi finali, l’avanzamento scientifico finalizzato a colmare le lacune presenti in letteratura, l’extrapolazione di informazioni utili a supportare i decisori urbani per la definizione di politiche che mirino contemporaneamente alla riduzione dei consumi energetici degli edifici e alla mitigazione dell’isola di calore urbana, mediante simulazioni e analisi di un caso reale e la campagna sperimentale per valutare i benefici in termini di risparmio energetico e idrico di un prototipo di tetto blue-green.

L’attività sulle soluzioni modulari basate sull’OSC fornirà soluzioni per incrementare le prestazioni energetiche delle coperture edilizie applicabili a larga scala sul territorio italiano con modalità che semplifichino l’installazione, abbattendo i tempi di progettazione e posa in opera. Queste soluzioni, integrate con quelle “a catalogo” già definite nello scorso triennio per le pareti, daranno vita ad un “pacchetto” di soluzioni per la completa riqualificazione dell’involucro edilizio. Per rendere il pacchetto ancora più completo, sulla base dei risultati del progetto precedente, si studierà una soluzione complementare realizzabile on-site che potrà essere utilizzata in tutti quei casi “critici” in cui non sarà possibile applicare le soluzioni Off-site (porzioni di facciata troppo strette o con angoli difficili da trattare, soluzioni di attacco non gestibili con la prefabbricazione come l’attacco parete-falda o l’attacco parete-basamento, contorni di vetrate non rettilinee...)

Gli obiettivi del portale Auree.it sono l’ottimizzazione delle procedure di rilievo e preprocessing, finalizzate alla replicabilità del protocollo e del modello energetico del patrimonio edilizio residenziale; lo sviluppo di una metodologia per la valutazione del potenziale solare a scala urbana o di quartiere; lo studio di scenari di retrofitting a livello di quartiere o urbano mediante integrazione di FER; l’estensione della fruibilità del portale ad utenti non tecnici e la verifica della possibilità di utilizzo dello strumento su altri contesti e destinazioni d’uso.

WP3

Nella linea sull’impiego di tecnologie innovative per la generazione di energia elettrica proveniente dal recupero di energia luminosa e termica in ambienti interni, saranno sviluppate schede di monitoraggio, supercapacitori e sensori ecosostenibili a basso consumo energetico. I suddetti dispositivi verranno impiegati per ottenere un dimostratore energeticamente autonomo ed efficiente, realizzato con bassi costi di produzione, unico e innovativo, in grado di offrire una soluzione efficiente ed eco-sostenibile in grado di monitorare il livello di comfort all’interno degli edifici.

Saranno realizzati dispositivi elettroluminescenti OLED, a basso consumo, semitrasparenti, eventualmente anche preparati impiegando nuovi materiali bio-ispirati e biocompatibili, e loro utilizzo in modelli in scala laboratorio di finestre intelligenti potenzialmente impiegabili in edifici ad elevata autosufficienza energetica.

Si svilupperanno componenti innovativi per la realizzazione di pareti perimetrali responsive, in grado di migliorare le prestazioni energetiche di fabbricati di uso residenziale, terziario e industriale. Le caratteristiche principali riguardano: la trasmittanza della parete, variabile in funzione delle condizioni interne ed esterne; l’accumulo di energia termica, attraverso materiali a cambiamento di fase (PCM) in grado dinamicamente di accumulare e scaricare energia termica secondo opportune strategie di controllo. L’integrazione dei suddetti

componenti permetterà una loro facile implementazione nella realizzazione di pareti multistrato in opera ovvero mediante prefabbricazione di sotto-componenti o pareti intere prefabbricate. La realizzazione di un prototipo dimostrativo avrà un impatto significativo per l'introduzione delle suddette tecnologie nei mercati di riferimento (termotecnico ed edilizio).

Sarà realizzato un prototipo di una parete in legno prefabbricata in grado di integrare al suo interno una tecnologia innovativa di accumulo elettrico efficiente, sicura e a basso impatto ambientale, che garantisca inoltre buone prestazioni sismiche e di isolamento termico ed acustico. Questo tipo di soluzione potrà essere facilmente installabile sia in nuove costruzioni che in occasione di interventi di riqualificazione di edifici esistenti e dovrà essere in grado di fornire un incremento delle prestazioni energetiche ed ambientali ad un costo contenuto. Si prevede che la diffusione a larga scala di questa tecnologia possa contribuire alla transizione verso un modello di accumulo elettrico distribuito a scala di rete, razionalizzando l'uso dell'energia elettrica prodotta da fonti alternative e ottimizzando i carichi sulla rete elettrica nazionale e il suo bilanciamento.

L'attività sul TLR attivo avrà l'obiettivo di definire sotto quali condizioni la tecnologia legata al porta effettivi benefici su una rete, e di conseguenza nell'elaborazione di scenari verosimili di integrazione. In particolare: i modelli di rete per la simulazione dinamica permetteranno di evidenziare i vantaggi di un utilizzo in chiave predittiva degli stessi, attestandosi come strumento a servizio dei gestori di rete; le attività sperimentali sulla sottostazione esistente permetteranno di testare opportune strategie per l'estensione della quota di autoconsumo; la realizzazione di un nuovo prototipo di sottostazione di scambio termico bidirezionale con dettaglio pre-commerciale e la successiva installazione permetterà, attraverso la collaborazione con il gestore di rete ed eventualmente con altri operatori del settore, di analizzare alcune delle barriere e delle opportunità legate allo scambio sul posto termico e all'eventuale accesso di terzi alle reti.

WP4

Il progetto di ricerca si propone di studiare soluzioni innovative che possano favorire il sector-coupling, cioè l'utilizzo negli schemi AUC e CER di energia rinnovabile elettrica in eccesso per utilizzi termici. In particolare verranno ampliate le configurazioni del dimostratore sperimentale SAPIENTE perfezionando le logiche del tipo power to heat applicate a nuove architetture ibride caratterizzate da più sorgenti rinnovabili e sistemi di accumulo (es, solare fototermico e/o micro eolico, sistema di accumulo termico e a supercondensatori). Il progetto prevede inoltre di analizzare, con specifici modelli e con soluzioni hardware in the loop, l'integrazione di S.A.P.I.EN.T.E. con la sottostazione termica bidirezionale, realizzata nel precedente triennio, per connettere il condominio alla rete di teleriscaldamento secondo una configurazione di comunità energetica termica. Verranno studiati sistemi di accumulo power-to-heat-to-power, o Carnot Batteries che consentono la riconversione del calore in energia elettrica con un ciclo del tipo ORC (Organic Rankine Cycle). Verrà sviluppato e provato presso SAPIENTE un prototipo (box) per facilitare la gestione attiva dei carichi e dei sistemi di generazione locali da parte degli utenti di una configurazione AUC e micocomunità energetiche applicando logiche del tipo Demand response. Verrà completato lo sviluppo della piattaforma web based applicata ai condomini con contabilizzazione individuale del calore per migliorare la consapevolezza degli utenti sui propri consumi energetici e su come agire per ridurre gli stessi. In particolare si prevede di integrare una nuova sezione applicabile alle configurazioni AUC e trasferire le informazioni della piattaforma in una APP per facilitare e stimolare il coinvolgimento attivo degli utenti coinvolti nei casi studio. Verrà completato il foglio di calcolo dello SRI (Smart Readiness Indicator) adattato al contesto nazionale e verranno valutate le correlazioni con il livello di efficienza energetica degli edifici. Nell'ambito dell'efficientamento delle isole minori, per il cogeneratore a biogas di piccola taglia realizzato nel precedente triennio, verrà progettato e provato uno scrubber sperimentale per migliorare la qualità di biogas e la produzione di ACS. Inoltre verrà analizzato in simulazione e sperimentalmente l'incremento di efficienza della tecnologia ad adsorbimento Freesco (FRE Soalr COOLing) ottenibile dall'integrazione con tecnologia a pompa di calore acqua-acqua a recupero termico.

WP5

Il WP5 prevede lo sviluppo, simulazione numerica, e implementazione sperimentale di metodologie innovative di Demand Response per reti di teleriscaldamento/teleraffrescamento a bassa temperatura con pompe di calore elettriche "booster" alle utenze, che possano essere di ausilio per il gestore della rete elettrica nel controllo del carico e il bilanciamento della produzione elettrica da rinnovabili. Sarà effettuata un'analisi LCA e stima dei costi per diversi casi studio relativi a reti termiche a bassa temperatura e uno studio di un sistema di refrigerazione innovativo con PCM integrato che sarà testato sperimentalmente in un ambiente industrialmente rilevante.

b) Principali risultati attesi/deliverable

I principali risultati attesi dal progetto sono elencati di seguito per ciascun WP.

WP1

- analisi di consumi energetici e individuazione interventi a basso impatto economico, basati su misure DSM in edifici residenziali
- analisi di consumi energetici interventi a basso impatto economico, basati su misure DSM in edifici del terziario
- analisi sulle condizioni operative e la regolazione di impianti termici a pompa di calore in edifici residenziali finalizzate alla riduzione dei consumi di gas metano;
- sviluppo di un applicativo web per la gestione ottimale di una pompa di calore
- analisi energetiche di complessi e/o siti di carattere storico/vincolato: caratterizzazione degli edifici e del sito oggetto di studio, includendo, in alcuni casi e in zone climatiche diverse, interventi di riqualificazione e utilizzo di fonti rinnovabili su singoli edifici o a livello di distretto
- Studio del thermal comfort e della qualità dell'aria indoor in edifici del terziario: analisi comparativa mediante simulazioni con metodo

orario, valutazione di interventi migliorativi e implicazioni di carattere energetico, monitoraggio di un edificio reale e analisi delle misure sperimentali

- Analisi teorica e sperimentale dell'efficienza di differenti sistemi di ventilazione meccanica su edifici del terziario ad elevato affollamento
- Studi di differenti materiali innovativi per l'involucro edilizio; caratterizzazione preliminare in laboratorio di alcuni materiali e componenti; analisi preliminare in campo e analisi numeriche sull'impatto di tali sistemi sulle prestazioni energetiche degli edifici, schede informative; sviluppo del modello con relativa interfaccia per la gestione di prove sperimentali su component dinamici, loro impatto sulle prestazioni energetiche degli edifici in regime dinamico

WP2

- stima, mediante modelli di simulazione energetica, degli effetti dell'applicazione di scenari di mitigazione basati sulle TVI, sui consumi di energia negli edifici e in termini di mitigazione dell'UHI e stima del loro potenziale di applicazione;
- realizzazione di un prototipo di tetto blue-green presso il C.R. ENEA Casaccia (Roma) e valutazione dei benefici microclimatici, energetici ed idraulici
- confronto del potenziale di risparmio energetico conseguibile con il prototipo di tetto blue-green, il tetto verde estensivo ENEA e un tetto convenzionale non vegetato.
- Valutazione dell'effetto di raffreddamento dei tetti verdi urbani per il caso studio della città di Bolzano
- sviluppo di un modello matematico per la simulazione dei green wall e l'implementazione del modello in un software di simulazione energetica dinamico
- realizzazione di un catalogo di soluzioni ottimizzate modulari basate sull'OSC
- ampliamento della matrice dinamica che consenta di valutare la/le soluzioni più efficaci per lo specifico caso.
- creazione di schede prodotto che potranno facilitare l'accesso a detrazioni fiscali quali, ad esempio, Bonus casa, Sisma Bonus, Ecobonus, etc.
- messa a punto del sistema integrato On-Site ottimale per le soluzioni OSC individuate
- ampliamento della mappatura energetica del patrimonio edilizio della città di Carbonia.
- scenari di retrofitting a livello di quartiere o urbano mediante integrazione di FER.
- portale informativo per utenti di vario livello arricchito di nuovi contenuti.
- valutazione della possibilità di utilizzo del portale come strumento di coinvolgimento degli stakeholders per la costituzione di CER.

WP3

- Analisi e valutazione dell'utilizzo di tecnologie innovative per la generazione di energia elettrica proveniente dal recupero di energia luminosa e termica in ambienti interni nell'ambito dei sensori autonomi.
- Prototipo di sensore autonomo a basso consumo eco-sostenibile per il monitoraggio ambientale (ad esempio temperatura, umidità, ossigeno, CO2 ed alcol): definizione del layout dei dispositivi, fabbricazione di strutture di test.
- Prototipo di accumulo eco-sostenibile ad alte prestazioni in termini energetici: ottimizzazione delle proprietà del gel polimerico e del layout di interconnessione, fabbricazione di dispositivi.
- Integrazione delle varie componenti in un sistema per il recupero e l'accumulo di energia e per il monitoraggio degli edifici, che integri la scheda ibrida, un supercapacitore eco-sostenibile, almeno una delle tecnologie di harvesting e almeno una tipologia di sensore a basso consumo eco-sostenibile: caratterizzazione del sistema prodotto.
- Confronto tra le prestazioni del sistema integrato e quelle di soluzioni che comprendano eventuali dispositivi commerciali disponibili.
- Celle Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) e Perovskite Solar Cell (PSC) per illuminazione indoor con efficienze > 25% e analisi della stabilità.
- Identificazione della relazione tra caratteristiche spettrali dell'illuminatore e il gap dell'assorbitore, e dei limiti di efficienza per illuminazione indoor per PSC e DSSC.
- Definizione di un processo di scaling per moduli DSSC e PSC per applicazioni indoor
- Moduli fotovoltaici DSSC e PSC per l'integrazione in un sistema per il recupero e l'accumulo di energia e per il monitoraggio degli edifici.
- Dispositivi termoelettrici (TEG) basati su composito polimero/filler e dispositivi termoelettrolitici (TEGG) basati su sistema redox, ambedue ottimizzati in termini di coefficiente di Seebeck, conducibilità elettrica e power factor.
- Prototipi finali di modulo TEG e TEGG con performances ottimali ed eventuale integrazione dei prototipi nel sistema per il recupero e l'accumulo di energia e per il monitoraggio degli edifici.
- Campioni di materiali in forma di polvere basati su: polimeri con proprietà ottimali per dispositivi TEG; sistemi redox alternativi (Deep Eutectic Solvent) con proprietà ottimali per dispositivi TEGG.
- Prototipi di evaluation board ibrida, configurazione e software utilizzati per il sistema di raccolta dati.
- OLED, di area emissiva superiore a 20 cm², con emissione di luce bianca e/o di vari colori, con elevate prestazioni elettroottiche, semitrasparenti.
- OLED interconnessi, sperimentati mediante un simulatore di finestra in scala laboratorio.
- Studio numerico e metodi di ottimizzazione dell'applicazione di involucri opachi responsivi a trasmittanza termica variabile e accumulo termico, in ordine alla riduzione di fabbisogni termici di riscaldamento e raffreddamento degli edifici.

- Studio numerico e progetto di pannello per pareti perimetrali dotati di accumulo termico (freddo e caldo) basato su materiali a cambiamento di fase.
- Prototipi di pareti responsive e test rig sperimentale, dotato di sistemi di misura e monitoraggio, con la verifica del funzionamento dell'involucro a trasmittanza termica variabile delle pareti in assetto e delle pareti con accumulo integrato.
- Definizione delle tecnologie di costruzione al fine di integrare i sistemi di accumulo elettrico con gli elementi prefabbricati in legno.
- Caratterizzazione in laboratorio mediante prove di prestazione energetica, acustica, meccanica, compatibilità elettromagnetica, sicurezza elettrica e invecchiamento elettrico.
- Analisi dei materiali/tecnologie più adatti ad integrare i sistemi di accumulo elettrico con gli elementi prefabbricati in legno.
- Definizione delle caratteristiche progettuali, realizzazione dei prototipi e caratterizzazione delle prestazioni dal punto di vista energetico, acustico, sismico ed elettromagnetico.
- Modello dinamico ottimizzato di una sottostazione di scambio termico bidirezionale per il TLR attivo, settato come componente in linguaggio Modelica, integrazione di utenze attive in un modello di rete, valutazione di questi strumenti in chiave predittiva a servizio del gestore di rete.
- Sviluppo, implementazione e sperimentazione sul prototipo di sottostazione di scambio termico bidirezionale esistente di opportune strategie per l'estensione e l'ottimizzazione della quota di autoconsumo.
- Progettazione di una sottostazione di scambio termico bidirezionale pre-commerciale, realizzazione ed installazione presso un'utenza su una rete esistente.
- Analisi di reti complesse per la produzione, trasporto e impiego dell'energia elettrica, termica e frigorifera, anche integrate con una rete di produzione, trasporto e conversione di idrogeno, e sviluppo di un modello di calcolo.

WP4

- Completamento della test facility sperimentale S.A.P.I.EN.T.E. per provare in condizioni reali di esercizio diverse soluzioni impiantistiche ibride e diverse logiche di controllo per le configurazioni AUC;
- Software di calcolo per analisi tecnico-economica di soluzioni per lo scambio sul posto termico realizzato con sistemi ibridi tipo SAPINETE connessi alle reti di TLR con sottostazione attive di tipo bidirezionale;
- Prototipo del tipo box plug and play con interfaccia utente semplificata, per facilitare la gestione delle utenze domestiche e dei diversi dispositivi commerciali di generazione e accumulo delle configurazioni AUC e CER;
- Piattaforma web e APP sviluppate per condomini con contabilizzazione individuale del calore e per condomini in configurazione AUC per migliorare la consapevolezza degli utenti sui propri consumi energetici e facilitare la partecipazione attiva nelle comunità energetica
- Metodologie innovative di engagement per migliorare la partecipazione attiva degli utenti nell'utilizzo della piattaforma e dell'APP sopra descritte;
- Foglio di calcolo per la valutazione dello Samrt Readiness Indicator degli edifici ottimizzato per l'applicazione nel contesto nazionale
- Programma di calcolo per l'analisi tecnico economica dei sistemi di contabilizzazione individuale secondo la norma tecnica UNI/TS 11819:2021.
- metodologie di ripartizione dei ricavi per varie possibili configurazioni di CER con l'obiettivo di facilitare la redazione dello statuto che regola la partecipazione degli utenti alla comunità energetica stessa.
- Metodologia per l'analisi multicriterio di una generica iniziativa di Comunità Energetica Rinnovabile basata su indicatori di prestazione energetica, ambientale e sociale
- Metodologia per verificare eventuali aumenti di consumo immotivati tra gli utenti di una comunità energetica (rebound effect)
- Metodologia per la costruzione e validazione di un indicatore di povertà energetica per le attività di supporto alle politiche pubbliche
- prototipo sperimentale costituito da cogeneratore a biogas di piccola taglia per la produzione di ACS nelle isole minori;
- Prove sperimentali con i sistemi ibridi installati presso laboratorio di Lampedusa e Casaccia per provare soluzioni innovative per la produzione di ACS nelle isole minori
- Soluzione sperimentale power line per il controllo ottimizzato remoto degli scaldacqua elettrici e pompe di calore distribuite nelle reti elettriche delle isole minori

WP5

- Realizzazione di un modello dinamico di rete di teleriscaldamento/teleraffrescamento a bassa temperatura con pompe di calore elettriche presso gli utenti finali per l'applicazione di metodologie di demand response, e del relativo tool software di implementazione che sarà anche validato;
- Individuazione di metodologie innovative ed efficaci per il demand response con reti termiche a bassa temperatura;
- Realizzazione e analisi sperimentale di un refrigeratore con PCM integrato in ambiente (industrialmente) rilevante;
- Progettazione, realizzazione, e analisi numerica e sperimentale di tre serbatoi con PCM a cascata per l'accumulo del freddo;
- Realizzazione e implementazione in laboratorio di un dimostratore di sistema di accumulo con PCM dinamici.

2.6 Fattibilità tecnico-scientifica

a) Fattibilità tecnico-scientifica

Gli obiettivi della proposta progettuale sono stati definiti in coerenza con il contesto normativo definito dalle più recenti direttive europee sulla prestazione energetica in edilizia (2018/844/UE), sull'efficienza energetica (2018/2002/UE) e sulle fonti rinnovabili (2018/2001/UE) e relativi recepimenti, oltre ad essere allineate agli indirizzi inclusi nello Strategic Energy Technology PLAN (Working Group 5 on Energy Efficiency Solutions for Buildings), in Horizon Europe (Cluster 5 Climate, Energy and Mobility), nel Piano Nazionale Integrato per l'energia e il Clima e nel più recente Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza.

Gli obiettivi nazionali di efficientamento energetico assegnano al il settore civile (residenziale e terziario) il ruolo maggiormente significativo in termini di risultati assoluti da raggiungere. In particolare, è prevista una riduzione delle emissioni di circa 35 MtCO₂eq associata all'efficientamento degli edifici esistenti, rafforzata da una maggiore diffusione di interventi di riqualificazione profonda e dall'applicazione di tecnologie particolarmente performanti.

Sulla base di tali obiettivi e per il raggiungimento delle quote di energia rinnovabile nei settori elettrico e termico, si rende necessario intervenire combinando misure per l'efficienza energetica e l'impiego di FER, così da incrementare la sostenibilità ambientale del sistema energetico, attraverso principalmente la diversificazione delle fonti, la gestione più efficiente della domanda, maggiore flessibilità e adeguatezza delle reti energetiche.

In questo contesto risultano significative le prospettive di sviluppo a livello nazionale ed internazionale. L'applicazione di soluzioni innovative per l'involucro edilizio e gli impianti, la crescente integrazione di energie rinnovabili, l'utilizzo di strumenti, metodologie di calcolo e indicatori più accurati per l'analisi del fabbisogno energetico e delle prestazioni energetiche e non, la diffusione di sistemi orientati ad un maggiore autoconsumo rappresentano infatti tematiche con ampi margini di approfondimenti. Si fa in particolare riferimento agli edifici ad elevate prestazioni e all'interazione degli stessi nel contesto urbano, alla valutazione delle relazioni tra il sistema edificio-impianto e il benessere dei suoi occupanti, allo studio di soluzioni e configurazioni impiantistiche che massimizzino la generazione da fonte rinnovabile e ottimizzino la gestione dei flussi energetici scambiati con le utenze. Ciò consentirà una riduzione dei consumi e un'ottimizzazione del sistema energetico, con particolare riferimento al vettore elettrico e ai conseguenti benefici per il sistema elettrico nazionale.

Il progetto comprende 78 linee di attività realizzate da ENEA insieme a 33 diversi gruppi di ricerca provenienti da università sparse su tutto il territorio nazionale. L'elevato numero di cobeneficiari, scelti in base all'esperienza posseduta nei vari settori d'interesse, consente di ampliare la proposta progettuale e di approfondire in dettaglio la tematica relativa all'efficientamento degli edifici.

Ciò fornisce ampie garanzie sui risultati finali del progetto e sulla capacità e competenza necessarie a gestire i potenziali rischi che potrebbero presentarsi nello svolgimento del progetto. Di contro, l'elevato numero di linee di attività e soggetti coinvolti rivela una complessità gestionale dell'intero progetto che sarà affrontata con una struttura organizzativa interna pensata per monitorare con attenzione lo stato di avanzamento delle diverse attività (spesso interconnesse fra loro) e gestire adeguatamente i necessari flussi di informazione tra le diverse LA.

In particolare, oltre al Responsabile Scientifico di Progetto, che pianificherà e sovrintenderà nel suo insieme le fasi di avvio, esecuzione e chiusura, sono stati individuati i Responsabili Scientifici dei singoli WP (ing. Domenico Iatauro per il WP1, ing. Giovanni Puglisi per il WP2, ing. Paolo Sdringola per il WP3, ing. Biagio Di Pietra per il WP4, ing. Luigi Mongibello per il WP5) che lo affiancheranno particolarmente per la pianificazione e il monitoraggio di tutte le attività dei propri WP (incluse le attività di disseminazione e di gestione degli stakeholder), condotte da ENEA e dai cobeneficiari. Inoltre, ENEA ha anche definito dei Referenti degli Accordi di Collaborazione che si occuperanno invece di monitorare più nel dettaglio le attività dei gruppi di ricerca universitari coinvolti.

Le principali milestone sono definite da quanto riportato nella lista dei principali risultati attesi/deliverable e da quanto di seguito riportato per singolo WP.

WP1

Gli strumenti e le tecnologie analizzate nelle varie linee di ricerca sono finalizzati al raggiungimento dei più alti standard in termini di efficienza energetica per gli edifici del parco nazionale, prendendo in esame sia interventi a basso impatto economico (Demand side management) sia ipotesi di installazione nuove tecnologie per l'involucro e/o gli impianti. Le ipotesi di applicazione su casi reali sono state condotte mediante metodi di simulazione di tipo orario o dinamico, per ottenere maggior accuratezza nelle valutazioni energetiche.

Le milestones principali del WP.1 sono:

- Analisi dei consumi di gas e di energia elettrica disaggregati per zone climatiche e settore
- Stima dei risparmi potenziali di gas, derivanti da interventi di carattere gestionale e comportamentale in ambito residenziale e terziario
- Sviluppo di un applicativo web per il calcolo della temperatura massima di mandata di impianti a PdC in funzione delle caratteristiche dell'involucro edilizio
- Caratterizzazione termofisica di edifici reali a carattere storico
- Analisi delle prestazioni energetiche dei casi studio esaminati
- Simulazioni di possibili interventi di riqualificazione energetica su edifici storico/vincolati
- Caratterizzazione sperimentali di materiali innovativi per l'involucro edilizio
- Calcolo delle proprietà solari e termiche di sistemi trasparenti complessi che inglobino film sottili trasparenti mobili.
- Simulazioni numeriche dei materiali analizzati su case study di edifici con differenti caratteristiche
- Analisi delle misure derivanti dal monitoraggio indoor di un edificio reale ad uso ufficio e valutazioni dell'Indoor Environmental Quality mediante opportuni indicatori

- Analisi comparativa tra misure sperimentali di IEQ e simulazioni numeriche
- Studio di possibili interventi migliorativi in ottica IEQ e implicazioni di carattere energetico.
- Analisi dell'efficienza di differenti configurazioni di sistemi di ventilazione meccanica (VMC)

WP2

Per le linee d'attività sulle TVI le principali milestones sono:

- aggiornamento della revisione di letteratura internazionale relativa alle TVI in relazione alla mitigazione dell'UHI ed alla variazione del consumo energetico negli edifici;
- individuazione, raccolta dati e sviluppo di modelli urbani per la simulazione dell'applicazione di TVI;
- implementazione degli scenari di applicazione delle TVI ai modelli urbani sviluppati;
- stima degli effetti dell'installazione delle TVI sulla mitigazione dell'UHI e sull'uso di energia negli edifici mediante simulazioni con software energetico dinamico e microclimatico;
- definizione dei requisiti e dei parametri tecnici del prototipo di tetto blue-green;
- definizione del protocollo di ricerca per la valutazione degli effetti di raffrescamento estivo passivo da parte della copertura vegetale e del monitoraggio dei flussi idrici (acqua input e acqua output);
- determinazione dell'edificio per l'installazione del prototipo di blue-green roof e asseverazione tecnica della struttura del lastrico solare;
- verifica funzionalità della sensoristica per il monitoraggio;
- verifica della performance d'inverdimento della copertura vegetale.
- stima degli effetti dell'installazione delle TVI sulla mitigazione dell'UHI per la città di Bolzano mediante telerilevamento & GIS, avvalendosi della notevole presenza di tetti verdi pubblici e privati.
- stima delle performance energetiche degli edifici con e senza TVI per la città di Bolzano.
- analisi della letteratura sulla modellazione matematica delle pareti verdi;
- definizione dei modelli matematici per la simulazione dinamica delle pareti verdi;
- implementazione dei modelli nell'ambiente di EnergyPlus;
- validazione dei modelli sviluppati.

Per le attività sull'OSC:

- sperimentazione sul caso reale per valutare l'efficacia in termini di prestazione termica attraverso la trasmittanza termica in opera con strumenti di misura adeguati (termoflussimetri) per un periodo opportuno così come previsto dalle norme;
- screening delle differenti tipologie di coperture esistenti sul territorio e definizione di una rosa di tipologie costruttive rappresentanti tutto il territorio italiano (verifica di tipologia costruttiva, zona climatica e anno di costruzione).
- analisi tecnica per la definizione delle prestazioni delle soluzioni individuate per la scelta delle soluzioni standardizzate per coperture (catalogo coperture)
- analisi tecnico-economica e ottimizzazione progettuale delle soluzioni scelte che integreranno la Matrice Dinamica.
- studio numerico con analisi agli elementi finiti per il dimensionamento del pacchetto complementare delle soluzioni On-Site.
- Progettazione e realizzazione del prototipo del sistema in scala reale, validato mediante test in laboratorio.

Per l'attività relativa al portale Auree.it:

- Ampliamento della mappatura energetica del patrimonio edilizio della città di Carbonia.
- Scenari di retrofitting a livello di quartiere o urbano mediante integrazione di FER.
- Portale informativo per utenti di vario livello arricchito di nuovi contenuti.
- Valutazione della possibilità di utilizzo del portale come strumento di coinvolgimento degli stakeholders per la costituzione di CER.

WP3

Le attività prevedono l'integrazione di singole tecnologie (già validate singolarmente) in un sistema per il recupero e l'accumulo di energia e per il monitoraggio degli edifici. I punti critici sono principalmente connessi all'integrazione dei dispositivi all'interno del sistema, al testing e alla validazione in condizioni operative. Nel caso di prestazioni non idonee saranno introdotte possibili soluzioni di natura tecnologia, fino ad arrivare alla possibile sostituzione – all'interno del sistema – delle tecnologie emergenti per il recupero e l'accumulo di energia con dispositivi commerciali, salvaguardando l'obiettivo di integrazione.

In riferimento alla tecnologia OLED, per rendere sufficientemente trasparenti i suoi elettrodi (e conseguentemente l'OLED stesso) verranno provati ossidi conduttivi, metalli sottili, e materiali organici conduttori, nel caso anche in combinazione tra loro, depositati con varie tecniche (sputtering, evaporazione termica e spin-coating da soluzione); per incrementare l'area di emissione saranno adeguati i layout dei dispositivi. Nel Laboratorio NANO di ENEA sono disponibili e sperimentati, tra gli altri, tutti i processi citati per la deposizione dei materiali che costituiscono gli OLED; inoltre, sono disponibili sia i software per il disegno dei layout aggiornati, sia i sistemi per la preparazione delle maschere, fotolitografie e da evaporazione, necessarie per preparare tali layout. Unico limite dei sistemi di processo installati presso il Lab. NANO è la dimensione massima dei campioni utilizzabili (100 mm X 100 mm).

A partire da un brevetto ENEA è previsto lo sviluppo di pareti "responsive", in grado di variare le proprietà di isolamento termico dell'involucro dell'edificio. Il componente realizza un'intercapedine confinata e ventilabile, in grado di ottenere una trasmittanza termica variabile; la ventilazione naturale o forzata è infatti controllabile dalla differenza di temperatura tra aria esterna e interna per mezzo di sonde di temperature ovvero di sonde di flusso termico e regolatori. Sarà inoltre sviluppato un manufatto per lo stoccaggio di energia

termica, sfruttando l'entalpia del cambiamento di fase di opportuni materiali, da accoppiare all'intercapedine per realizzare una parete prefabbricata multistrato, caratterizzata da alta efficienza energetica e bassi costi di posa. L'accoppiamento sarà modellato e testato attraverso attività sperimentali su un prototipo dimostrativo.

Lo studio e lo sviluppo di tamponature prefabbricate in legno con accumulo energetico integrato si articola in tre fasi consecutive che consentono di controllare la corretta attuazione delle attività: analisi delle tecnologie disponibili, definizione di specifiche tecniche, ricerca di fornitori e materiali; analisi numeriche, realizzazione dei singoli componenti e assemblaggio per la costruzione di prototipi di pareti ad accumulo; esecuzione delle prove sperimentali necessarie alla caratterizzazione dal punto di vista energetico, acustico, sismico, elettromagnetico, di sicurezza elettrica e di invecchiamento.

In relazione al teleriscaldamento attivo, l'attività di simulazione per l'ottimizzazione di un modello di sottostazione di scambio bidirezionale, e successiva integrazione in una rete, sarà condotta attraverso un software per la simulazione multi-dominio di sistemi dinamici basato sul linguaggio open source Modelica, le cui potenzialità applicative sono state già testate nel PTR precedente. La sperimentazione sul prototipo di sottostazione esistente delle strategie per l'estensione e l'ottimizzazione della quota di autoconsumo sarà condotta nella medesima test facility in cui sono state già condotte altre campagne prova, nella quale era stato testato con successo l'accoppiamento con i sistemi di monitoraggio e controllo. Le suddette attività saranno portate avanti parallelamente, insieme al networking con operatori del settore per identificare possibili casi studio in cui finalizzare la progettazione di un nuovo prototipo di sottostazione e la successiva installazione.

Le principali milestone del Work Package 3 sono:

- Dispositivi di harvesting, accumulo, schede e sensori funzionanti secondo parametri specificati.
- Test e validazione dei singoli dispositivi, integrazione e prove con il sistema completo per il recupero e l'accumulo di energia e per il monitoraggio degli edifici.
- Processi ottimizzati per la deposizione dei materiali che costituiscono gli OLED.
- Layout dei campioni OLED assestati e maschere preparate.
- Prototipo di pareti responsive a trasmittanza termica variabile e dotate di accumulo termico basato su materiali a cambiamento di fase, caratterizzazione e sperimentazione.
- Definizione delle caratteristiche dei prototipi di tamponature in legno con accumulo energetico integrato, realizzazione e caratterizzazione.
- Modello ottimizzato di sottostazione di scambio termico bidirezionale.
- Progettazione di una sottostazione di scambio termico bidirezionale pre-commerciale, realizzazione ed installazione presso un'utenza su una rete esistente.

WP4

- progettazione degli interventi per ampliare la test facility SAPIENTE;
- realizzazione degli interventi progettati che prevedono il completamento dell'integrazione degli accumuli per la gestione power to heat e la realizzazione di un sistema sinottico del dimostratore.
- progettazione del prototipo di una box plug and play per facilitare l'applicazione delle logiche Demand Response agli utenti di una CER;
- test della box con il dimostratore SAPIENTE
- estensione delle funzionalità della piattaforma web per l'uso efficiente e consapevole dell'energia nei condomini con i) implementazione dei miglioramenti suggeriti dagli utenti, ii) definizione di nuovi indicatori di feedback per utenti di condomini AUC, iii) definizione di algoritmi per gli alert associati ai consumi anomali.
- Implementazione della nuova APP che faciliterà l'interazione con gli indicatori energetici.
- progettazione e installazione di un sistema di acquisizione e controllo per monitorare le prestazioni del microgeneratore a biogas per utenti isolani
- progettazione e installazione di un prototipo di scrubber e di un sistema di recupero del calore per migliorare le prestazioni energetiche del dimostratore
- integrazione nell'impianto Freesco di Lampedusa di un condensatore di una pompa di calore acqua-acqua
- test di misura delle prestazioni del sistema freesco della mediateca di Pantelleria dopo gli interventi di efficientamento della struttura effettuati dal Comune
- ingegnerizzazione del sistema di controllo e installazione di un accumulo inerziale nell'impianto di Poligenerazione installato presso l'Università di Bari e campagne sperimentali.

WP5

- realizzazione di test sperimentali sulle reti termiche a bassa temperatura atti a validare le metodologie e le tecnologie proposte
- realizzazione di test sperimentali sull'accumulo con PCM atti a validare le metodologie e le tecnologie proposte
- perfezionamento dei modelli di simulazione dei componenti principali delle reti termiche, come ad esempio gli scambiatori di calore, le pompe di calore condensate ad acqua, e i sistemi di accumulo impiegando tutte le infrastrutture di ricerca disponibili presso il laboratorio LPSAT del C.R. ENEA Portici, ovvero la rete termica a bassa temperatura, gli impianti per lo studio dell'accumulo energetico, e la strumentazione per la caratterizzazione termo-fisica dei materiali.

2.7 Impatto sul sistema energetico e benefici attesi

a) Impatto e benefici sul sistema energetico

Il PNIEC, in riferimento all'obiettivo di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra al 2030 di almeno il 40% a livello europeo e dei consumi di energia primaria del 43% a livello nazionale, identifica il settore civile (residenziale e terziario) tra quelli maggiormente significativi. In particolare, è prevista una riduzione delle emissioni di circa 35 MtCO₂eq associata all'efficientamento degli edifici esistenti, rafforzata da una maggiore diffusione di interventi di riqualificazione profonda e dall'applicazione di tecnologie particolarmente performanti. Ciò si riflette in una riduzione dei consumi di energia finale da politiche attive prevalentemente nei settori non ETS pari a 9,3 Mtep/anno al 2030, in cui il settore residenziale contribuisce per 3,3 Mtep.

In questo contesto, l'applicazione di soluzioni innovative per l'involucro edilizio e gli impianti, la crescente integrazione di energie rinnovabili, l'utilizzo di strumenti, metodologie di calcolo e indicatori più accurati per l'analisi del fabbisogno energetico e delle prestazioni energetiche e non, la diffusione di sistemi orientati ad un maggiore autoconsumo rappresentano tematiche che possono contribuire significativamente al raggiungimento degli obiettivi su riportati. Si fa in particolare riferimento agli edifici ad elevate prestazioni e all'interazione degli stessi nel contesto urbano, alla valutazione delle relazioni tra il sistema edificio-impianto e il benessere dei suoi occupanti, allo studio di soluzioni e configurazioni impiantistiche che massimizzino la generazione da fonte rinnovabile e ottimizzino la gestione dei flussi energetici scambiati con le utenze. Ciò consentirà una riduzione dei consumi e un'ottimizzazione del sistema energetico, con particolare riferimento al vettore elettrico e ai conseguenti benefici per il sistema elettrico nazionale.

Le differenti soluzioni applicative analizzate su edifici reali potranno fornire importanti indicazioni in merito alla fattibilità tecnica e la replicabilità degli interventi proposti a supporto delle strategie nazionali di riqualificazione del parco immobiliare. Alcune delle tecnologie e delle soluzioni identificate sono oggetto di studio a livello nazionale e, soprattutto, internazionale. Numerosi studi teorici sono stati condotti su materiali altamente innovativi, come i rivestimenti termocromici e radiative coolers; allo stato attuale, tuttavia, le applicazioni sono solo sperimentali. Sistemi trasparenti dinamici sono presenti sul mercato, ma numerosi studi sono in corso per ridurre criticità legate alla durabilità e economicità delle tecnologie.

Sui consumi energetici del settore residenziale pesa moltissimo la vetustà del parco edilizio esistente; è prassi consolidata che i consumi termici per la climatizzazione invernale possano essere ridotti attraverso soluzioni di cappottatura termica e di isolamento delle coperture. Le soluzioni proposte basate sull'Off-Site Construction seguono il medesimo principio con l'enorme vantaggio di standardizzare delle soluzioni efficienti, vantaggiose sia dal punto di vista termico, sia dei costi di produzione. Questa categoria di prodotti può, inoltre, favorire la concorrenza nel mondo delle costruzioni, consentendo agli edifici di raggiungere standard energetici e funzionali sempre più elevati: fattore molto importante anche in vista della imminente review dell'EPBD. Dato di rilievo è che, agendo sugli strati più esterni dell'involucro edilizio, i sistemi sviluppati possono essere utilizzati con proficuità sia nei nuovi edifici sia nel caso di ristrutturazioni, leggere e pesanti. Il progetto si pone l'obiettivo di dimostrare anche le ricadute ambientali derivanti dall'applicazione della tecnologia in esame in termini di emissioni ed energia primaria, indotte dalla riduzione dei fabbisogni di climatizzazione.

L'ottimizzazione delle configurazioni delle TVI selezionate servirà al fine di massimizzare i benefici energetici e microclimatici legati alla loro applicazione. La diminuzione nell'uso di energia per la climatizzazione corrisponde ad una diminuzione dei costi ad essa relativi, ad un aumento della sicurezza energetica e ad una diminuzione dell'emissione di gas clima alteranti; mentre, la mitigazione dell'UHI corrisponde a un miglioramento delle condizioni di vita all'interno delle città, a una diminuzione della mortalità per temperature eccessive in estate e a una diminuzione delle patologie cardiorespiratorie connesse alle alte temperature urbane estive.

Inoltre, per effetto dei cambiamenti climatici, le precipitazioni si concentrano in eventi sempre più frequenti e di maggiore durata e intensità, mettendo a dura prova i sistemi urbani, di per sé già molto fragili. La scarsa permeabilità delle superfici è uno degli aspetti che più influiscono sul drenaggio delle acque. La sperimentazione di nuove tipologie di tetti verdi che, oltre a limitare i consumi energetici per il condizionamento degli edifici, presentino funzionalità aggiuntive come quella del drenaggio urbano (i.e., SUDS), getta le basi per una revisione e innovazione della gestione dei deflussi superficiali, in un'ottica di integrazione con l'infrastruttura verde, ottenendo così ulteriori benefici per l'isolamento termico dell'edificio, il miglioramento del microclima urbano e la riduzione dell'isola di calore in città. Infine, la possibilità di quantificare gli effetti delle TVI già esistenti in una città come Bolzano rappresenta una pietra miliare nel panorama degli studi di settore.

Puntando all'autonomia totale dalla rete e mirando ad una riduzione del consumo di fonti fossili si lavora per monitoraggio edifici e sensoristica a basso impatto ambientale ed energeticamente autonoma, si prosegue nello studio per un miglioramento delle caratteristiche degli OLED puntando a renderli trasparenti, quindi integrabili nelle finestre a vetro doppio o triplo, elementi che contribuiscono a ridurre le dispersioni termiche degli edifici.

L'edificio (fabbricato-impianti), sempre più votato all'impiego del vettore elettrico, si ritiene tenderà ad assumere un ruolo determinante nel sistema energetico, con l'obiettivo di fornire maggiore flessibilità allo stesso. In questo contesto, il raggiungimento degli obiettivi del progetto favorirà lo sviluppo di edifici attivi, rendendo disponibili tecnologie orientate: alla riduzione dei fabbisogni mediante l'impiego di pareti perimetrali a trasmittanza termica variabile e controllabile; alla disconnessione dei fabbisogni dalla produzione di energia termica, mediante l'impiego di accumuli integrati nelle stesse pareti perimetrali; alla transizione verso un modello ad accumulo distribuito della rete elettrica, attraverso tamponature prefabbricate in legno con storage integrato; ad una maggiore penetrazione delle fonti rinnovabili;

all'ottimizzazione dei carichi sulla rete elettrica e al suo bilanciamento.

Le attività condotte in relazione al teleriscaldamento (TLR) saranno di supporto nel definire sotto quali condizioni la tecnologia legata al TLR attivo porta effettivi benefici su una rete, e di conseguenza nell'elaborazione di scenari verosimili di integrazione. Questo si inquadra nel recente quadro normativo europeo e nazionale nel percorso di decarbonizzazione verso il 2050, che pone l'accento sul ruolo del TLR per il raggiungimento degli obiettivi di efficienza, sostenibilità energetica, utilizzo delle fonti rinnovabili e riduzione dell'uso dei combustibili fossili.

Con i dimostratori sperimentali e con le nuove logiche di controllo del tipo power to heat verrà valutata la possibilità di incrementare, fino al 100%, il coefficiente di autoconsumo fisico dell'energia prodotta dagli impianti rinnovabili presenti nelle configurazioni AUC condominiali comportando minori perdite e un minore impatto sulla rete elettrica nazionale. Inoltre, applicando le varie soluzioni provate, si prevede di ottenere elevati valori del coefficiente di autosufficienza per la climatizzazione a l'ACS dei condomini garantendo un abbattimento dell'energia primaria consumata in particolare rispetto all'impiego del vettore gas e di facilitare l'applicazione di logiche Demand Response (DR) da parte dei gestori delle CER migliorando i profili di carico in modo da massimizzare l'energia rinnovabile condivisa dagli utenti e ridurre le perdite sulla rete nazionale. Il dispositivo potrà essere utilizzato anche da parte di soggetti aggregatori che operano nella rete nazionale per coinvolgere gli utenti finali nel mercato di bilanciamento di rete tramite logiche DR.

L'individuazione di metodologie di demand response implementabili nell'ambito delle reti termiche a bassa temperatura, e lo studio di sistemi di accumulo di energia refrigerante innovativi possono avere entrambi dei notevoli risvolti benefici sul sistema energetico. In entrambi i casi, i benefici si possono ricondurre essenzialmente a un livellamento dei carichi elettrici destinati alla produzione di energia termica per il condizionamento ambientale invernale e/o estivo.

Le soluzioni analizzate se applicate nelle isole minori consentiranno di ridurre notevolmente la produzione di energia elettrica dai generatori diesel e l'emissione di CO₂ in atmosfera (fino al 100% per la produzione di ACS). Inoltre, l'applicazione delle tecnologie power line consentirà di controllare gli scaldacqua elettrici e le pompa di calore per ACS installate presso gli utenti solani come sistemi di accumulo distribuito per mantenere stabile la rete isolana anche con elevate potenze delle fonti rinnovabili installate.

b) Benefici per gli utenti

Le soluzioni tecnologiche proposte e analizzate su differenti casi studio e tipologie edilizie possono apportare rilevanti benefici in termini di efficienza, indirizzando al meglio gli utenti negli investimenti finalizzati alla realizzazione interventi di riqualificazione energetica.

Le tecnologie TVI rappresentano uno strumento utile ai decisori urbani per la definizione di strategie di mitigazione dell'UHI basate sull'applicazione di TVI (inclusi i tetti blue-green), che possono fornire agli utenti del servizio elettrico nazionale benefici in termini di risparmio energetico (con conseguente risparmio economico sulla bolletta), migliore qualità del clima urbano che si traduce in una diminuzione delle morti e dello sviluppo di patologie legate alle alte temperature urbane estive e alla formazione di inquinanti primari e secondari e ai loro tempi di residenza e riduzione dell'inquinamento sonoro e aumento della biodiversità.

La diffusione di procedure standardizzate e tecnologie modulari per il miglioramento delle prestazioni dell'involucro edilizio ha l'obiettivo principale di incrementare il numero degli edifici riqualificati, riducendo tempi di realizzazione e costi. La Off-Site Construction offre vantaggi grazie alla razionalizzazione delle fasi di costruzione, velocità del cantiere, e alla possibilità di customizzare il pacchetto stratigrafico. I vantaggi risultano innumerevoli in ogni fase della riqualificazione, dalla progettazione, alla realizzazione, alla fase di montaggio, manutenzione e smaltimento.

Il portale AUREE.it si inserisce nel panorama degli strumenti volti a creare una base conoscitiva che possa essere sfruttata per accelerare i processi di integrazione intelligente delle energie rinnovabili, l'efficienza energetica e altre soluzioni sostenibili che possano contribuire a conseguire la decarbonizzazione al minor costo possibile, partecipando da un lato all'evoluzione dell'utilizzatore finale accompagnandolo nelle sue scelte di comportamento energetico (ottimizzazione degli usi finali, risparmio di energia, utilizzo di tecnologie smart) e dall'altra proponendosi per la PA come supporto a misure di pianificazione energetica.

Lo sviluppo di sistemi per il recupero e l'accumulo di energia e per il monitoraggio degli edifici comporta per gli utenti il vantaggio di non avere sensori cablati né di preoccuparsi della frequente fornitura, sostituzione e smaltimento delle batterie che alimentano i sensori IoT (Internet of Things), sempre più pervasive in applicazioni per il monitoraggio degli edifici. Dunque, gli utenti potranno ridurre il costo energetico per il monitoraggio indoor volto a favorire il benessere degli occupanti, grazie a dispositivi per il recupero e l'accumulo di energia efficienti ed autonomi.

Le finestre con OLED trasparenti, ed in generale l'illuminazione ad OLED, potranno essere impiegate in installazioni di tipo domestico, uffici, scuole, ospedali, ecc., che beneficeranno sia dell'ottima qualità della luce prodotta dagli OLED (diffusa, non abbagliante, modulabile in intensità e colore, con sorgenti di grande area e di qualsiasi forma) per il benessere degli occupanti, sia del ridotto consumo energetico a cui contribuiranno questi dispositivi integrati nei sistemi ambientali e domotici degli edifici.

Le tecnologie legate all'involucro edilizio (pareti responsive e con accumulo integrato) potranno essere impiegate nelle nuove costruzioni e nel caso di riqualificazione di edifici esistenti, contribuendo direttamente alla riduzione del fabbisogno e ad una penetrazione delle fonti rinnovabili. Con particolare riferimento alle tamponature con accumulo elettrico integrato, queste possono contribuire a ridurre i consumi degli utenti finali incentivando l'utilizzo di fonti rinnovabili, con lo scopo di aumentare le percentuali di autoconsumo ed autosufficienza degli stessi e contribuendo quindi a diminuire i prelievi di energia dalla rete e conseguentemente le emissioni di gas

climalteranti. Tali caratteristiche renderanno il sistema particolarmente idoneo ad essere utilizzato anche in contesti di Comunità Energetiche Rinnovabili.

Le configurazioni innovative di reti efficienti, con particolare riferimento al teleriscaldamento attivo, favoriranno l'integrazione di impianti di produzione locale da fonti rinnovabili e/o da recupero del calore di scarto, permettendo all'utente di operare come prosumer, e contribuiranno ad una maggiore flessibilità della rete elettrica. Dall'inserimento di prosumer nelle reti e dalla gestione ottimizzata dei componenti e dei carichi si attende determinerà una riduzione del costo del servizio e dei vettori energetici (elettricità ed energia termica), oltre all'introduzione di possibili incentivi da parte degli operatori di rete. Lo sviluppo di strategie per estendere la quota di autoconsumo e l'installazione di un prototipo di sottostazione bidirezionale presso un'utenza reale permetterà di evidenziare alcune delle barriere e delle opportunità legate allo scambio sul posto termico e all'eventuale accesso di terzi alle reti, anche all'interno di una possibile estensione del concetto di comunità energetica al vettore termico.

Gli strumenti elaborati per le comunità energetiche (es. costruzione e validazione di un indicatore di povertà energetica, elaborazione e validazione di algoritmi di suddivisione degli incentivi che possa essere di facile applicabilità nelle varie possibili configurazioni CER o AUC, sviluppo di una metrica multicriterio rispetto alla quale valutare e classificare le varie configurazioni di CER) faciliteranno la partecipazione degli utenti e prosumer alle nuove forme di economie collaborative e ad un nuovo modello energetico-sociale basato sullo scambio intelligente dell'energia proveniente da fonti rinnovabili locali.

La diffusione degli applicativi (piattaforma web e relativa APP per smartphone) sviluppati nel progetto per migliorare la consapevolezza degli utenti sui propri consumi energetici, fornendo indicazioni quantitative e qualitative aiuterà gli utenti finali sia nell'uso ottimale dell'impianto termico individuale sia nella gestione delle utenze elettriche per massimizzare la quota di energia condivisa nel caso di condomini in configurazione AUC. Inoltre le nuove forme di gamification/engagement che verranno sviluppate e provate nell'ambito del progetto potranno saranno finalizzate a massimizzare la piacevolezza della user experience degli utenti, il loro coinvolgimento d'utilizzo e la conseguente riduzione dei consumi domestici; il modello verrà sperimentalmente validato ed esteso ad altri condomini. I dimostratori sperimentali studiati nell'ambito dell'efficientamento energetico delle isole minori, se diffusi, potrebbero garantire una riduzione dei costi per la produzione di ACS (una delle principali voci della bolletta energetica degli utenti isolani) pari al 100% e un'importante riduzione dei consumi energetici per la climatizzazione degli ambienti. Inoltre, un passaggio verso tecnologie sostenibili potrebbe aumentare l'attrattiva delle attività turistiche per una clientela sensibile alle tematiche ambientali.

L'individuazione di forme praticabili di demand response nell'ambito delle reti termiche a bassa temperatura ha dei risvolti benefici per gli utenti dato che questi potrebbero beneficiare di incentivi da parte degli operatori di reti in cambio della disponibilità a modificare una certa quota del carico elettrico associato alle utenze termiche. Per i sistemi di accumulo di energia refrigerante, questi, consentendo di accumulare l'energia generata nelle ore off-peak e di rilasciarla nelle ore di picco, potrebbero comportare una sensibile riduzione dei costi per gli utenti finali. Inoltre, il livellamento del carico consente di sottodimensionare i sistemi di produzione di energia refrigerante, il che comporta una riduzione dei costi per le attrezzature e di manutenzione.

c) Previsione delle ricadute applicative

WP1

Le analisi delle soluzioni analizzate per diverse tipologie edilizie, potranno costituire uno strumento di promozione per gli utenti finali verso l'adozione di soluzioni innovative per l'involucro e gli impianti dell'edificio, e supportare gli obiettivi nazionali di riqualificazione del parco immobiliare.

I decisori urbani potranno usufruire dei risultati della ricerca proposta per verificare le potenzialità e i limiti dell'installazione delle TVI, in diverse configurazioni urbane, in termini di mitigazione dell'UHI e di riduzione dell'uso di energia per il raffrescamento degli edifici al fine di contribuire al conseguimento degli obiettivi nazionali di riduzione dell'uso di energia. Anche il portale AUREE.it si rivolge ai decisori e pianificatori di politiche energetiche (prevalentemente locali) come strumento di supporto come supporto a misure di pianificazione energetica.

L'efficacia delle soluzioni proposte basate sull'OSC risulterà valida per le tipologie costruttive tipiche dell'intero parco nazionale e per le varie condizioni climatiche che caratterizzano il territorio italiano. L'applicazione su larga scala di tali soluzioni potrebbe costituire una consistente fonte di risparmio energetico e avere benefici multipli: abbattimento dei costi di produzione per le aziende, incremento del numero di riqualificazioni energetiche di edifici e condomini, riduzione dei consumi di energia primaria

Le ricadute applicative derivanti dai risultati della ricerca sullo sviluppo di componenti e sistemi innovativi possono essere sostanzialmente ricondotte a fornire una base per la futura industrializzazione e commercializzazione delle tecnologie e dei componenti innovativi per l'incremento della prestazione energetica degli edifici.

Con riferimento alle soluzioni per il recupero e l'accumulo di energia luminosa e termica e il relativo impiego per l'alimentazione di sensori ecosostenibili, il sistema integrato oggetto di studio fornirà un impulso all'impiego di tecnologie (fotovoltaiche e termoelettriche innovative) per il recupero energetico nel settore degli edifici e all'utilizzo di sensori autonomi eco-friendly ottenuti da risorse rinnovabili. La dimostrazione di fattibilità di prototipi di OLED trasparenti integrabili in finestre di edifici costituisce il presupposto per dispositivi con capacità avanzate di gestione della luce e di integrazione con gli altri sistemi, contribuendo ad aprire un nuovo settore nel mercato dell'illuminazione, con importanti ricadute industriali e occupazionali ad alto valore aggiunto. L'Italia, Paese con una forte presenza

dell'industria illuminotecnica, potrà beneficiare tempestivamente delle potenzialità di sviluppo di tali risultati, se le industrie nazionali saranno ricettive rispetto all'innovazione proposta.

Per le tecnologie legate all'involucro edilizio (pareti responsive e con accumulo integrato) il mercato di riferimento è relativo alle nuove costruzioni, compresi gli interventi di rigenerazione urbana con demolizioni e ricostruzioni, e alle ristrutturazioni importanti dove potrebbe rendersi necessario il rifacimento completo delle pareti perimetrali. Una valutazione dello stock di pareti perimetrali verticali esistenti potenzialmente oggetto di riqualificazione energetica è pari a 5.049 Mm², di cui 4.140 Mm² residenziali (CRESME-FIVRA, 2014). Per le nuove costruzioni il potenziale annuo di pareti verticali secondo lo stesso studio è pari a 25,8 Mm²/anno, di cui 16,8 Mm² residenziali. Nel quadriennio 2016-19 gli interventi realizzati, a valere sull'incentivo delle detrazioni fiscali per riqualificazioni energetiche delle pareti verticali, hanno riguardato una superficie pari ad un valore medio di 2,83 Mm²/anno. Un'accelerazione già intrapresa con le recenti misure di incentivazione proseguirà nei prossimi anni anche in seguito alle politiche europee e nazionali di riduzione dei consumi di energia primaria nel settore edilizio, sia esso residenziale che terziario. A livello europeo si stimano 210 milioni di edifici, di cui il 40% è stato costruito prima del 1960 e che necessitano di interventi di riqualificazione energetica importanti. I risultati dell'attività di ricerca potranno contribuendo alla diffusione di pareti responsive e con accumulo integrato con conseguente sviluppo delle singole tecnologie (es. accumulo termico con materiali a cambiamento di fase, accumulo elettrico con supercondensatori, ecc.) e delle tecniche realizzative e/o di integrazione (es. pareti multistrato, integrazione all'interno di tamponature prefabbricate in legno, ecc.).

L'utilizzo di modelli dinamici di sistemi energetici complessi come il teleriscaldamento permetterà di indagare l'integrazione efficace di utenti prosumer nelle reti e la definizione, da parte dei gestori di rete, di specifiche logiche di controllo o di interventi sul sistema di generazione e distribuzione, sulla base di valutazioni di carattere tecnico ed economico. Le strategie per l'estensione della quota di autoconsumo locale e l'integrazione di un nuovo prototipo di sottostazione di scambio termico bidirezionale con dettaglio pre-commerciale in un'utenza reale saranno di supporto alla diffusione di sistemi simili nelle molteplici reti esistenti. Inoltre, il nuovo modello energetico-sociale basato sullo scambio intelligente dell'energia proveniente da fonti rinnovabili locali alla base delle comunità energetiche potrebbe essere esteso dal vettore elettrico a quello termico attraverso il TLR attivo, per il quale i confini geografici della comunità sono già naturalmente definiti.

Le attività sulle configurazioni di Autoconsumo collettivo, impianti di poligenerazione per il settore agroalimentare e soluzioni innovative per la riduzione del fabbisogno energetico degli utenti isolani possono avere delle importanti ricadute sul piano industriale in quanto i prototipi e i dimostratori sperimentali verranno studiati in ambiente operativo per validarne i risultati e rendere possibile una progressiva industrializzazione e commercializzazione. I dimostratori sperimentali studiati, pur essendo sistemi innovativi, integrano componenti con maturità tecnologia di tipo commerciale consentendo una più facile finanziabilità della costruzione su scala industriale. Inoltre, poiché molti dei componenti utilizzati sono producibili in Italia, si prevede che questo progetto avrà un impatto positivo sulla produzione industriale in questi settori specifici.

Visto l'attuale quadro incentivante e regolatorio che favorisce la diffusione delle Comunità Energetiche sul territorio nazionale e le fonti rinnovabili nelle isole minori, le soluzioni studiate se industrializzate e commercializzate possono costituire un beneficio economico per le aziende che operano nel settore degli impianti civili.

La piattaforma web e la relativa app implementata nell'ambito del WP4 per migliorare la consapevolezza degli utenti sui propri consumi energetici, raggiungerà a conclusione del progetto un livello di sviluppo pre commerciale consentendone l'avvio di un percorso applicativo da parte delle software house e delle società di servizi che operano nella contabilizzazione del calore nei condomini e nella gestione delle configurazioni di autoconsumo Collettivo Condominiali. Inoltre l'attuale quadro normativo (D.Lgs. n. 73/2020) prevede per i condomini dove sono installati contatori o contabilizzatori di calore leggibili da remoto, una frequenza di informazione dell'utente sui propri consumi termici almeno una volta al mese. Il completamento della piattaforma potrebbe facilitare la realizzazione dei prodotti specifici da parte dei fornitori dei servizi di lettura e ripartizione dei costi per assolvere all'obbligo previsto dal Decreto Legislativo

La diffusione di metodologie operative per reti di teleriscaldamento/raffrescamento a bassa temperatura, che consentano di diminuire in maniera fattiva i consumi energetici per il condizionamento ambientale, e che al contempo consentano una gestione più flessibile della domanda per il condizionamento ambientale attraverso il demand response, comporterebbero ricadute applicative di vario tipo. In primis, aumenterebbero le installazioni di tali tipologie di reti termiche. Inoltre, si possono prevedere ricadute applicative anche nel settore dei sistemi di gestione e controllo per impianti HVAC, e nel settore della sensoristica, data la necessità di realizzare strumenti che consentano la telelettura e una gestione puntuale dei flussi energetici.

L'individuazione di soluzioni innovative per l'accumulo di energia refrigerante basate sull'utilizzo di PCM, economicamente sostenibili e applicabili nel breve periodo a diverse scale nell'ambito di reti energetiche, implicherebbe ricadute applicative di diverso tipo.

Innanzitutto, aumenterebbero le applicazioni dei sistemi di accumulo del freddo, finora utilizzati soprattutto in ambito industriale, o in applicazioni residenziali relative al solar cooling. Inoltre, si possono prevedere sensibili ricadute applicative anche nel settore dei sistemi di controllo per le macchine per il condizionamento ambientale, poiché l'utilizzo di sistemi di accumulo del freddo comporta l'utilizzo di un differente approccio nella gestione del loro funzionamento. Per quest'ultimo aspetto, ci potrebbero essere dei benefici economici per i proponenti legati alla possibilità di realizzare uno o più brevetti.

2.8 Verifica dell'esito del progetto

a) Oggetti e documentazione dei risultati finali

Sono di seguito riportati i risultati, in termini di prodotti della ricerca oltre i report tecnici, delle attività incluse all'interno del progetto. Dispositivi, per i quali è prevista una verifica funzionale e prestazionale in coerenza con quanto dichiarato nella descrizione della linea di attività:

- ♣ Supercapacitore eco-sostenibile ad alte prestazioni.
- ♣ Sensore eco-sostenibile a basso consumo energetico.
- ♣ Celle di III generazione tipo DSSC e PSC per illuminazione indoor.
- ♣ Moduli fotovoltaici DSSC e PSC.
- ♣ Dispositivo planare con performances ottimali basato su polimero/filler conduttivo.
- ♣ Dispositivo con performances ottimali basato su sistema termoelettrogalvanico.
- ♣ OLED semitrasparenti.

Prototipi, per i quali è prevista una verifica funzionale e prestazionale in coerenza con quanto dichiarato nella descrizione della linea di attività:

- ♣ Prototipo tetto blue-green.
- ♣ Sistema per il recupero e l'accumulo di energia e per il monitoraggio degli edifici, che comprenda la scheda ibrida, un supercapacitore eco-sostenibile, almeno una delle tecnologie di harvesting e almeno una tipologia di sensore a basso consumo eco-sostenibile.
- ♣ Prototipi finali di modulo termoelettrico e termoelettrogalvanico con performances ottimali.
- ♣ N. 2 schede evaluation board.
- ♣ Dimostratore in scala da laboratorio di finestra integrante OLED semitrasparenti.
- ♣ Prototipo sperimentale di pareti responsive a trasmittanza termica variabile e dotate di accumulo termico basato su materiali a cambiamento di fase.
- ♣ Prototipi di tamponature prefabbricate in legno con accumulo energetico integrato.
- ♣ Sottostazione di scambio termico bidirezionale, in assetto pre-commerciale.
- ♣ Prototipo hardware-software (box) capace di supervisionare, monitorare e controllare i carichi e i generatori locali di una CER con logiche Demand Side Management e Demand Response (la box verrà applicata al sistema sperimentale S.A.P.I.EN.T.E.).
- ♣ Prototipo di scrubber applicato al dimostratore sperimentale biodigestore-microgeneratore pompa di calore per migliorare la qualità del biogas prodotto tramite cattura CO₂ e l'efficienza complessiva del sistema.
- ♣ Nuovo sistema integrato pompa di calore – sistema solar cooling con dessicant ad adsorbimento attivato dalla potenza termica recuperata dalla stessa pompa di calore.
- ♣ Dimostratore di sistema di raffrescamento per il personal cooling.
- ♣ Prototipi di serbatoi di accumulo del freddo con PCM a cascata.
- ♣ Prototipo di sistema di accumulo termico innovativo basato sull'utilizzo di nano-PCM dinamici.

Materiali, per i quali è prevista una verifica funzionale e prestazionale in coerenza con quanto dichiarato nella descrizione della linea di attività:

- ♣ Selezione di materiali con proprietà ottimizzate da implementare in dispositivi termoelettrici e termoelettrogalvanici.

Software, applicativi e portali, per i quali è prevista una verifica funzionale in coerenza con quanto dichiarato nella descrizione della linea di attività:

- ♣ Applicativo web per il calcolo della temperatura massima di mandata all'impianto.
 - ♣ Portale AUREE.it.
 - ♣ Configurazione e software utilizzati per il sistema di raccolta dati, funzionali al sistema per il recupero e l'accumulo di energia e per il monitoraggio degli edifici.
 - ♣ Piattaforma web e relativa App per smartphone o tablet utilizzabile dagli utenti dei condomini con contabilizzazione termica individuale per migliorare la consapevolezza sui propri consumi energetici e su come agire per ridurre gli stessi.
- Modelli, codici e fogli di calcolo, per i quali è prevista una verifica funzionale in coerenza con quanto dichiarato nella descrizione della linea di attività:
- ♣ Codice di implementazione di un modello di green wall in un software energetico dinamico.
 - ♣ Modello ottimizzato di sottostazione di scambio termico bidirezionale.
 - ♣ Foglio di calcolo dimostrativo di algoritmo per l'individuazione dei consumi anomali nei condomini dotati di contabilizzazione termica individuale.
 - ♣ Foglio di calcolo per l'analisi di fattibilità economica dei sistemi di contabilizzazione individuale nei condomini secondo le indicazioni contenute nella norma tecnica UNI/TS 11819:2021.
 - ♣ Foglio di calcolo e algoritmi per simulare i diversi metodi di ripartizione dei ricavi tra i membri di una comunità energetica.

♣ Metodologia per verificare che non ci siano immotivati aumenti di consumi in una comunità energetica finalizzati esclusivamente al percepimento dell'incentivo.

Per ciascuna linea di attività saranno inoltre elaborati come deliverable i rapporti tecnici, con descrizione dettagliata delle attività svolte e dei risultati ottenuti, per i quali è prevista una verifica della completezza e coerenza dei contenuti rispetto a quanto dichiarato nella descrizione delle stesse linea di attività.