

PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2025-2027 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]
- Alma Mater Studiorum Università di Bologna - Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambiente e dei Materiali [UNIBO_DICAM]
- Alma Mater Studiorum Università di Bologna - Dipartimento di Ingegneria Industriale [UNIBO_DIN_1]
- Alma Mater Studiorum Università di Bologna - Dipartimento di Ingegneria Industriale [UNIBO_DIN_2]
- CIRIAF Centro Interuniversitario sull'Inquinamento e l'Ambiente Mauro Felli dell'Università degli Studi di Perugia [UNIPG_CIRIAF]
- Politecnico di Milano [POLIMI_ABC_1]
- Politecnico di Milano - Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito [POLIMI_ABC_2]
- Politecnico di Milano - Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito [POLIMI_ABC_3]
- Politecnico di Milano - Dipartimento di Energia [POLIMI_DENE]
- Politecnico di Torino [POLITO_DENERG_1]
- Politecnico di Torino - Dipartimento Energia [POLITO_DENERG_2]
- Politecnico di Torino - Dipartimento Energia [POLITO_DENERG_3]

- Sotacarbo SpA [SOTACARBO]
- Università degli studi di Cassino e del Lazio Meridionale - Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica [UNICAS_DICEM]
- Università degli Studi di Milano - Dipartimento di Beni Culturali e Ambientali [UNIMI_BCA]
- Università degli Studi di Napoli Federico II - Dipartimento di Ingegneria Industriale [UNINA_DII_2]
- Università degli Studi di Napoli Federico II - Dipartimento di Ingegneria Industriale [UNINA_DII_3]
- Università degli Studi di Napoli Federico II - Dipartimento di Scienze Chimiche [UNINA_DSC]
- Università degli Studi di Roma "La Sapienza" - Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica [UNIRM1_DIAEE_2]
- Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" - Dipartimento di Ingegneria Elettronica [UNIRM2_DIE_1]
- Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" - Dipartimento di Ingegneria Elettronica [UNIRM2_DIE_2]
- Università degli Studi di Salerno - Dipartimento di Fisica [UNISA_DF]
- Università degli Studi di Torino - Dipartimento di Chimica [UNITO_DCHIM]
- Università della Calabria - Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Energetica e Gestionale [UNICAL_DIMEG]
- Università di Ferrara - Dipartimento di Ingegneria [UNIFE_DING]
- Università di Messina - Dipartimento di Ingegneria [UNIME_DI]
- Università di Napoli [UNINA_DII_1]
- Università di Napoli Federico II - Dipartimento di Architettura [UNINA_DIARC]
- Università di Palermo - Dipartimento di Ingegneria [UNIPA_DING_1]
- Università di Palermo - Dipartimento di Ingegneria [UNIPA_DING_2]
- Università di Pisa - Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni [UNIFI_DESTEC_2]
- Università di Pisa [UNIFI_DESTEC_1]
- Università di Roma 1 La Sapienza [UNIRM1_DIAEE_1]

- Università di Siena - Dipartimento di Biotecnologie, Chimica e Farmacia [UNISI_DBCF]

Durata del progetto: 36 mesi

Costo proposto: 11.000.000,00 €

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

I temi analizzati dal progetto riguardano l'analisi di strumenti, metodi e soluzioni per facilitare la riqualificazione energetica del parco edilizio nazionale e la conversione in edifici "green", in linea con gli obiettivi nazionali e con la nuova Direttiva EPBD IV, fornendo altresì benefici importanti per il sistema elettrico.

Il progetto, strutturato in 5 Work Package, prevede l'analisi di soluzioni per il miglioramento delle prestazioni del sistema edificio-impianto basate sia su tecnologie e materiali innovativi per l'involucro edilizio, sia su strategie e configurazioni per massimizzare la quota di energia rinnovabile (elettrica e termica) consumata negli edifici. Verranno definite soluzioni per migliorare la consapevolezza degli utenti finali sui propri consumi e strumenti per rendere più tangibile a progettisti e fornitori di servizi il valore aggiunto delle nuove tecnologie e degli edifici intelligenti. In particolare nel WP1 sarà condotto uno studio rivolto all'aggiornamento dei Gradi Giorno dei Comuni Italiani al fine di analizzare eventuali differenti zonizzazioni del territorio nazionale. Verranno effettuati studi teorici-applicativi su possibili interventi per la mitigazione degli apporti solari sugli edifici basati su componenti e schermature innovativi. Mediante analisi sperimentali e simulazioni saranno analizzati nuovi materiali e tecnologie per l'involucro edilizio. Diverse saranno le linee di ricerca, condotte nello stesso WP, rivolte all'approfondimento di specifici temi legati al recepimento della EPBD IV; in particolare, saranno individuate nuove strategie per la riqualificazione energetica del parco edilizio pubblico e sarà analizzata l'evoluzione della metodologia comparativa per valutare i livelli ottimali di efficienza energetica raggiungibili in funzione dei costi (Cost Optimality Methodology). Un possibile nuovo approccio, verrà esaminato, per la classificazione energetica degli edifici in Italia. Differenti modelli di edifici ZEB (Zero Emission Buildings), saranno studiati per valutarne l'impatto sui consumi elettrici a livello nazionale. Ulteriori attività saranno focalizzate sull'analisi delle banche dati dell'ENEA relative alle detrazioni fiscali al fine di individuare possibili criteri per commisurare gli incentivi pubblici al risparmio energetico perseguito. Nel WP2 il progetto si pone come obiettivo finale lo sviluppo di strumenti e metodologie per migliorare la pianificazione energetica territoriale e favorire la sostenibilità nelle aree energeticamente isolate italiane. In particolare sul fronte della pianificazione, il progetto mira a sviluppare una metodologia innovativa per la redazione di Piani locali di riscaldamento e raffrescamento, in linea con la direttiva EED, basandosi su strumenti esistenti come i PAESC. Il progetto introduce inoltre indicatori per mappare il fenomeno della cooling poverty, una problematica emergente su scala nazionale. Nell'ambito dell'efficientamento energetico delle aree isolate (isole minori non connesse alla rete elettrica nazionale, aree montane) il progetto punta ad aumentare l'uso di energie rinnovabili attraverso lo studio analitico e sperimentale di tecnologie avanzate ad elevata integrazione paesaggistica, tra cui soluzioni innovative per il micro-eolico e sistemi a biogas di piccola taglia per produrre acqua calda sanitaria da scarti organici. Saranno inoltre analizzate soluzioni che integrano sistemi fotovoltaici con tecnologie di accumulo termico per migliorare l'efficienza e la flessibilità delle reti elettriche isolate delle isole minori. Parallelamente saranno analizzate le barriere tecniche, sociali e operative per garantire l'adozione pratica delle soluzioni proposte nelle isole, estendendone l'applicabilità anche ad aree montane. Le linee di attività del WP3 hanno come obiettivo principale quello di migliorare le prestazioni dei singoli componenti del sistema edificio-impianti, contribuendo alla riduzione dei consumi e favorendo l'uso e l'integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici. In particolare, sarà sviluppato e sperimentato presso edifici reali un sistema di monitoraggio basato su una scheda ibrida, costituita dall'integrazione di tecnologie di recupero energetico, sensori a basso consumo e supercapacitori eco-sostenibili e su una specifica piattaforma per l'analisi dei dati raccolti. Con riferimento ai componenti trasparenti di involucro e ai sistemi di illuminazione, verranno sperimentate soluzioni OLED per incrementare le prestazioni dei dispositivi su vetro, in termini di intensità luminosa, efficienza e dimensioni dell'area emissiva. Sarà inoltre approfondita la possibilità di utilizzare substrati plastici flessibili trasparenti, indagando sia i materiali che le specifiche tecniche di deposizione e incapsulamento. Riguardo i componenti opachi dell'involucro edilizio, verrà condotto uno studio sulle pareti responsive alle diverse condizioni climatiche, in grado di variare le proprietà di isolamento grazie ad un'intercapedine ventilabile e accumulare energia termica attraverso l'integrazione di materiali a cambiamento di fase. In particolare saranno condotte attività sperimentali di caratterizzazione su un prototipo dimostrativo realizzato all'interno di una struttura esistente. In relazione al teleriscaldamento, le attività del WP3 consentiranno di valutare scenari di efficientamento e l'inserimento di utenti che operano come produttori e consumatori (prosumer termici) in configurazioni tipo "comunità energetiche termiche". Le attività di sperimentazione saranno finalizzate alla realizzazione di un prototipo di sottostazione bidirezionale, da installare in corrispondenza di un'utenza su una rete reale. Verranno inoltre approfondite le prospettive legate alla produzione,

all'autoconsumo e alla condivisione di energia termica, insieme a un confronto tra teleriscaldamento e soluzioni distribuite. Nell'ambito del WP4 si propone di sperimentare ed ottimizzare soluzioni abilitanti per le configurazioni di Autoconsumo Collettivo (AUC) condominiale, che possano favorire il sector-coupling, ovvero l'utilizzo di energia rinnovabile elettrica in eccesso per utilizzi termici. In particolare, verranno studiate e provate soluzioni basate su sistema di pompe di calore ad alta temperatura, al fine di validare tale tecnologia come abilitante per migliorare l'autoconsumo e l'autosufficienza per le configurazioni AUC applicate allo stock dei condomini dotati di impianti di emissione tradizionali a radiatori. Per i condomini con sistemi di contabilizzazione termica individuale, verranno valutati i potenziali benefici ottenibili da un miglioramento della consapevolezza energetica dei singoli utenti che riceveranno informazioni frequenti e di facile comprensione sui propri consumi termici come previsto dal D.Lgs. 73/2020. Le attività del WP4 supporteranno la fase di test nazionale prevista dalla EPBD IV per il nuovo indicatore Smart Readiness Indicator, contribuendo al suo sviluppo metodologico e alle politiche per la successiva implementazione. A scala urbana verrà approfondita la conoscenza del contributo che le Tecnologie Verdi di Involucro (TVI) possono fornire alla riduzione del consumo di energia per il raffrescamento degli edifici e all'adattamento delle città all'isola di calore. Per quanto concerne lo studio delle reti termiche a bassa temperatura, nell'ambito del WP5 sarà effettuata una indagine, sia numerica che sperimentale, per verificare le caratteristiche di flessibilità nella gestione del carico elettrico associato alle pompe di calore booster per il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici. Relativamente allo studio di sistemi di accumulo termico di nuova generazione, le attività mirano a realizzare dei passi in avanti rispetto allo stato dell'arte dei sistemi basati sull'impiego di NEPCM (nano-enhanced phase change materials) dinamici valutando l'impiego di campi magnetici per migliorare le prestazioni dei materiali a cambiamento di fase.

Abstract del progetto ENG

The topics analysed by the project concern the analysis of tools, methods and solutions to facilitate the energy requalification of the national building stock and the conversion to 'green' buildings, in line with national targets and the new EPBD IV Directive, while also providing important benefits for the electricity system. The project, structured in 5 Work Packages, includes the analysis of solutions to improve the performance of the building-plant system based both on innovative technologies and materials for the building envelope and on strategies and configurations to maximise the share of renewable energy (electrical and thermal) consumed in buildings. Solutions will be defined to improve end-users' awareness of their energy consumption and tools to make the added value of new technologies and smart buildings more tangible to designers and service providers.

In particular, in WP1 an update of the Degree Days of the Italian Municipalities will be conducted in order to analyze possible different zoning of the national territory. Theoretical-applicative studies will be conducted on the mitigation of solar gains on buildings based on innovative components and shielding. Through experimental analyses and numerical simulations, new materials and technologies for the building envelope will be analyzed. Different lines of research will be aimed at deepening specific issues related to the implementation of the EPBD IV: new strategies for the energy requalification of the public building stock will be defined and the evolution of the comparative methodology to evaluate the optimal levels of energy efficiency achievable in function of costs will be analyzed (Cost Optimality Methodology). A possible new approach will be examined for the energy classification of buildings in Italy. Different models of ZEB (Zero Emission Buildings) will be studied to evaluate their impact on electricity consumption at a national level. Further activities of WP1 will also focus on the analysis of ENEA databases relating to tax deductions in order to identify possible criteria for measuring public incentives to the energy savings achieved.

In WP2 the project's final objective is the development of instruments and methodologies to improve territorial energy planning and promote sustainability in Italy's energy-isolated areas. Specifically on the planning side, the project aims to develop an innovative methodology for drawing up local heating and cooling plans, in line with the EED directive, based on existing tools such as PAESCs. The project also introduces indicators to map the phenomenon of cooling poverty, an emerging issue on a national scale.

In the area of energy efficiency in isolated areas (small islands not connected to the national electricity grid, mountainous areas) the project aims to increase the use of renewable energies through the analytical and experimental study of advanced technologies with high landscape integration, including innovative solutions for micro-wind, energy harvesting and small-scale biogas systems to produce hot water from organic waste. Solutions that integrate photovoltaic systems with thermal storage technologies will also be analysed to improve the efficiency and flexibility of isolated electricity grids on small islands. In parallel, technical, social and operational barriers will be analysed to ensure the practical adoption of the proposed solutions on islands, extending their applicability to mountain and inland areas.

The main objective of WP3 is to improve the performance of the individual components within the building-plant system, contributing to energy consumption reduction and promoting the use and integration of renewable sources in buildings. Specifically, a building monitoring system, based on a hybrid board that integrates energy recovery technologies, low-consumption sensors and eco-sustainable supercapacitors along with a dedicated platform for data visualisation and analysis, will be developed and tested in real buildings. With reference to transparent envelope components and lighting systems, OLED solutions will be investigated and tested to increase the performance of glass-based devices, in terms of light intensity, efficiency and size of the emissive area. The possibility of using flexible transparent plastic substrates will also be explored, analyzing both the materials and the specific deposition and encapsulation techniques.

Concerning opaque components of the building envelope, a study will be conducted on climate-responsive walls, able to dynamically change their insulation properties through a ventilated air cavity and to accumulate thermal energy by integrating phase-change

materials. In particular, experimental characterisation activities will be conducted on a demonstration prototype installed within an existing structure.

In relation to district heating, the activities of WP3 will allow the evaluation of efficiency scenarios and the integration of users operating as both producers and consumers (thermal prosumers) in 'thermal energy community' type configurations. Experimentation activities will focus on the development of a two-way substation prototype to be installed at a user site in a real network. Additionally, perspectives related to production, self-consumption and sharing of thermal energy will be explored, along with a comparative analysis between district heating and distributed solutions.

In WP4, it is proposed to analyse, test and optimise enabling solutions for condominium Collective Self-Consumption (AUC) configurations, which can encourage sector-coupling, i.e. the use of excess renewable electricity for thermal uses. In particular, solutions based on a high temperature heat pump system (PDC-AT) will be investigated and tested, in order to validate this technology as an enabler for improving self-consumption and self-sufficiency for AUC configurations applied to the national stock of condominiums equipped with traditional radiator emission systems. For condominiums with individual thermal metering systems, the potential benefits of improving the energy awareness of each individual user, who will receive frequent and easy-to-understand information on their thermal consumption as required by Legislative Decree 73/2020 will be assessed.

WP4 activities will support the national testing phase foreseen by EPBD IV for the new Smart Readiness Indicator, contributing to its methodological development and policies for subsequent implementation. At the urban scale, the knowledge of the contribution that Green Envelope Technologies can provide to the reduction of energy consumption for building cooling and to the adaptation of cities to the heat island will be deepened.

With regard to the study of low-temperature thermal networks, an investigation, both numerical and experimental, will be carried out in WP5 to verify the flexibility characteristics in managing the electrical load associated with booster heat pumps for heating and cooling buildings. With regard to the study of next-generation thermal storage systems, activities aim to make progress on state-of-the-art systems based on the use of dynamic NEPCMs (nano-enhanced phase change materials) by evaluating the use of magnetic fields to improve the performance of phase change materials.

2.3 TRL progetto

TRL iniziale: 5

TRL finale: 8

La pluralità delle attività previste dal progetto riguardano sia tecnologie innovative sia l'integrazione di soluzioni consolidate con complessità e grado di maturità differente per cui oltre a un diverso TRL iniziale ci si attende un diverso incremento dello stesso. Il livello di TRL medio ponderato di partenza del progetto è previsto pari a 5 (Tecnologia convalidata in ambiente rilevante), quello di arrivo è 8 (Sistema completo e qualificato).

In particolare, per le attività relative ai sistemi innovativi per l'involucro edilizio si intende lavorare su diversi materiali inizialmente caratterizzati in laboratorio per dimostrare, a fine progetto, le prestazioni delle soluzioni più innovative in un ambiente rilevante e le funzionalità delle soluzioni di involucro più consolidate in un edificio reale.

Il progetto prevede inoltre di verificare i potenziali applicativi dei sistemi costruttivi in legno realizzati in OffSite, già validati come completi, con l'obiettivo di valutarne la fattibilità su larga scala finalizzata al miglioramento energetico del parco immobiliare.

Nell'ambito delle attività sull'efficientamento energetico delle aree isolate si prevede di migliorare il TRL del prototipo basato sui biodigestori di piccola taglia grazie alla messa a punto di una specifica caldaia alimentata a biogas. Inoltre, lo sviluppo ingegneristico del sistema sperimentale integrato free solar cooling - pompa di calore ne consentirà la dimostrazione delle prestazioni in un contesto operativo reale.

L'incremento del TRL per le soluzioni a basso consumo e a basso impatto ambientale per il monitoraggio degli edifici, si concretizza attraverso un processo di ottimizzazione e caratterizzazione dei singoli dispositivi e successivo sviluppo di una versione aggiornata della scheda integrata per l'applicazione in edifici reali.

Le sorgenti luminose OLED, realizzate presso il C.R. ENEA di Portici su substrati di vetro, rappresentano attualmente una tecnologia verificata in laboratorio; le attività punteranno ad un miglioramento delle prestazioni in termini efficienza, intensità luminosa e area emissiva.

Per i componenti opachi dell'involucro edilizio saranno condotte specifiche campagne di prova in condizioni di esercizio reale con le pareti responsive sperimentali, attualmente studiate solo in ambiente simulato, per la caratterizzazione e la verifica delle soluzioni adottate incluso lo studio di possibili ottimizzazioni.

Le attività sul teleriscaldamento attivo prevedono di migliorare il TRL del prototipo di sottostazione bidirezionale dell'utente prosumer, con la realizzazione di un nuovo prototipo pre-commerciale e successiva installazione in una rete di teleriscaldamento reale.

Nello studio delle soluzioni basati sul sector-coupling per migliorare l'autoconsumo e l'autosufficienza da FER anche per lo stock dei condomini esistenti dotati di impianti termici ad alta temperatura, l'incremento di maturità tecnologica si concretizza nella integrazione

del sistema sperimentale S.A.P.I.EN.T.E. del C.R. ENEA di Casaccia con nuovi componenti consolidati e con nuove logiche di controllo per la prova in condizioni operative reali. Per i condomini con sistemi di contabilizzazione individuale del calore verrà dimostrata l'efficacia in ambiente operativo (pluralità di condomini) dell'utilizzo della piattaforma per migliorare la consapevolezza energetica degli utenti. Le metodologie di demand-response basate sull'impiego di pompe di calore booster e reti termiche a bassa temperatura, attualmente valutati in ambiente rilevante, verranno applicati alla rete termica del C.R. ENEA di Portici per dimostrare in condizioni operative la maturità tecnologica delle soluzioni per la gestione flessibile del carico elettrico. Per quanto riguarda invece lo sviluppo di sistemi di accumulo termico innovativi basati sull'impiego di materiali a cambiamento di fase l'incremento del TRL sarà ottenuto con test in laboratorio di nuove soluzioni tecnologiche.

2.4 Inquadramento del progetto nello stato dell'arte

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

Con il Regolamento UE 2021/1119, "Normativa europea per il clima" adottato il 30 giugno 2021, l'Unione Europea, alla luce di recenti evidenze scientifiche, oltre a stabilire il target della neutralità climatica entro il 2050, ha aggiornato l'obiettivo vincolante di riduzione delle emissioni gas serra dal 40% al 55% rispetto ai livelli del 1990.

Al fine di supportare e allineare la normativa vigente in materia di clima ed energia ai nuovi obiettivi del 2030 e del 2050, a luglio 2021 la Commissione Europea ha presentato il pacchetto di proposte "Fit for 55" e nel 2024 la nuova Direttiva EPBD IV.

Nell'ambito del pacchetto Fit for 55, con il Regolamento (UE) 2023/857 è stato recentemente aggiornato per i singoli Stati Membri l'obiettivo di riduzione delle emissioni al 2030 rispetto ai valori del 2005 per i settori soggetti al regolamento ESR (Effort Sharing Regulation, trasporti, civile, agricoltura, rifiuti e piccola-media industria.); in particolare per l'Italia il nuovo target al 2030 passa da 33% (Regolamento UE 2018/842 - obiettivo PNIEC 2019), ad un valore più ambizioso pari a 43,7%.

Nel precedente periodo di applicazione dell'Effort Sharing Regulation (2013-2020) l'Italia ha ottenuto riduzioni delle emissioni superiori a quelle necessarie per adempiere agli obiettivi. Molto più impegnativo e sfidante risulta invece essere per l'Italia lo sforzo per raggiungere la riduzione delle emissioni al 2030. (PNIEC 2024).

Come indicato dal PNIEC, per rispettare la nuova traiettoria emissiva del periodo 2021-2030 e promuovere un incremento nel risparmio sui consumi finali di energia, nel settore civile sono state previste nuove misure per accelerare il percorso di efficientamento degli edifici esistenti, rafforzando la diffusione di interventi di riqualificazione profonda e l'applicazione di tecnologie particolarmente performanti (come, ad esempio, pompe di calore e sistemi Building Automation Control System - BACS). Lo stesso PNIEC prevede inoltre che sia necessario agire attraverso la formazione e la disincentivazione dei comportamenti meno sostenibili per promuovere un cambiamento verso comportamenti caratterizzati da maggior efficienza energetica.

In questo contesto, lo Smart Readiness Indicator (SRI) introdotto dalla EPBD 844/2018 e rafforzato dalla EPBD IV, rappresenta uno strumento per rendere più tangibile per utenti, progettisti e fornitori di servizi il valore aggiunto delle nuove tecnologie intelligenti negli edifici. Sono attualmente 14 gli stati membri che hanno avviato la fase di test nazionale prevista dal Regolamento Esecutivo della Commissione Europea. Al fine di supportare l'avvio della fase di test dello SRI anche in Italia, nell'ambito del progetto sono previste attività per contestualizzare a livello nazionale l'applicazione del nuovo indicatore.

L'ammodernamento degli edifici attraverso la domotica e la costruzione di nuovi smart buildings ha reso e renderà sempre più pervasiva la rete di sensori presenti all'interno degli ambienti. Al fine di massimizzare l'efficienza energetica dei dispositivi IoT (Internet of Things) e la relativa sensoristica, è rilevante rendere questi ultimi indipendenti dall'alimentazione tramite rete elettrica, optando per una alimentazione basata su accumuli elettrici [1]. Inoltre, per evitare le ricadute organizzative e ambientali dovute alla frequente fornitura, sostituzione e smaltimento delle batterie, risulta necessario provvedere ad un sistema di recupero energetico che mantenga carichi gli accumuli elettrici. Allo stato attuale le soluzioni che prevedano soluzioni 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.

Inoltre, per raccogliere l'energia dalla luce degli ambienti interni, il fotovoltaico tradizionale a base di silicio non è efficiente; per applicazioni indoor, pertanto occorre considerare tecnologie emergenti come le perovskite solar cells (PSC). Infatti, negli ultimi anni si è assistito alla rapida ascesa delle prestazioni e della stabilità dei dispositivi PSC [1], raggiungendo efficienze indoor su piccola area superiori al 30% [3]. Inoltre, è stato realizzato un up-scaling delle dimensioni di tali dispositivi realizzando perovskite solar modules (PSM) su larga area [2].

Tra le altre soluzioni di energy harvesting, la tecnologia termoelettrica (TE) rappresenta una modalità di recupero del calore di scarto e/o non utilizzato, ma esistono pochi lavori che sfruttano i gradienti termici che si generano negli edifici. Tali lavori hanno dimostrato la fattibilità di alimentare nodi di sensori con la potenza elettrica recuperata [4]. Attualmente, però, i dispositivi TE commerciali sono basati su elementi come il Bismuto e il Tellurio, tra gli elementi più rari nella crosta terrestre, rendendoli difficili e costosi da processare [5]. Le schede elettroniche per il monitoraggio ambientale negli edifici hanno registrato notevoli progressi negli ultimi anni. Recentemente sono stati sviluppati supercapacitori [7-8] e sensori [9-10] 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.

La testata giornalistica on-line OLED (LED organico) (<https://www.oled-info.com/transparent-oleds>) afferma che la ricerca sugli OLED trasparenti per illuminazione è molto ridotta, 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 applicate alle finestre in vetro o su plastica per illuminazione [11-15] (Scopus individua, dal 2015 a fine settembre 2024: circa 1170 riferimenti con “transparent OLED”, circa 120 rif.i con “transparent OLED lighting”, circa 400 rif.i con “OLED on plastic”, meno di 120 rif.i con “transparent OLED on plastic”, 8 rif.i con “commercial transparent OLED on plastic”, 2 risultati per “commercial transparent OLED lighting”). Infine, non esistono industrie italiane che producono OLED, né si è a conoscenza di siti di produttori presenti sul territorio italiano.

Tra le diverse soluzioni efficienti per l'involucro edilizio, si sta facendo strada nel mondo della ricerca quella degli “elementi responsivi” (RBE, Responsive Building Element) [16-18] caratterizzate dall'essere adattabili ai vari impieghi e con caratteristiche fisiche variabili in funzione delle condizioni esterne ed interne.

Le soluzioni che comportano la sola riduzione della conducibilità termica delle pareti perimetrali, pur riducendo le dispersioni verso l'esterno nel periodo invernale, generano un aumento dei fabbisogni di raffrescamento in presenza di carichi interni soprattutto nel caso di pareti con bassa capacità termiche [19-20]. Per superare questi inconvenienti sarebbe necessario l'adozione di pareti perimetrali con caratteristiche termiche variabili in grado di ridurre significativamente i fabbisogni di energia primaria per il raffrescamento, conservando e/o migliorando le caratteristiche per il funzionamento invernale [17-18, 21].

L'utilizzo degli “elementi responsivi” potrebbe concorrere inoltre alla realizzazione di sistemi di accumulo termico in edifici ad alte prestazioni energetiche. [22-27].

Tra le tecnologie più innovative per l'accumulo dell'energia termica, i materiali a cambiamento di fase (PCM) rappresentano senza dubbio quella più promettente nel breve-medio periodo, e il crescente interesse nel miglioramento delle prestazioni dei PCM sta guidando la ricerca verso l'introduzione di tecniche atte a migliorarne le prestazioni. Attualmente, due delle tecniche più studiate dalla letteratura specializzata sono rappresentate da: i) dispersione di nanoparticelle metalliche nel PCM, per realizzare un sensibile aumento della velocità di scambio termico nel materiale con l'applicazione di opportuni campi magnetici [28-36], ii) l'utilizzo di configurazione multi-modulo in cascata [18-20].

Relativamente alle applicazioni innovative che vedono l'utilizzo dei PCM, una delle più interessanti è quella che vede i PCM impiegati per migliorare l'efficienza di dispositivi per la refrigerazione stato solido [36-41].

Una ulteriore strategia vincente per il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione al 2023 potrebbe risiedere anche nell'adozione del legno come materiale da costruzione, soluzione già validata come completa e qualificata. L'utilizzo del legno in edilizia favorisce la trasformazione dell'ambiente costruito in un potenziale serbatoio di carbonio, evidenziando i vantaggi derivanti dall'uso di materiali da costruzione bio-based totalmente riciclabili, a cui si aggiunge un potenziale risparmio energetico garantito da valori medi di trasmittanza molto bassi, elevati valori di sfasamento, brevi tempi di costruzione e antisismicità ottenuti dall'Off-Site Construction.

Tra le soluzioni bio-based, le Tecnologie Verdi di Involucro (TVI), che includono tetti e pareti verdi e tetti Blue-Green, sono infrastrutture vegetate che possono ridurre i consumi energetici per il raffrescamento estivo degli edifici [63-64], mitigare le temperature estive dell'aria [64] e ridurre le emissioni di CO₂ per effetto dell'evapotraspirazione, della schermatura solare e dell'ombreggiamento delle piante [62, 65-67].

L'impegno delle TVI è una soluzione per la mitigazione dell'isola di calore urbana (Urban Heat Island, UHI): fenomeno di surriscaldamento locale dovuto all'antropizzazione dell'ambiente naturale, cioè alla sostituzione dei materiali naturali con materiali artificiali caratterizzati da una minore albedo e da una grande capacità di impermeabilizzazione del suolo e l'immissione nell'ambiente di calore esausto, per citare alcune cause [59]. Il surriscaldamento urbano è un rischio per la salute umana ed è correlato a condizioni sociali, culturali ed economiche preesistenti. Questa nuova dimensione di fragilità umana, definita come cooling poverty, può essere limitata anche attraverso politiche di riqualificazione urbana quali l'introduzione di aree verdi o blu e di zone ombreggiate e ventilate in determinati quartieri o regioni, che riducono la magnitudo delle UHI [60,61]. Al fine di supportare i decisori urbani nel promuovere, sviluppare e attuare politiche di adattamento all'UHI, è necessario uno studio approfondito delle TVI e dei loro effetti in casi studio da letteratura, ma ancor di più in installazioni prototipali e in casi studio reali in ambiente urbano.

Lo stato dell'arte nel contesto della pianificazione energetica e climatica vede, a livello nazionale, l'utilizzo di strumenti avanzati come i modelli TIMES-RSE e MONET di RSE e la metodologia econometrica multiregionale sviluppata da ENEA, che consentono di regionalizzare gli scenari PNIEC. Questi strumenti supportano l'elaborazione di Piani Energetici e Climatici Regionali e Locali, integrati con indicatori di impatto economico, sociale e ambientale, come richiesto anche dalla direttiva EED 2023/1791, che introduce i piani locali di riscaldamento e raffrescamento. A livello internazionale, il modello TIMES, promosso da ETSAP, è uno standard per lo sviluppo di scenari energetici complessi e multilivello, mentre progetti europei come Horizon 2020 hanno consolidato metodologie di valutazione dell'impatto di policy su scala regionale.

A scala urbana le configurazioni di reti di teleriscaldamento (TLR) efficienti hanno tutt'oggi un ruolo 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. Mediante l'utilizzo di sottostazioni di scambio termico bidirezionale, l'utente da passivo può diventare attivo, quindi un prosumer, ed immettere in rete il surplus di energia termica prodotto (o recuperato) localmente. Al fine di

rendere tali reti efficienti, risulta importante non solo progettare accuratamente le sottostazioni bidirezionali, ma è anche importante scegliere con cura l'architettura della rete e sviluppare modelli accurati per prevedere i profili della domanda di energia termica, produzione locale, dinamiche di rete e transitori termici [45-46]. A tal fine, nella letteratura scientifica esistono diversi algoritmi e modelli numerici [47-48] idonei a 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. Il principale limite di tali studi è rappresentato dalla scarsità di dati reali disponibili in letteratura per validare i modelli numerici. In questo contesto, le attività condotte nei precedenti PTR della Ricerca di Sistema hanno portato alla realizzazione e alla caratterizzazione sperimentale di un prototipo di sottostazione di scambio termico bidirezionale di cui sono state valutate le prestazioni in condizioni statiche e dinamiche, mostrando un funzionamento affidabile ed efficiente sia dal punto di vista energetico che idraulico [49].

Una delle innovazioni più recenti nel settore delle reti termiche è rappresentata dalle reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento di quinta generazione, caratterizzate da un funzionamento a temperature prossime a quelle ambientali, l'uso di pompe di calore booster distribuite presso gli utenti finali e la capacità di fornire contemporaneamente, a utenze diverse, sia riscaldamento che raffrescamento [50, 51]. Il potenziale delle reti termiche di quinta generazione è particolarmente legato all'utilizzo delle pompe di calore booster alimentate elettricamente, unito allo sfruttamento di energia elettrica da rinnovabili e di energia termica di scarto. Tuttavia, questo vantaggio può essere attenuato dal sovraccarico della rete elettrica causato dall'implementazione di massa delle pompe di calore distribuite. Da questo punto di vista, i sistemi di accumulo dell'energia termica, unitamente all'inerzia termica delle reti termiche e degli edifici, consentono di poter implementare una gestione flessibile dei picchi di carico e perciò possono essere utilizzati per migliorare l'integrazione della produzione da rinnovabili nei sistemi energetici [52-53]. Gli edifici, qualora collegati a reti termiche a bassa temperatura e dotati di pompe di calore booster e sistemi di accumulo termico opportunamente dimensionati, anche grazie alla loro capacità intrinseca di immagazzinare energia termica, possono permettere di spostare una quota più o meno grande di consumo di energia elettrica senza compromettere il comfort dell'utente finale [54]. Negli ultimi anni sono stati fatti diversi studi per ottimizzare la gestione dei picchi di carico dal lato della domanda, gran parte dei quali di tipo numerico, senza alcuna validazione sperimentale.

In coerenza con i nuovi target europei di decarbonizzazione del sistema energetico, il D.Lgs 199/2021 individua un insieme di misure e strumenti necessari per il raggiungimento degli obiettivi di incremento della quota di energia da fonti rinnovabili al 2030. In particolare il Decreto Legislativo oltre a introdurre, insieme alla Delibera ARERA 727 del 2022, le differenti tipologie di configurazioni possibili per l'autoconsumo virtuale diffuso, ha previsto la graduale fuoriuscita del meccanismo dello scambio sul posto (servizio che consente ad un prosumer di utilizzare la rete come accumulo), quest'ultimo non sarà più accessibile per i nuovi impianti essendo progressivamente sostituito da strumenti maggiormente volti a favorire l'autoconsumo singolo o l'autoconsumo collettivo (AUC) e l'installazione di sistemi di accumulo. [55].

L'autoconsumo singolo comporta un vantaggio economico per l'utente prosumer in quanto si riducono i costi delle componenti variabili della bolletta proporzionalmente all'energia consumata in loco (quota energia, oneri generali di rete, accise ed IVA); mentre per la configurazione AUC l'energia autoconsumata virtualmente viene valorizzata secondo il meccanismo di incentivazione previsto dal D.M. 414/2023.

Nel 2023 in Italia, l'autoconsumo fisico di energia elettrica prodotta da fotovoltaico ammonta al 48,6% della produzione netta dei soli impianti che autoconsumano [56]. Il suddetto valore risulta in crescita rispetto ai precedenti anni in linea con la maggiore diffusione dei sistemi di accumulo elettrico (in particolare con tecnologia a litio) presso le utenze finali.

Uno strumento di sostegno all'autoconsumo, sia singolo che collettivo, è dato dal potenziamento degli obblighi della quota minima di energia prodotta da fonti rinnovabili a copertura dei consumi totali per la produzione di acqua calda sanitaria, riscaldamento e la climatizzazione estiva [55] in linea con gli obiettivi di edifici a emissioni quasi zero; con il D.Lgs. 199/2021 la suddetta quota è stata incrementata al 60% (rispetto al precedente 50%) negli edifici nuovi o sottoposti a ristrutturazioni rilevanti.

Per facilitare il raggiungimento dei suddetti limiti negli edifici con impianti termici centralizzati potrebbe essere di particolare interesse l'applicazione di nuove soluzioni, alternative o integrative ai sistemi tradizionali a batteria, basate sul sector-coupling (l'utilizzo di energia rinnovabile elettrica per utilizzi termici) per migliorare l'autoconsumo fisico nelle configurazioni AUC condominiali. Lo studio delle nuove soluzioni nei condomini può avere un impatto positivo a livello nazionale in quanto in Italia più di 5 milioni di abitazioni sono dotati di impianti termici centralizzati [57]; in particolare per le regioni del Nord Ovest circa il 35% delle famiglie vive in abitazioni dotate di impianti termici centralizzati, questo valore è pari a circa 14 % per le regioni del Nord Est e del centro Italia [58]. Ai fini dello studio condotto dal progetto, è utile osservare che circa il 70% delle abitazioni occupate da persone residenti è stata edificata prima del 1980; per i condomini con impianti termici centralizzati è quindi prevalente una presenza di sistemi di distribuzione ed emissione ad alta temperatura (sistema a radiatori)

Relativamente allo stato dell'arte sull'efficientamento energetico delle isole minori è possibile fare riferimento agli obiettivi sull'installazione di fonti rinnovabili fissati DM del 14 febbraio 2017. In particolare, rispetto al raggiungimento del suddetto obiettivo le isole minori raggiungono poco più del 45% del target per il solare fotovoltaico (le Egadi e Ustica nel 2021 hanno superato invece l'obiettivo) e circa il 16 % del target per il solare termico (le Egadi raggiungono circa il 47% dell'obiettivo) [69]. Inoltre UNIEM (Unione Nazionale Imprese Elettriche Minori) in una memoria presentata alla Camera dei Deputati nel 2021 segnala la difficoltà di assorbimento da parte della rete delle isole non interconnesse di più del 30% di energia elettrica prodotta da fonti non programmabili e il rischio per la stabilità della rete stessa[69].

Per facilitare la decarbonizzazione delle isole minori non interconnesse al sistema elettrico nazionale, il Decreto MASE di novembre 2021 – Programma Isole Verdi – ha finanziato con fondi PNRR progetti in materia di energia, acqua, trasporti e rifiuti delle 19 piccole Isole non interconnesse. Dei 140 progetti finanziati il 38,8% riguardano l'installazione di sorgenti rinnovabili mentre il 9,7% riguarda interventi di efficientamento energetico del patrimonio edilizio pubblico. Tra i principali interventi proposti rientrano impianti FV tradizionali di piccola taglia con accumulo elettrico, interventi sulla rete elettrica e sulle infrastrutture connesse per favorire l'integrazione dell'energia prodotta da fonti rinnovabili. Solo una delle 19 piccole isole propone la costruzione di un impianto di recupero dell'energia del moto ondoso (potenza totale 20 kW) realizzato con banchina galleggiante installata presso il porto; l'energia prodotta servirà per alimentare le colonnine elettriche posizionate sui pontili a servizio delle imbarcazioni [68].

Internazionalmente, regioni come i Paesi nordici e le isole greche stanno testando soluzioni innovative per migliorare la gestione di fonti intermittenti e per incrementare la flessibilità energetica, utilizzando approcci integrati che combinano storage, microreti e smart grid. Questi sviluppi tracciano la direzione per rendere più efficiente la transizione energetica anche in contesti italiani.

1. H. Sun, K. Deng, Y. Jiang, J. Ni, J. Xiong, L. Li, Realizing Stable Artificial Photon Energy Harvesting Based on Perovskite Solar Cells for Diverse Applications. *Small* 2020, 16, 1906681. <https://doi.org/10.1002/sml.201906681>
2. Shuai You et al., Radical polymeric p-doping and grain modulation for stable, efficient perovskite solar modules. *Science* 379, 288-294 (2023). DOI:10.1126/science.add8786
3. K.-L. Wang et al., "Rapid Nucleation and Slow Crystal Growth of CsPbI₃ Films Aided by Solvent Molecular Sieve for Perovskite Photovoltaics," *Adv Energy Mater*, vol. 12, no. 31, p. 2201274, Aug. 2022, doi: <https://doi.org/10.1002/aenm.202201274>
4. 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
5. Caballero-Calero, O.; Ares, J.R.; Martín-González, M. Environmentally Friendly Thermoelectric Materials: High Performance from Inorganic Components with Low Toxicity and Abundance in the Earth. *Adv. Sustainable Syst.* 2021, 5, 2100095, doi: 10.1002/advsu.202100095
6. 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
7. 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
8. Landi, G.; La Notte, L.; Granata, V.; Avallone, G.; Barone, C.; Carapella, G.; Pagano, S.; Palma, A.L.; Sdringola, P.; Puglisi, G. Impact of Acetate-Based Hydrogel Electrolyte on Electrical Performance and Stability of Eco-Friendly Supercapacitors. *ChemElectroChem* 2023, 10, doi:10.1002/celec.202300443
9. 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
10. Landi, G.; Pagano, S.; Granata, V.; Avallone, G.; La Notte, L.; Palma, A.L.; Sdringola, P.; Puglisi, G.; Barone, C. Regeneration and Long-Term Stability of a Low-Power Eco-Friendly Temperature Sensor Based on a Hydrogel Nanocomposite. *Nanomaterials* 2024, 14, 283, doi:10.3390/nano14030283
11. 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>
12. 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>
13. 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>
14. 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>.
15. L. Kinner et al., "High performance organic light-emitting diodes employing ITO-free and flexible TiOx/Ag/Al:ZnO electrodes", *RSC Advances* 11 (2021) 17324-17331; <https://doi.org/10.1039/D1RA02214H>
16. AA.VV "Designing with Responsive Buildings Elements" IEA-ECBCS Report Annex 44
17. 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
18. X. Zhang, et al. "Adaptive facades: Review of Designs, Performance Evaluation, and Control Systems" *Buildings* 2022, 2112
19. 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
20. 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
21. AA.VV. Rapporto interno "La ventilazione all'interno di pareti perimetrali multistrato a trasmittanza variabile", ENEA - DUEE SPS SAP
22. AA.VV. Innovation Outlook: Thermal Energy Storage, International Renewable Energy Agency, IRENA (2020), Abu Dhabi

23. AA.VV. "A National Roadmap for Grid-Interactive Efficient Buildings" DOE 2021
24. 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
25. 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
26. 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
27. 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
28. Rashid FL, Rahbari A, Ibrahim RK, Talebizadehsardari P, Basem A, Kaood A, et al. Review of solidification and melting performance of phase change materials in the presence of magnetic field, rotation, tilt angle, and vibration. *J Energy Storage* 2023 67 107501.
29. Liu L, Su D, Tang Y, Fang G. Thermal conductivity enhancement of phase change materials for thermal energy storage: A review. *Renew Sustain Energy Rev* 2016 62 305–17.
30. Baghban A, Jalali A, Shafiee M, Ahmadi MH, Chau K wing. Developing an ANFIS-based swarm concept model for estimating the relative viscosity of nanofluids. *Eng Appl Comput Fluid Mech* 2019 13 26–39.
31. Sathiyamoorthy M, Chamkha A. Effect of magnetic field on natural convection flow in a liquid gallium filled square cavity for linearly heated side wall(s). *Int J Therm Sci* 2010 49 1856–65.
32. Syam Sundar L, Singh MK, Sousa ACM. Investigation of thermal conductivity and viscosity of Fe₃O₄ nanofluid for heat transfer applications. *Int Commun Heat Mass Transf* 2013 44 7–14.
33. Bahiraei M, Hangi M. Flow and heat transfer characteristics of magnetic nanofluids: A review. *J Magn Magn Mater* 2015 374 125–38.
34. Qi L, Zhang Q, Niu S, Chen R, Li Y. Influencing mechanism of an external magnetic field on fluid flow, heat transfer and microstructure in aluminum resistance spot welding. *Eng Appl Comput Fluid Mech* 2021 15 985–1001.
35. Sheikholeslami M, Rokni HB. Melting heat transfer influence on nanofluid flow inside a cavity in existence of magnetic field. *Int J Heat Mass Transf* 2017 114 517–26.
36. Yehya A, Adebayo P, Naji H. Using a static magnetic field to control the rate of latent energy storage and release of phase-change materials. *J Energy Storage* 2024 80 110275.
37. Zhao, Dongliang, and Gang Tan. "Experimental evaluation of a prototype thermoelectric system integrated with PCM (phase change material) for space cooling." *Energy* 68 (2014): 658-666.
38. Tan, Gang, and Dongliang Zhao. "Study of a thermoelectric space cooling system integrated with phase change material." *applied thermal engineering* 86 (2015): 187-198.
39. Manikandan, S., et al. "A novel technique to enhance thermal performance of a thermoelectric cooler using phase-change materials." *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 140 (2020): 1003-1014.
40. Cai, Yang, et al. "Active cooling performance of a PCM-based thermoelectric device: Dynamic characteristics and parametric investigations." *Energy* 254 (2022): 124356.
41. Krishna, N. Vijay, S. Manikandan, and C. Selvam. "Enhanced performance of thermoelectric cooler with phase change materials: An experimental study." *Applied Thermal Engineering* 212 (2022): 118612.
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. Pipiciello, M.; Caldera, M.; Cozzini, M.; Ancona, M.A.; Melino, F.; Di Pietra, B. Experimental characterization of a prototype of bidirectional substation for district heating with thermal prosumers. *Energy* 2021, 223, 120036. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120036>
50. Shuai Yao, Jianzhong Wu, Meysam Qadrdan, A state-of-the-art analysis and perspectives on the 4th/5th generation district heating

and cooling systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 202 (2024) 114729.

51. Francesco Calise, Francesco Liberato Cappiello, Luca Cimmino, Maria Vicidomini, Fontina Petrakopoulou, Thermo-economic analysis of a novel topology of a 5th generation district energy network for a commercial user, *Applied Energy* 371 (2024) 123718.
52. Habibollah Sadeghi, Ramin Jalali, Rao Martand Singh, A review of borehole thermal energy storage and its integration into district heating systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 192 (2024) 114236.
53. Ali, E. Ajbar, A. Lamrani, B. Numerical Investigation of Thermal Energy Storage Systems for Collective Heating of Buildings. *Buildings* 2024, 14, 141.
54. Zakia Afroz, Hao Wu, Subbu Sethuvenkatraman, Gregor Henze, Rune Grønberg Junker, Matt Shepit, A study on price responsive energy flexibility of an office building under cooling dominated climatic conditions, *Energy & Buildings* 316 (2024) 114359.
55. Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima - Giugno 2024
56. GSE - Rapporto Statistico 2023 sul Solare Fotovoltaico - maggio 2024
57. ISTAT - Consumi energetici delle famiglie | anno 2021, <https://www.istat.it/wp-content/uploads/2022/06/REPORT-CONSUMI-ENERGETICI-FAMIGLIE-2021-DEF.pdf>
58. ENEA Report RdS/PAR2014/069,
59. Landsberg, H.E., 1981. *The Urban Climate*. Academic Press.
60. Sesto Rapporto di Valutazione dell'IPCC. <https://ipccitalia.cmcc.it/ar6-sesto-rapporto-di-valutazione/>
61. Mazzone A, De Cian E, Falchetta G, Jani A, Mistry M, Khosla R. Understanding systemic cooling poverty. *Nature Sustainability* 6, 1533–1541 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01221-6>
62. Campiotti CA, De Rossi P, Gatti L, Giagnacovo G, Latini A, Mariani S, Sperandei M, Pace S, et al. (2021). Gli ecosistemi vegetali per la rigenerazione ecologica delle città. ENEA Technical Report RT/ENEA/13/2021, ISSN: 2499-5347. <https://iris.enea.it/handle/20.500.12079/61021>
63. Susca, T. 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* 2019, 162, 106273, doi:10.1016/j.buildenv.2019.106273
64. Susca, T.; Zanghirella, F.; Colasuonno, L.; Del Fatto, V. Effect of Green Wall Installation on Urban Heat Island and Building Energy Use: A Climate-Informed Systematic Literature Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2022, 159, 112100, doi:10.1016/j.rser.2022.112100
65. 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>
66. Susca, T. (2024). Nature-Based Solutions Applied to the Built Environment to Alleviate Climate Change: A Geographical Multi-scale Perspective. In: Lackner, M., Sajjadi, B., Chen, WY. (eds) *Handbook of Climate Change Mitigation and Adaptation*. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6431-0_123-3
67. De Rossi P, Hugony F, Latini A, Mastrilli A, Pace S, Pistochini P, Susca T, Zanghirella F (2024). Tetti e Pareti Verdi per Edifici. Linee Guida per la Pubblica Amministrazione e gli Enti Territoriali. Pubblicazione ENEA, ISBN: 978-88-8286-462-0.
68. Presentazione MASE - Green Salina Energy Days 4 - 7 giugno 2024 - Salina (ME)
69. Rapporto Isole Sostenibili Edizione 2024 - Legambiente, CNR - Istituto sull'Inquinamento Atmosferico

b) Attività svolte nel triennio precedente

Il progetto di riferimento del triennio precedente è il PROGETTO 1.5 "Edifici ad alta efficienza per la transizione energetica", 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.

Le attività del WP1 del triennio 2022-2024, sono state focalizzate sull'analisi di strumenti e tecnologie per la riqualificazione energetica del parco edilizio nazionale. In particolare, è stata effettuata una analisi disaggregata 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 (Demand Side Management) a basso impatto economico. È stata analizzata la gestione ottimale degli impianti termici a pompa di calore e la loro combinazione con impianti fotovoltaici in edifici residenziali. Con opportuni strumenti di calcolo sono state svolte diagnosi energetiche di edifici reali di carattere storico/vincolato, analizzandone, il fabbisogno energetico, e valutando interventi di riqualificazione dei casi in esame basati sull'utilizzo di tecnologie innovative e fonti rinnovabili in ottica all-electric buildings.

Mediante studi di carattere sperimentale e teorico sono stati analizzati materiali innovativi, come i rivestimenti termocromici, i radiative coolers, nonché sistemi trasparenti dinamici. In linea con quanto indicato direttiva Europea EPBD 844/2018, alcune linee di attività sono state invece dedicate all'analisi del thermal comfort e della qualità dell'aria indoor, nell'ambito delle diagnosi energetiche. Mediante monitoraggi strumentali di grandezze termofisiche e ambientali su un edificio reale ad uso ufficio, è stata effettuata un'analisi comparativa tra misure e simulazioni basate sull'applicazione del metodo orario della norma UNI 52016. Nella linea LA 1.15 è stata invece condotto uno studio teorico e sperimentale su differenti sistemi di ventilazione meccanica installati in edifici del terziario.

Alcune attività previste dal progetto vanno in continuità con quelle svolte nell'ambito del WP2 del triennio 2022-2024.

In particolare, per le attività di telerilevamento e GIS per il triennio 2025-2027, si partirà dai risultati del precedente triennio sulla

sperimentazione condotta in situ sull'edificio situato a Bolzano, tramite rilievi mesoscala (Land Surface Temperature) e rilievi microscala (drone e stazioni meteorologiche) per studiare gli effetti delle Tecnologie Verdi di Involucro e sulla mitigazione dell'isola di calore urbana. Inoltre, i dati dai monitoraggi energetici e microclimatici sul dimostrativo di tetto Blue-Green realizzato nel C. R. Casaccia durante il triennio precedente hanno mostrato l'efficacia di queste infrastrutture nella riduzione dei consumi energetici per la climatizzazione dell'edificio in estate, mettendo in evidenza la necessità della valutazione degli effetti in condizioni di inverdimento completo dei campi prova (vicino al 100% di green coverage), sia in estate che in inverno. Relativamente all'ottimizzazione tecnico-economica degli scenari di adattamento basati sull'applicazione delle tecnologie Verdi di Involucro (TVI), nel corso del PTR2022-24 è stato sviluppato un modulo software integrabile in EnergyPlus, in grado di simulare in regime dinamico l'effetto di living wall e facciate verdi sui consumi energetici degli edifici. Tale modulo verrà impiegato nel triennio 2025-27 per ampliare il numero di scenari analizzati e per la loro ottimizzazione energetica; mentre, le simulazioni microclimatiche realizzate con il software ENVI-met, verranno utilizzate per l'ottimizzazione ambientale degli stessi scenari.

Nel precedente triennio è stato sviluppato il portale AUREE.it per supportare i decisori locali nella pianificazione energetici e per i professionisti del settore energetico che possono condividere i loro servizi, facilitando la connessione tra operatori economici, cittadini e pubbliche amministrazioni. Contestualmente, il portale fornisce informazioni e dati utili sul patrimonio edilizio pubblico e privato al fine di supportare le pubbliche amministrazioni nella pianificazione energetica delle loro comunità.

Anche per il WP3 alcune delle attività si configurano come un'evoluzione di quanto svolto nel precedente triennio (PTR22-24) all'interno del Progetto 1.5.

In particolare, riguardo le soluzioni innovative per il recupero e l'accumulo di energia e per il monitoraggio degli edifici sono stati realizzati moduli fotovoltaici basati sulle celle solari a perovskite (PSC) e un prototipo di modulo termoelettrico (TE). È stato inoltre progettato, fabbricato e caratterizzato un sensore di temperatura eco-sostenibile a basso consumo, realizzato in gelatina e grafene. È stato infine sviluppato un supercapacitore eco-sostenibile ad alte prestazioni, con elettrolita gel polimerico ottimizzato con acetato di sodio, che garantisce elevata capacità di accumulo e stabilità ciclica. Per l'integrazione delle suddette soluzioni è stato sviluppato un prototipo di scheda ibrida per il recupero energetico in ambienti indoor utilizzando celle solari a perovskite. Questa scheda integra un sensore di temperatura eco-sostenibile a basso consumo energetico, sensori commerciali (luminosità, CO₂, umidità) e un elemento di accumulo eco-sostenibile. L'analisi dei consumi ha rivelato un surplus energetico di circa il 40% al giorno durante le normali condizioni operative, garantendo un funzionamento continuo e affidabile della piattaforma.

Per le attività sugli OLED, nel precedente triennio sono stati realizzati dispositivi semitrasparenti, su vetro, in scala di laboratorio e sono stati ottimizzati i processi di fabbricazione di elettrodi trasparenti su vetro, al fine di avere la trasparenza complessiva e la possibile applicazione in finestre intelligenti. Sono stati inoltre preparati OLED monocromatici e con emissione di luce bianca.

Nell'ambito delle attività di efficientamento dell'involucro edilizio sono stati realizzate pareti perimetrali "responsive" in grado di variare le proprietà di isolamento termico (sulla base del brevetto ENEA n° 865 del 2018) e implementati dei manufatti in grado di stoccare energia termica per il raffrescamento e/o riscaldamento basati su materiali a cambiamento di fase. Riguardo i sistemi di accumulo, sono stati ideati e valutati, attraverso modelli di simulazione, pannelli planari abili al funzionamento nel regime invernale ed estivo. Presso un ambiente della sede ENEA di Bari è stata realizzata la parete responsiva sopra descritta ed allestito il test rig completo di impianto termico a pompa di calore, per provare nel PTR 2025-27 le prestazioni delle diverse configurazioni del sistema sperimentale in condizioni reali di funzionamento.

In riferimento alle attività sul teleriscaldamento efficiente, è stato creato un modello dinamico di una sottostazione bidirezionale e successivamente validato con i dati sperimentali disponibili. Inoltre, sono state eseguite prove sperimentali su un prototipo di sottostazione di scambio termico bidirezionale con lo scopo di aumentare la quota di autoconsumo da FER: le prove hanno preso in considerazione sia reti tradizionali (80/50°C) sia a bassa temperatura (60/30°C). I risultati hanno messo in evidenza la corretta implementazione e l'efficacia delle logiche di controllo, è stato inoltre rilevato un aumento della quota di autoconsumo e per alcuni test anche della produzione da solare. Al contempo è stata osservata la possibilità futura di una gestione ottimizzata della pompa di calore al fine di migliorare le prestazioni della sottostazione.

Nell'ambito del WP4, durante il PTR 2022-24 sono state ampliate le configurazioni del dimostratore sperimentale S.A.P.I.EN.T.E. (Sistema di Accumulo e Produzione Integrata di Energia Termica ed Elettrica) realizzato presso il C.R ENEA Casaccia per studiare soluzioni innovative per l'Autoconsumo di Energia Rinnovabile nei contesti Condominiali. In particolare, è stato implementato un sinottico per gestire l'impianto con logiche del tipo power -to -heat, e sono state eseguite le prove sperimentali per valutare gli effettivi benefici economici ed energetici ottenuti dalla applicazione del sistema SAPIENTE ad una configurazione di Autoconsumo Collettivo Condominiale. Nell'ambito dello stesso WP sono stati implementati in Matlab/Simulink i modelli per la simulazione e l'analisi tecnico economica di soluzioni che contemplino impianti ibridi tipo S.A.P.I.EN.T.E. nei condomini allacciati a reti di teleriscaldamento tradizionali con sottostazioni di scambio termico bidirezionali; inoltre, grazie alla costruzione di una interfaccia hardware-in-the-loop, sono state fatte le prime prove sperimentali di integrazione del sistema S.A.P.I.EN.T.E. con la sottostazione termica bidirezionale sperimentale studiata nell'ambito del WP3.

È stata realizzata una scheda del tipo plug-and-play denominata ADLAS: Automated DSM-DR Logics Application System dotato di interfaccia grafica user friendly per implementate logiche DSM (Demand Side Management) e DR (Demand Response) nelle configurazioni AUC Condominiale per massimizzare l'autoconsumo. Il sistema ADLAS è stato provato con l'impianto sperimentale

SAPIENTE.

È stata effettuata l'ingegnerizzazione della configurazione d'impianto e del sistema di controllo dell'impianto di poligenerazione di Valenzano (Ba) per poter riprodurre diverse condizioni di carico. Sono state eseguite prove sperimentali per verificare le prestazioni del sistema di poligenerazione applicato ad un profilo di carico di una azienda vitivinicola.

Nell'ambito dello studio delle soluzioni per l'efficientamento energetico delle isole minori è stato migliorato il monitoraggio e il controllo dell'impianti di microgenerazione a biogas alimentato da biodigestione di piccola taglia per uso domestico, testando nuovi componenti come motori e caldaie e studiando l'uso di scrubber e miscele con idrogeno verde prodotto da fotovoltaico. Nei sistemi ibridi per la produzione di acqua calda sanitaria (FV con pompa di calore e accumulo termico ed elettrico) installati presso i centri ENEA di Casaccia e Lampedusa, si è implementato un controllo commerciale a basso costo, valutato l'uso dell'energia frigorifera di scarto per raffrescamento ambientale, e ottimizzata l'integrazione con pannelli fototermici. Sono stati realizzati sistemi per massimizzare l'autoconsumo fotovoltaico usando scaldacqua come accumuli termici, testati a Lampedusa con buoni risultati. Inoltre, è stata dimostrata la fattibilità di attivare scaldacqua presso utenti privati tramite segnale power line inviato dalla cabina secondaria della rete elettrica dell'isola. Infine, è stato perfezionato il sistema ad adsorbimento Free Solar Cooling, integrandolo la macchina con una pompa di calore aria/acqua per la rigenerazione dei letti assorbenti attraverso il calore di scarto della stessa pompa di calore.

È stato completato lo studio e lo sviluppo di un portale web e di App per dispositivi mobili, denominato EMPOWER per migliorare la consapevolezza dei propri consumi termici degli utenti nei condomini con impianti termici centralizzati. La piattaforma è stata provata applicandola a più condomini del centro e del nord Italia.

Nell'ambito dello stesso WP4 durante il triennio 2022-24 è stato adattato al contesto edilizio nazionale il foglio di calcolo europeo per valutare lo Smart Readiness Indicator (SRI) attraverso: i) la modifica dei pesi associati al calcolo dei punteggi, ii) la traduzione in italiano del catalogo dei servizi, iii) l'inserimento automatizzato di due modalità di asseverazione: "smart ready" e "smart possibile". Il foglio di calcolo è stato applicato a diverse tipologie di edifici ed è stata effettuata un'analisi tecnico-economica per valutare i costi associati ad interventi di retrofit necessari per migliorare l'SRI di un edificio per uffici.

Uno studio specifico è stato dedicato nel precedente triennio alla definizione di una metodologia per pervenire ad una proposta di indicatore per misurare il fenomeno della povertà energetica in Italia, dal livello nazionale ai livelli territoriali. Le attività svolte nell'ambito del WP5 del PTR 2022 -24 hanno riguardato l'analisi della flessibilità nei consumi elettrici delle pompe di calore booster applicate ad un caso studio di rete termica a bassa temperatura. La pompa di calore booster è stata dimensionata sulla base delle caratteristiche dell'infrastruttura di ricerca "Rete Termica a Bassa Temperatura" del C.R. ENEA Portici, per l'implementazione di tecniche di gestione ottimizzate del carico elettrico basate sul Demand Response (DR). Sono state condotte sia attività di modellazione e simulazione, che attività di tipo sperimentale, queste ultime realizzate essenzialmente per validare i modelli utilizzati per le simulazioni numeriche. Inoltre, sono state realizzate sia attività simulative che sperimentali su sistemi di accumulo termico basati sull'impiego di nano-enhanced PCM dinamici (NEPCM) su sistemi di accumulo di energia refrigerante basati sull'utilizzo di più PCM a cascata. E' stata inoltre effettuata la caratterizzazione sperimentale di un sistema di refrigerazione di piccola taglia innovativo per applicazioni relative al cosiddetto "personal cooling", con lo scambiatore di calore del condensatore immerso in un PCM.

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

Lo sviluppo delle tematiche, di seguito proposte per singolo WP, mira ad apportare significativi avanzamenti scientifici rispetto allo stato dell'arte, massimizzando la valorizzazione delle risorse strumentali e del bagaglio di competenze e capacità acquisite nell'ambito del triennio precedente (2022-2024) del programma di Ricerca di Sistema Elettrico.

In particolare, in quasi tutte le attività, si prevede una sostanziale continuità tematica con il triennio precedente, con notevoli avanzamenti dal punto di vista applicativo grazie allo sviluppo e al perfezionamento di strumenti e metodi che facilitino la diffusione e la condivisione delle conoscenze tecnico-gestionali relative all'efficientamento energetico e la creazione, il potenziamento e la moltiplicazione di reti tra gli attori coinvolti nella filiera dell'efficienza energetica.

WP1: Le linee di ricerca comprendono sia analisi di carattere teorico e/o metodologico per la riqualificazione energetica, sia studi di carattere applicativo/sperimentale di soluzioni tecnologiche innovative per l'incremento dell'efficienza energetica dell'involucro edilizio. Diverse linee di ricerca sono focalizzate sull'approfondimento di specifiche tematiche legate al recepimento della Direttiva EPBD 2024/1275, tra queste: l'analisi di differenti strategie per la riqualificazione del parco di edifici pubblici nazionali, definizioni e simulazione di nuovi requisiti per il raggiungimento di edifici Zero Emission, implementazione della nuova metodologia comparativa Cost Optimality, ipotesi di nuovo sistema di classificazione energetica basato su scala assoluta, l'aggiornamento dei dati climatici nazionali.

A tali attività si aggiungeranno altre linee di ricerca, di carattere applicativo, rivolte all'analisi di tecnologie e componenti innovativi per l'involucro edilizio. Tali studi includeranno: i) attività di test di laboratorio su materiali innovativi, attualmente applicati solo a livello sperimentale, ii) analisi di soluzioni avanzate, già presenti sul mercato, applicate su casi studi reali ad uso ufficio e verificate sia mediante misure in sito sia tramite simulazioni numeriche. Le attività condotte contribuiranno a ridurre le criticità legate alla durabilità e alle performance termofisiche delle tecnologie utilizzate, al fine di favorirne l'introduzione sul mercato.

Le attività potranno quindi fornire un ampio supporto in vista della trasposizione della Direttiva EPBD IV e indirizzare lo sviluppo normativo nazionale verso le strategie maggiormente efficaci per il raggiungimento degli obiettivi energetici ed ambientali previsti a

livello europeo.

WP2: Il progetto mira a un significativo avanzamento rispetto allo stato dell'arte in ambito energetico e climatico. A livello scientifico, introduce metodologie innovative per regionalizzare gli scenari del PNIEC, colmando il divario tra pianificazione nazionale e locale, e sviluppa indicatori e strumenti per quantificare e affrontare la cooling poverty, un tema emergente. Integra inoltre i benefici multipli nella valutazione delle politiche regionali, migliorando l'efficacia delle azioni locali, e propone nuovi modelli per Piani di riscaldamento e raffrescamento che includono soluzioni tecnologiche praticabili per le amministrazioni pubbliche.

Gli obiettivi scientifici includono inoltre l'estensione della piattaforma Auree.it, sviluppata nel precedente triennio, per la valutazione del "rischio di povertà energetica" a livello di quartiere, basato su un'analisi approfondita della qualità del patrimonio edilizio e del contesto socio-economico locale.

In particolare, rispetto ai precedenti piani triennali, la ricerca mira ad ampliare le funzionalità della piattaforma Auree.it al fine di fornire risorse informative e strumenti pratici per supportare cittadini, pubbliche amministrazioni, imprese e professionisti del settore nel promuovere scelte energetiche più consapevoli e nell'adozione di pratiche sostenibili.

Il progetto, nell'ambito dello studio di soluzioni per l'efficientamento energetico delle isole minori e delle aree isolate, ha come obiettivo l'avanzamento dello sviluppo di caldaie a biogas per uso commerciale, lo sviluppo di controlli predittivi su piattaforme commerciali applicati a caldaie smart e sistemi power line bidirezionali, trasformandoli in dimostratori pratici. Per studiare l'impatto sulla produzione fotovoltaica dovuta al particolato atmosferico, il progetto, estendendo le campagne di monitoraggio condotte nel precedente triennio sull'isola di Lampedusa, prevede lo sviluppo di strumenti predittivi basati su misure di soiling e la realizzazione di una camera prova per valutare gli effetti generati dalla deposizione di diverse tipologie di polveri sulla perdita di produzione. Inoltre, si propone una analisi dettagliate per ottimizzare l'accesso all'energia in aree montane e strategie di mitigazione del surriscaldamento urbano per isole minori, fornendo nuove basi per la pianificazione e l'adattamento climatico.

WP3: in riferimento alle tecnologie e ai componenti innovativi per l'incremento della prestazione energetica degli edifici sono di seguito descritti gli effettivi progressi ottenibili attraverso il raggiungimento degli obiettivi scientifici previsti dal progetto.

- Soluzioni innovative per il recupero e l'accumulo di energia e per il monitoraggio degli edifici. Nel nuovo triennio verranno progettati e ottimizzati i circuiti di interfaccia e condizionamento del segnale tra la scheda ibrida e il sistema di recupero energetico aggiornato. Questo includerà nuovi moduli fotovoltaici bifacciali semitrasparenti, applicati sulle finestre per catturare energia sia dalla luce solare che dall'illuminazione indoor, oltre all'installazione di dispositivi fotovoltaici su elementi di arredo. Il sensore di temperatura eco-sostenibile e il relativo circuito di pilotaggio saranno ottimizzati per ridurre i tempi di misurazione e migliorare l'efficienza energetica. Verrà sviluppato anche un nuovo prototipo di sensore a basso consumo, realizzato con materiali eco-sostenibili. I supercapacitori saranno ottimizzati per aumentare la capacità e la stabilità ciclica. Inoltre, i circuiti di carica/scarica del sistema di accumulo e il software verranno aggiornati per migliorare la raccolta dei dati, la sicurezza e la riduzione dei consumi. I sistemi integrati di monitoraggio saranno installati in edifici reali per testarne le prestazioni in condizioni operative.
- OLED. La proposta progettuale mira a migliorare ulteriormente le prestazioni dei dispositivi OLED su vetro in termini di efficienza, spettro emesso e trasparenza per l'uso in finestre intelligenti. A questa attività si affiancherà lo sviluppo dell'impiego di substrati plastici trasparenti su cui realizzare OLED con emissione di luce colorata o bianca, con un'area emissiva di alcuni centimetri quadri. Lo scopo ultimo di questa attività è realizzare sorgenti luminose su pellicole plastiche flessibili, eventualmente adesive, per rendere "smart" anche le finestre convenzionali già installate. Il prodotto finale necessita di uno studio approfondito per individuarne le specifiche (in termini di punto di lavoro elettrico, intensità e spettro di emissione), per il progetto dei dispositivi, la selezione dei materiali da utilizzare, e l'ingegnerizzazione delle architetture da implementare.
- Pareti responsive alle diverse condizioni climatiche esterne ed interne abili allo stoccaggio di energia termica. La proposta progettuale permetterà la verifica sperimentale su una scala significativa del comportamento delle pareti a trasmittanza termica variabile e/o con accumulo termico per una intera stagione di riscaldamento e raffrescamento. In base all'esercizio stagionale, si potranno valutare le reali potenzialità nonché le possibili azioni di sviluppo sui manufatti in ordine al miglioramento delle caratteristiche termiche, dell'integrazione nelle pareti e delle eventuali criticità che possano evidenziarsi durante l'utilizzo. Al fine di verificare l'efficacia delle soluzioni in diversi contesti e ottimizzarne l'integrazione, saranno condotte simulazioni dell'applicazione dei sistemi sviluppati su edifici non residenziali, tenendo conto di diverse condizioni d'uso e tipologie edilizie, con particolare riferimento all'edilizia scolastica.
- Teleriscaldamento. Le campagne di prova condotte nello scorso triennio hanno mostrato le potenzialità dell'integrazione di una pompa di calore con il prototipo di sottostazione bidirezionale, al fine di aumentare l'autoconsumo della generazione locale. Al tempo stesso, dai risultati emerge che è possibile aumentare ulteriormente l'utilizzo dell'energia prodotta localmente, non limitandola all'autoconsumo. Questo può essere ottenuto agendo sul dimensionamento, sulla tipologia di pompa di calore, sulle logiche di controllo che gestiscono l'accoppiamento della pompa di calore con il carico e sull'immissione in rete. Il progetto ha come obiettivo l'analisi di diversi scenari di integrazione di una pompa di calore nella sottostazione bidirezionale, partendo da quelli analizzati nel precedente triennio. Inoltre, la realizzazione e la caratterizzazione in laboratorio di un nuovo prototipo di sottostazione bidirezionale consentiranno 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.

WP4: in continuità con il precedente triennio, verranno studiate sperimentalmente le soluzioni abilitanti per massimizzare l'autoconsumo locale da fonte rinnovabile nelle configurazioni AUC condominiali con l'obiettivo di facilitare il raggiungimento delle quote da FER previste dal D.lgs. 199/2021. In particolare, verrà individuata e installata presso il sistema sperimentale S.A.P.I.EN.T.E. una nuova pompa di calore funzionante ad alta temperatura (PDC-AT) per valutare la possibile applicazione per facilitare la conversione dei condomini in configurazione di autoconsumo collettivo termico da FER elettriche senza la necessità di sostituire i radiatori esistenti. L'attività sperimentale prevede inoltre l'impiego di sistemi di accumulo a supercondensatori e carichi elettronici sia per emulare profili di carico elettrico degli utenti sia per generare profili di produzione da ulteriori fonti rinnovabili nei condomini, come il mini e micro eolico, estendendo l'ambito di impiego della PDC-AT a scenari di utilizzo reali.

Con l'impiego di soluzioni hardware in the loop verrà provata la possibile connessione di una configurazione AUC condominiale ibrida con pompa di calore alta temperatura alla rete di teleriscaldamento tramite sottostazione di scambio termico bidirezionale. In particolare, lo studio sperimentale servirà a dimostrare come l'impiego della pompa di calore ad alta temperatura superi le criticità riscontrate nel precedente triennio e faciliti la connessione del condominio con la rete di teleriscaldamento secondo la nuova modalità "prosumer termico". In una seconda fase dell'attività sperimentale saranno studiate tramite l'impianto di poligenerazione, installato presso il sito di Valenzano (BA), nuove configurazioni ibride termo-elettriche che prevedono anche l'impiego di soluzioni solar cooling per valutare le taglie e le soluzioni ottimali in grado di massimizzare la quota di rinnovabile nei contesti più difficili come gli edifici condominiali.

Nel PTR 2025-27 continueranno le campagne sperimentali con la scheda ADLAS (Automatized DSM-DR Logics Application System) installata presso il dimostratore S.A.P.I.EN.T.E.; in particolare verranno estese le funzionalità implementando logiche basate sulla previsione del carico termico integrando nuovi dispositivi innovativi di tipo smart in grado di aumentare le capacità predittive e di load shifting dei carichi domestici programmabili, anche nell'ottica della massimizzazione dello Smart Readiness Indicator degli edifici. Il progetto infatti ha come obiettivo lo svolgimento delle attività per la contestualizzazione e la diffusione dello SRI nel contesto nazionale al fine di supportare il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica nell'attività di test phase prevista dalla EPBD IV e nella successiva implementazione.

Nel WP4 verrà inoltre completato lo sviluppo della piattaforma EMPOWER e relativa APP migliorandone le funzionalità con l'obiettivo di fornire uno strumento utile non solo agli utenti finali ma anche agli amministratori e ai gestori di condomini per allinearsi alle prescrizioni della Direttiva UE 2018/2002 recepita dal D.lgs. 73/2020; quest'ultimo infatti prevede che vengano garantite agli utenti finali informazioni più frequenti sui propri consumi termici e a costi convenienti, obbligando dal 01/01/2027, la lettura da remoto di tutti i contabilizzatori termici individuali.

Continuando lo studio sulle Tecnologie Verdi di Involucro (TVI) nel progetto verrà valutato il loro contributo alla mitigazione delle temperature dell'aria mediante: i) telerilevamento e GIS nel caso studio Bolzano, perfezionando il monitoraggio microclimatico attraverso rilievi con drone e da satellite, ii) utilizzo di codice Python in ambiente software open source QGIS, iii) modellizzazione microclimatica condotta con ENVI-met. Sarà implementata una metodologia di calcolo che consentirà di valutare le caratteristiche termo-fisiche di componenti attivi naturali presenti nell'insieme della struttura latero-cemento-verde. L'esperienza maturata sul tetto Blue-Green (PTR 2022-24) verrà applicata al caso studio di Bolzano come strategia per il risparmio energetico degli edifici e, in concomitanza, per la facilitazione del drenaggio urbano. Saranno ampliate le simulazioni microclimatiche ed energetiche degli scenari di mitigazione condotte nel precedente triennio, associate a valutazioni economiche.

WP5: In merito allo studio delle reti termiche a bassa temperatura, come evidenziato nello stato dell'arte, ad oggi ci sono pochissimi studi di tipo sperimentale che trattano la determinazione delle caratteristiche di flessibilità nella gestione del carico elettrico associato alle pompe di calore elettriche "booster" a servizio delle utenze nelle reti termiche a bassa temperatura. Nell'ambito della presente tematica, l'obiettivo è sfruttare e potenziare le competenze e gli impianti realizzati nel corso dei trienni precedenti presso il Centro Ricerche ENEA Portici, per sviluppare e implementare tecniche di gestione flessibile del carico elettrico in reti termiche a bassa temperatura. A tal fine, presso il Centro Ricerche ENEA Portici sarà realizzata una rete termica a bassa temperatura, collegando le pompe di calore booster, già presenti, a sorgenti ed utenze reali e non emulate.

Relativamente allo studio di sistemi di accumulo termico di nuova generazione, le attività mirano a realizzare dei passi in avanti rispetto allo stato dell'arte, e rispetto a quanto già realizzato nel corso del triennio precedente. A tal fine, le attività si concentreranno: i) sulla ottimizzazione di sistemi di accumulo termico di nuova generazione basati sull'impiego di NEPCM (nano-enhanced phase change materials) dinamici, con particolare attenzione al processo dinamico durante la fase di solidificazione, ii) sull'analisi di sistemi di accumulo del freddo basati su PCM con configurazioni innovative del tipo multi-modulo, iii) sullo sviluppo di un sistema di refrigerazione stato solido con l'impiego di più PCM per massimizzare l'efficienza energetica, iv) sull'impiego di campi magnetici per migliorare le prestazioni di NEPCM. Relativamente a quest'ultimo aspetto, il progetto mira a esplorare l'impatto di un campo magnetico su alcune tipologie di materiali a cambiamento di fase, arricchiti con nanoparticelle dotate di proprietà magnetiche. L'obiettivo innovativo dello studio consiste nell'analizzare il comportamento del composto in condizioni cicliche, attraverso ripetuti cicli di carica e scarica, per osservare come il campo magnetico influenzi i processi di fusione e solidificazione, al fine di migliorare le caratteristiche di accumulo e scambio termico, e di evitare la sedimentazione delle nanoparticelle.

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

Le attività proposte sul tema dell'SRI sono connesse alle risultanze del progetto tunES - Tuning EPC and SRI instruments to deliver full potential - finanziato dal programma Europeo LIFE-2022-CET, al quale ENEA e il co-beneficiario UNICAS_DICEM partecipano come partner insieme ad altre 6 agenzie nazionali per l'energia e 2 università europee. Il progetto "tunES" (il cui termine è previsto in agosto 2025) mira a supportare gli Stati Membri dell'UE nell'implementazione e nell'upgrade dell'APE e dell'SRI in conformità con i requisiti della nuova EPBD IV. I risultati attesi di tunES includono lo sviluppo di policy nazionali per ottimizzare l'EPC e l'SRI, la creazione di una raccolta di pratiche per migliorarne l'efficacia e l'integrazione dei due indicatori. In particolare, la metodologia e i risultati del progetto "tunES" (policy option, sviluppo survey, interviste con stakeholder in accordo con la Better Regulation Guideline...) costituiranno la base naturale per lo sviluppo delle attività di supporto all'implementazione dell'SRI in Italia.

Gli studi sulle potenzialità dell'applicazione delle strutture in legno si legano in maniera stretta alle attività effettuate nel progetto BeWoodEN (finanziato dal programma Life 2023 della Commissione Europea); il progetto ha lo scopo di superare le barriere che ostacolano l'utilizzo diffuso del legno e dei materiali bio-based in edilizia.

Inoltre, saranno tenuti in considerazione i risultati del progetto COOL_IT, "Riduzione dei consumi elettrici per la climatizzazione estiva di edifici mediante sviluppo di Cool Materials cementizi ad elevata riflettanza solare" che ENEA ha condotto in collaborazione con Italcementi nell'ambito del programma di Ricerca Elettrico parte B. Le attività si sono concluse con la realizzazione di un brevetto condiviso sui materiali riflettenti in matrice cementizia.

Inoltre l'ENEA è coordinatore nazionale dell'iniziativa del Patto dei Sindaci (<https://eu-mayors.ec.europa.eu/>) che prevede da parte dei Comuni, su scala EU, la proposta e la realizzazione sul territorio di un Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile ed il Clima. Negli ultimi anni, tra le azioni proposte stanno aumentando quelle che prevedono l'implementazione di soluzioni basate sulla natura (NBS), tra cui in particolare i tetti e le pareti verdi su edifici.

ENEA è anche responsabile del Programma Nazionale di Informazione e Formazione sull'Efficienza Energetica, "Italia in Classe A". In questo ambito, oltre a un'opera di supporto alla Pubblica Amministrazione, sono state realizzate Le Linee Guida "Tetti e Pareti Verdi per Edifici" per la PA e gli Enti Territoriali (<https://italiainclassea.enea.it/pubblicazioniventiquattro>).

2.5 Obiettivi e risultati

a) Obiettivi finali del progetto

Le attività del WP1 sono focalizzate sui principali obiettivi della nuova direttiva EPBD 2024/1275, prendendo in esame differenti aspetti di carattere teorico ed applicativo in modo da poter fornire, alla fine del triennio, indicazioni importanti in merito alle metodologie e le applicazioni tecnologiche maggiormente utili per il raggiungimento dei target nazionali energetici ed ambientali previsti nella nuova Direttiva EPBD nonché nel Piano Nazionale integrato Energia e Clima PNIEC.

In particolare, applicazioni innovative per l'involucro edilizio, basate su modelli di riferimento o casi studio reali, saranno studiate mediante metodi di calcolo avanzati, consentendo di individuare soluzioni ad alta efficienza energetica e trarre indicazioni rilevanti in termini di fattibilità tecnico-economica e replicabilità degli interventi. Tale approccio è fondamentale per poter valutare gli effetti di scala sui consumi nazionali e le possibili ricadute di carattere ambientale.

Il WP2 si pone come obiettivo finale lo sviluppo di strumenti e metodologie per migliorare la pianificazione energetica regionale e locale e favorire la sostenibilità nelle aree energeticamente isolate italiane. Sul fronte della pianificazione, mira a superare l'attuale frammentazione tra scenari energetici e analisi multi-benefici, proponendo un approccio sistemico e integrato. In particolare, sviluppa una metodologia innovativa per la redazione di Piani locali di riscaldamento e raffrescamento, in linea con la direttiva EED, basandosi su strumenti esistenti come i PAESC. Introduce inoltre indicatori per mappare il fenomeno della cooling poverty, una problematica emergente, su scala nazionale.

Nelle aree isolate, il progetto punta ad aumentare l'uso di energie rinnovabili attraverso tecnologie avanzate, tra cui micro-eolico, sistemi di energy harvesting e biodigestori di piccola taglia, per produrre acqua calda sanitaria da scarti organici. Integra sistemi fotovoltaici con tecnologie di accumulo termico per migliorare l'efficienza e la flessibilità delle reti elettriche locali. Parallelamente, analizza le barriere tecniche, sociali e operative per garantire l'adozione pratica delle soluzioni proposte, estendendone l'applicabilità anche ad aree montane e interne.

Infine, il progetto valuta strategie per mitigare il surriscaldamento urbano nelle piccole isole, fornendo linee guida per politiche di adattamento climatico e promuovendo condizioni di maggiore benessere ed equità energetica per le comunità locali.

Tra gli obiettivi finali delle attività del WP3 è previsto l'impiego e l'applicazione in edifici reali di tecnologie innovative per l'alimentazione, attraverso il recupero di energia luminosa e termica in ambienti interni, di nuove schede di monitoraggio degli edifici dotate inoltre di supercapacitori e di sensori ecosostenibili a basso consumo energetico. In riferimento alla tecnologia OLED, si punta al miglioramento delle prestazioni dei dispositivi su vetro in termini di intensità, efficienza e area emissiva, eventualmente anche impiegando nuovi materiali biocompatibili, per l'uso in finestre intelligenti. Verranno inoltre messi a punto i materiali e i processi necessari per l'impiego di substrati plastici trasparenti su cui realizzare OLED con emissione di luce colorata o bianca, con un'area emissiva di alcuni centimetri quadri, per offrire nuove soluzioni di illuminazione ad architetti e designer per il Made in Italy. Riguardo le pareti perimetrali responsive

con accumulo termico integrato, i sistemi realizzati durante le attività svolte nel triennio precedente saranno opportunamente caratterizzati, valutando le prestazioni sull'intera stagione termica di funzionamento, sia estiva che invernale consentendone il miglioramento e l'evoluzione mediante accorgimenti tecnici. Infine, tra gli obiettivi del WP rientra un approfondimento sull'integrazione di utenti prosumer nelle reti di teleriscaldamento. In particolare, lo sviluppo di modelli numerici sarà utile per definire diversi scenari di efficientamento delle reti e per valutare l'inserimento di utenti attivi. Inoltre, la realizzazione di un nuovo prototipo di sottostazione di scambio termico bidirezionale con dettaglio pre-commerciale e la successiva installazione permetterà di analizzare alcune delle barriere e delle opportunità legate allo scambio sul posto termico e all'eventuale accesso di terzi alle reti

Uno degli obiettivi finali del WP4 è quello di indagare sperimentalmente le soluzioni abilitanti per la realizzazione di configurazioni di Autoconsumo Collettivo applicabili al parco condominiale esistente. In particolare, utilizzando tecnologie basate sul sector coupling saranno studiate le soluzioni che consentiranno di massimizzare l'autoconsumo locale da fonte rinnovabile elettrica anche nei condomini con impianti termici centralizzati e sistema di distribuzione a radiatori. Per raggiungere questi obiettivi verrà effettuato un upgrade del dimostratore sperimentale S.A.P.I.EN.T.E., con l'installazione di una pompa di calore funzionante ad alta temperatura (PDC-AT). Le prove consentiranno di valutare inoltre la potenzialità di gestire la configurazione AUC condominiale come "prosumer termico" connesso alla rete di teleriscaldamento tramite l'integrazione della pompa di calore alta temperatura e la sottostazione termica bidirezionale studiata nel WP3.

Il progetto ha inoltre l'obiettivo di consolidare e ampliare l'utilizzo di soluzioni e tecnologie di monitoraggio per migliorare la consapevolezza degli utenti sui propri consumi termici, in particolare nei condomini con impianti centralizzati. Il WP4 ha anche l'obiettivo di migliorare e adattare la metodologia di calcolo dello SRI, nonché l'individuazione delle barriere e delle opportunità per supportare la fase di test nazionale prevista dalla EPBD IV e per aumentarne l'efficacia come strumento per la certificazione dei livelli di intelligenza dell'edificio.

Un ulteriore obiettivo è migliorare il know how per supportare i decisori urbani nello sviluppo di politiche di riduzione del consumo di energia per il raffrescamento degli edifici e di adattamento delle città all'isola di calore urbana mediante piani basati sull'applicazione di tecnologie verdi di involucro.

Il WP5, con la realizzazione di una rete di teleriscaldamento/teleraffrescamento a bassa temperatura presso il Centro Ricerche ENEA Portici, ha come obiettivo finale quello di individuare, anche grazie alla implementazione di un modello "ad hoc," le caratteristiche di flessibilità della rete che possono essere utili sia al gestore che agli utenti per definire accordi per la modulazione del carico in Demand Response.

In merito ai materiali a cambiamento di fase saranno individuate nuove soluzioni per la realizzazione di NEPCM dinamici, che non subiscano perdite di efficienza nella trasmissione del calore durante il passaggio di fase liquido a solido. Inoltre, verranno sviluppati e testati sperimentalmente soluzioni innovative per NEPCM con nanoparticelle metalliche, soggetti a campi magnetici per migliorare lo scambio termico ed evitare la sedimentazione.

b) Principali risultati attesi/deliverable

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

WP1: I principali risultati attesi del WP saranno rapporti tecnici sui seguenti focus:

- o Analisi di dati climatici orari derivati dal database internazionale ERA5 ECMWF per l'estrazione di serie temporali relative ai comuni italiani
- o Aggiornamento dei Grado Giorno e analisi di ipotesi di zonizzazione climatica nazionale
- o Selezione e installazione di tecnologie innovative per la mitigazione degli apporti solari su un edificio reale ad uso ufficio
- o Analisi di tecnologie innovative per la mitigazione degli apporti solari su un edificio reale; valutazione degli effetti in termini di condizioni indoor ed implicazioni di carattere energetico
- o Soluzioni innovative per sistemi di involucro edilizio: stato dell'arte, modalità di caratterizzazione e prime analisi sperimentale
- o Testing mediante simulazione di un sistema innovativo di schermatura polimerica tridimensionale per l'ottimizzazione delle prestazioni energetiche degli edifici
- o Determinazione delle proprietà termiche, solari e luminose, emisferiche e direzionali, di sistemi complessi di facciata
- o Protocollo di analisi e caratterizzazione in laboratorio di materiali per il raffrescamento radiativo passivo
- o Studio teorico-applicativo e numerico per l'analisi delle performance energetiche associate ai servizi di illuminazione in edifici a differente livello di integrazione tra luce naturale e artificiale.
- o Misure di efficientamento energetico (EEM) più diffuse per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio e individuazione delle soluzioni potenzialmente standardizzabili
- o Raccomandazioni operative per la PA, che consentiranno di semplificare le procedure di selezione degli interventi di riqualificazione più efficaci
- o Analisi e implementazione della nuova Cost Optimality Methodology prevista dalla Direttiva EPBD
- o Ipotesi di nuovo sistema di classificazione energetica basta su scala assoluta in linea con indicazioni della nuova Direttiva EPBD

- o Analisi di edifici ZEB (Zero Emission Buildings) ad uso residenziale e impatto sulla rete nazionale
- o Analisi di edifici ZEB (Zero Emission Buildings) ad uso uffici e impatto sulla rete nazionale
- o Definizioni di nuovi standard ZEB differenziati per tipologia edilizia e analisi energetica su modelli di riferimento
- o Sviluppo di algoritmi e correlazioni utili a commisurare gli incentivi pubblici al risparmio energetico perseguito con riferimento a condizioni climatiche e d'uso standard.

WP2:

- o Creazione di un modello di calcolo per gli scenari energetici regionali, utile a confrontare il potenziale massimo tecnico economico regionale con il corrispondente output gap, inclusivo della valutazione dei benefici multipli.
- o Realizzazione e validazione sperimentale di una caldaia progettata per l'alimentazione a biogas
- o Realizzazione e applicazione sperimentale di sistemi di controllo per sistemi di produzione di acqua calda connessi a impianto fotovoltaico e a una o più soluzioni di accumulo basati su logiche di ottimizzazione
- o Messa a punto del sistema di comunicazione bidirezionale per l'acquisizione delle informazioni sullo stato del sistema di accumulo di ACS e per il controllo dell'accensione e dello spegnimento dello stesso
- o Definizione e validazione di un modello CFD per la stima di profili di velocità del vento in contesti isolati, e applicazione in un'isola del territorio nazionale
- o Sviluppo di un modello di supporto decisionale per la progettazione con materiali legnosi.
- o Implementazione di scenari di applicazione delle costruzioni in legno sul territorio italiano.

WP3:

- Analisi, valutazione e caratterizzazione 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.
- Sensore a basso consumo energetico ed eco-sostenibile: layout dei dispositivi; scelta dei materiali funzionali; processi di deposizione; caratterizzazione dei materiali e degli strati attivi; ottimizzazione.
- Accumulo (supercapacitore) eco-sostenibile ad alte prestazioni energetiche: layout di interconnessione; scelta dei materiali; caratterizzazione; ottimizzazione.
- Up-scaling dimensionale e ottimizzazione dei dispositivi fotovoltaici PSC per l'integrazione con elementi di arredo e con finestre.
- Celle PSC opache e bifacciali semitrasparenti.
- Materiali per dispositivi termoelettrici e termoelettrogalvanici: sintesi di polimeri organici e organometallici e sistemi redox alternativi a base di composti metallo-organici.
- Moduli termoelettrici e termoelettrogalvanici flessibili orientati ad applicazioni flessibili: realizzazione e caratterizzazione di prototipi.
- Aggiornamento e/o nuova progettazione dei circuiti di pilotaggio dei sensori a basso consumo energetico, di gestione del comparto supercapacitore/batteria e di interfaccia con una o più sorgenti di recupero energetico.
- Ottimizzazione della scheda di monitoraggio ambientale a recupero energetico: progetto hardware; layout del circuito stampato (PCB); software di controllo; progetto gateway con software di controllo; sistema di data repository e visualizzazione dati.
- Installazione e messa in esercizio in ambiente rilevante della piattaforma composta da sistemi per il recupero e l'accumulo di energia e per il monitoraggio degli edifici, inclusa l'analisi dei dati raccolti.
- Sorgenti luminose OLED su substrato di vetro, trasparenti e/o semitrasparenti, con emissione di luce bianca e/o colorata, caratterizzate da prestazioni migliorate per intensità luminosa, efficienza e dimensioni dell'area emissiva.
- Sorgenti luminose OLED su substrato plastico flessibile trasparente.
- Caratterizzazione sperimentale del prototipo dimostrativo di pareti responsive a trasmittanza termica variabile e con accumulo termico integrato e l'analisi in ambiente dinamico dei benefici ottenibili.
- Modello dinamico di rete e sottostazione per il teleriscaldamento attivo.
- Sviluppo, implementazione e sperimentazione sul prototipo di sottostazione esistente di opportune strategie per l'estensione e l'ottimizzazione della quota di autoconsumo mediante l'integrazione con pompa di calore.
- Realizzazione, caratterizzazione in laboratorio e installazione di un nuovo prototipo di sottostazione di scambio termico bidirezionale con dettaglio pre-commerciale.
- Analisi di comunità energetiche rinnovabili di tipo termico e integrazione in reti energetiche complesse.
- Analisi multivettore delle migliori modalità di soddisfacimento del fabbisogno energetico in ambiti urbani: confronto fra soluzioni di teleriscaldamento e soluzioni distribuite.

WP4:

- Prove sperimentali con Pompa di Calore Alta Temperatura con dimostratore S.A.P.I.EN.T.E. per valutare le performance di una configurazione Autoconsumo Collettivo Condominiale con: i) accumulo termico locale gestito a temperature più elevate; ii) sottostazione termica bidirezionale per connessione alla rete di teleriscaldamento in modalità "scambio sul posto termico",
- Prove sperimentali con sistema di poligenerazione di Valenzano per verificare le configurazioni che possono garantire allo stock

condominiale le nuove quote da FER indicate dal D.lgs. 199/21

- Prove sperimentali con sistema ADLAS (Automatized DSM-DR Logics Application System) installato presso S.A.P.I.EN.T.E. per verificare le nuove funzionalità predittive applicate alle logiche di Demand Side Management per migliorare l'autoconsumo da FER nelle configurazioni AUC condominiale;
- Ampliamento della funzionalità della piattaforma EMPOWER per condomini con contabilizzazione termica individuale: implementazione di un indicatore semplificato per i consumi di raffrescamento estivo, di un indicatore economico per i consumi termici e di un indicatore che valuti l'impatto ambientale dei consumi – analisi dati stagionali di uno o più condomini che utilizzano la piattaforma EMPOWER per valutare i benefici in termini di comfort e consumi ottenibili dalla maggiore consapevolezza energetica degli utenti;
- Risultati conseguiti nell'ambito delle attività di supporto alla fase di test nazionale dello Smart Readiness Indicator: investigazione degli approcci di calcolo "Smart Ready" e "Smart Possible"; prima valutazione sull'integrazione dell'SRI con l'APE; somministrazione di un training specifico ai tecnici, propedeutico all'asseverazione indipendente dell'SRI; predisposizione di un portale dedicato per facilitare il calcolo da parte degli operatori e la raccolta delle valutazioni durante la fase di test nazionale;
- Tecnologie verdi di involucro (TVI): il progetto fornirà alla comunità scientifica, agli stakeholder e ai decisori politici, strumenti, indicazioni di policy e una raccolta di best practice per valutare e confrontare piani riqualificazione energetica basati sull'implementazione di TVI, in modo da ottimizzare l'aspetto energetico, microclimatico ed economico.

WP5:

- Realizzazione di un modello di simulazione dinamica per l'analisi e la progettazione di una rete termica a bassa temperatura. Questo modello sarà utilizzato come supporto alla progettazione e all'ottimizzazione della rete termica a bassa temperatura, e per analizzare in dettaglio il funzionamento della rete e le strategie di flessibilità;
- Progettazione, simulazione numerica, realizzazione, e caratterizzazione sperimentale di sistema di condizionamento basato sulla tecnologia Peltier e integrato a sistemi di accumulo termico ottenuti con l'utilizzo di PCM;
- Sviluppo di test facilities e analisi sperimentale di sistemi di accumulo NEPCM con controllo della stabilità tramite campi magnetici esterni;
- Definizione di tool di modellazione numerica che sarà in grado di simulare il comportamento del sistema di accumulo NEPCM in grado di prevedere gli effetti del campo magnetico sulla sedimentazione delle nanoparticelle metalliche.
- Analisi LCA di sistemi di accumulo NEPCM;
- Progettazione e realizzazione di un sistema di accumulo del freddo a PCM multi-modulo e a cascata; sviluppo e verifica sperimentale sia di un modello predittivo agli elementi finiti sia di un modello di ordine ridotto in grado di predire il comportamento termico del sistema in esame con una buona accuratezza.
- Ottimizzazione sperimentale, mediante l'implementazione di un controllore intelligente, del funzionamento del sistema di accumulo del freddo a PCM, in termini di quota di utilizzo rispetto alle condizioni di carico e alle condizioni ambientali.

2.6 Fattibilità tecnico-scientifica

a) Fattibilità tecnico-scientifica

Gli obiettivi nazionali di efficientamento energetico individuano il civile (residenziale e terziario) tra i settori di consumo a cui indirizzare prioritariamente gli interventi di efficienza energetica (lo stesso, infatti, è responsabile attualmente di circa il 44% dei consumi finali di energia nazionali).

Come previsto dal PNIEC 2024 "nel settore civile sarà necessario intervenire in particolare sulla riduzione dei fabbisogni energetici degli edifici attraverso interventi di riqualificazione profonda, e attraverso un incremento della diffusione di sistemi tecnici altamente performanti come le pompe di calore e i sistemi BACS (Building Automation Control System). Il fabbisogno dovrà poi essere soddisfatto prevalentemente da fonti rinnovabili, per cui sarà importante favorire l'integrazione delle rinnovabili termiche ed elettriche negli edifici". Tutte tematiche presente nella proposta progettuale.

In particolare, le attività proposte all'interno del tema "Modelli, strategie e soluzioni tecnologiche per l'efficienza energetica al servizio del territorio" (WP2) prevedono lo studio di sistemi che integrano l'utilizzo delle pompe di calore per ACS con sistemi di accumulo e logiche di controllo per migliorare la quota di utilizzo di FER nelle isole minori e nei contesti isolati. Per il "tema "Promozione dell'efficienza energetica degli edifici attraverso l'incremento dell'autonomia, della flessibilità e della consapevolezza dei consumi"(WP4) il progetto prevede i) l'utilizzo di pompe di calore ad alta temperatura nei condomini dotati di sistemi di emissione tradizionale (es. radiatori) per ottimizzare l'autoconsumo termico ed elettrico da FER, ii) lo studio di sistemi di automazione e controllo nei condomini per valutarne sperimentalmente le relative capacità di monitorare, controllare e ottimizzare la prestazione energetica. iii) applicazione dello Smart Readiness Indicator come strumento per migliorare la consapevolezza dei proprietari e progettisti sui benefici ottenibili dall'utilizzo dei sistemi di Building Automation negli edifici.

Si evidenzia, inoltre, che come indicato dal PNIEC, i target introdotti dalla nuova direttiva europea EPBD in termini di riqualificazione del parco edilizio nazionale (riduzione del consumo medio di energia primaria del 16% entro il 2030 e del 20-22% entro il 2035, rinnovato il 16% degli edifici non residenziali con le prestazioni peggiori entro il 2030 ed il 26% entro il 2033) potranno essere raggiunti "grazie

all'introduzione di nuovi materiali e nuove tecnologie in ambito domestico, all'adozione di nuovi standard costruttivi e di dispositivi di uso finale, all'efficientamento dell'involucro edilizio, a una maggiore diffusione delle rinnovabili termiche e del teleriscaldamento, oltre che alla maggiore diffusione di riqualificazioni profonde del parco immobiliare esistente"

In linea con le indicazioni del PNIEC le attività proposte all'interno del tema "Strumenti e tecnologie per la riqualificazione del parco edilizio nazionale" (WP1) riguardano lo studio di tecnologie e materiali innovativi ad alta efficienza per l'involucro edilizio per la riqualificazione del parco immobiliare nazionale. Nell'ambito del tema "Tecnologie e componenti innovativi per l'incremento della prestazione energetica degli edifici" (WP3) saranno perfezionate nuove tecnologie in ambito domestico per il monitoraggio degli edifici basate su sistemi a basso consumo e basso impatto ambientale, verranno sperimentati nuovo standard costruttivi basate su pareti responsive, abili allo stoccaggio di energia termica. Saranno studiate le soluzioni abilitanti per una maggiore diffusione delle rinnovabili termiche che prevedono la connessione degli utenti attivi (prosumer termici) alle nuove reti teleriscaldamento tramite sottostazioni bidirezionali. In particolare nella linea "Le reti termiche a bassa temperatura nella transizione energetica" saranno studiate le strategie innovative per l'integrazione pompe di calore nelle reti di teleriscaldamento a bassa temperatura per una gestione flessibile del carico elettrico per il condizionamento ambientale degli edifici.

In generale gli obiettivi e i risultati attesi dal progetto sono valutati raggiungibili e realistici in quanto le soluzioni innovative su cui si basa la proposta saranno oggetto di modellazione numerica, validazione e sperimentazione in ambienti idonei (es. laboratori, test rig, ecc.), oltre a prevedere il coordinamento con importanti istituti universitari co-beneficiari, operanti a livello internazionale nei relativi campi di ricerca. L'avanzamento delle attività di progetto sarà opportunamente monitorato, così da poter introdurre azioni di mitigazione e/o adattamento alle singole criticità emergenti.

Il progetto comprende 79 linee di attività realizzate da ENEA insieme a 32 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 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. Francesco Baldi per il WP2, ing. Paolo Sdringola per il WP3, ing. Alessandro Lorenzo Palma 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 Co-beneficiari. Inoltre, ENEA ha anche definito i 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 come di seguito riportato per singolo WP.

WP1:

L'analisi di differenti aspetti, di carattere teorico ed applicativo, considerati nelle varie linee di ricerca, consentirà di individuare le migliori strategie per la riqualificazione del parco immobiliare nazionale, in linea con gli obiettivi della nuova Direttiva EPBD.

Le attività svolte, finalizzate all'applicazione di elevati standard in termini di efficienza energetica per gli edifici del parco nazionale, prendono in esame l'implementazione di metodologie per la verifica del risparmio energetico derivante da interventi basati su nuove tecnologie per l'involucro e/o gli impianti. Nelle linee di ricerca a carattere maggiormente applicativo, come quelle rivolte allo studio di materiali e componenti innovativi per l'involucro edilizio, nelle analisi condotte, si terrà conto non solo delle performance energetiche, ma anche del possibile superamento di aspetti critici quali la durabilità, o la facilità di integrazione nell'edificio, che possono limitarne l'effettiva penetrazione sul mercato. Per l'analisi di interventi focalizzati su edifici reali, si valuterà l'effettiva possibilità di applicazione della tecnologia esaminata nel caso in esame, considerando costi e tempi necessari all'installazione, e optando, all'occorrenza, alla valutazione di interventi alternativi. Le simulazioni eseguite su modelli di riferimento del parco costruito italiano, saranno definite in modo ottenere oltre alle valutazioni energetiche anche la fattibilità tecnica ed economica degli interventi individuati.

Le principali milestone del WP1 sono:

- Aggiornamento e ipotesi di modifica della zonizzazione climatica nazionale secondo i criteri del DPR. 412/93;
- Applicazione di tecnologie innovative per la mitigazione degli apporti solari su un edificio reale ad uso ufficio. Monitoraggio di grandezze termoisometriche e/o termofisiche, analisi degli effetti di mitigazione in termini di comfort indoor e disponibilità di daylight;
- sviluppo e implementazione di sistemi innovativi di schermatura solare, con una serie di output chiave volti a ottimizzare l'efficienza energetica, il comfort termico e luminoso, e la gestione dinamica delle schermature;
- valutazione delle proprietà solari e termiche di sistemi trasparenti complessi che inglobino film sottili trasparenti mobili;
- analisi energetica di edifici equipaggiati con alcune delle soluzioni tecnologiche individuate per i sistemi complessi di facciata;
- implementare un protocollo operativo per la valutazione dei materiali per il raffrescamento radiativo passivo, integrando condizioni statiche e dinamiche per simulare una vasta gamma di ambienti climatici reali;

- implementazione di strumenti e soluzioni pratiche per guidare e ottimizzare gli interventi di riqualificazione energetica degli edifici pubblici;
- linee guida per l'applicazione nazionale della nuova metodologia comparativa per il calcolo dei livelli ottimali, in termini di costi, dei requisiti minimi di prestazione energetica (Cost Optimality) in linea con la nuova EPBD;
- definizione di una metodologia di aggiornamento della classificazione energetica degli edifici, in ottemperanza della direttiva (UE) 2024/1275;
- analisi di Zero Emission Buildings ad uso residenziale e ad uso uffici e impatto sul consumo elettrico nazionale
- proposta di una metodologia per la definizione degli standard di prestazione energetica e ambientale da soddisfare per rientrare nella categoria "Zero Emission Building" (ZEB)
- sviluppo di algoritmi e correlazioni utili a commisurare gli incentivi pubblici al risparmio energetico perseguito con riferimento a condizioni climatiche e d'uso standard.

WP2:

In riferimento al tema delle aree energeticamente isolate, l'attività si concentrerà sulla valutazione di tecnologie per migliorare l'efficienza di conversione energetica e per favorire l'integrazione di fonti rinnovabili. Questo approccio vedrà in parte una estensione delle attività sui sistemi già avviate nel precedente triennio (soluzioni tecnologiche per generazione di acqua calda sanitaria da biogas prodotto da biodigestori di piccola taglia, o utilizzando impianti basati su fotovoltaico e pompa di calore dotati di accumulo elettrico e termico) e in parte l'avvio di studi su nuove soluzioni tecnologiche (quali l'energy harvesting e il micro-eolico). A livello metodologico, si lavorerà combinando un approccio numerico/simulativo a un approccio sperimentale, sfruttando da un lato le potenzialità fornite dalla modellazione numerica per la valutazione di alternative sia in termini di progettazione che di controllo, e dall'altro la possibilità offerta dai numerosi impianti sperimentali ENEA per validare gli approcci proposti.

Lo studio della pianificazione energetica territoriale si concentrerà sulla regionalizzazione degli scenari energetici italiani descritti nel PNIEC, e sull'integrazione negli stessi di valutazioni relative alla povertà energetica e ai benefici multipli dell'efficienza energetica. Le attività si basano sull'esperienza pluriennale di ENEA sul tema e su di un approccio metodologico già in parte sviluppato in precedenti attività. In questa fase sarà di cruciale importanza la raccolta di dati con la sufficiente granularità da permettere analisi a livello locale. In riferimento al tema del ruolo degli Enti del Terzo Settore (ETS) nella transizione energetica, l'attività si pone come obiettivo quello di elaborare nuove conoscenze su struttura, attività e regolamentazione del Terzo Settore italiano per supportare il riconoscimento di un ruolo prioritario alla riqualificazione del relativo parco immobiliare. Questo verrà svolto tramite analisi documentali relative agli ETS, con particolare riferimento alla comprensione del relativo contesto normativo e strutturale, e alla valutazione del parco immobiliare e del relativo potenziale di riduzione dei consumi tramite efficientamento energetico. L'analisi documentale sarà corroborata tramite un'indagine conoscitiva tramite questionari. Saranno quindi sviluppate metodologie dedicate all'analisi quantitativa e qualitativa dell'impatto sociale ed economico derivante dall'implementazione di misure di efficienza energetica nel settore degli ETS. La disponibilità di dati esistenti e la difficoltà di raggiungere un ampio pubblico per la somministrazione del questionario rappresentano potenziali criticità, ma il ruolo istituzionale di ENEA e la forte connessione esistente con enti locali e realtà attive sul territorio permetteranno una efficace diffusione del questionario e daranno la possibilità di reperire i dati utili tramite canali alternativi.

Lo studio delle potenzialità in termini di sostenibilità dell'utilizzo del legno sul territorio italiano e di materiali innovativi ad esso associati, sarà condotto con una iniziale analisi di contesto e di mercato seguite da test di laboratorio; i risultati verranno utilizzati per la valutazione delle relative potenzialità tramite un approccio modellistico, e per una analisi ambientale ed economica di filiera. Trattandosi di materiali innovativi, esiste la potenziale criticità di reperimento sul mercato di quelli individuati come più performanti, comunque eventualmente compensabile rivedendo i criteri di selezione. La combinazione di approccio bibliografico, modellistico e sperimentale permette un'analisi completa della tematica e risulta pienamente adatta al raggiungimento degli obiettivi di progetto.

Le principali milestones del WP2 sono:

- Elaborazione di una metodologia per "regionalizzare" lo scenario energetico nazionale del PNIEC in un'ottica di multilevel governance, in grado di integrare i benefici multipli nella valutazione degli impatti di misure di policy regionali;
- Realizzazione in ambiente numerico di un controllo predittivo per sistemi smart di generazione di acqua calda da fotovoltaico; relativa implementazione in ambito laboratoriale;
- Realizzazione e prova di caldaia commerciale per ACS ottimizzata per alimentazione da biogas prodotto da biodigestore di piccola taglia
- Prove in condizioni reali di funzionamento del sistema integrato pompa di calore – free solar cooling
- Definizione del modello per la stima dell'effetto soiling su impianti fotovoltaici partendo da variabili e previsioni atmosferiche
- Sviluppo di uno strumento web per simulazione di scenari di efficientamento energetico a livello di quartiere o di gruppi di edifici.
- Realizzazione di una indagine conoscitiva sullo sviluppo dell'efficienza energetica negli Edifici del Terzo Settore, elaborazione di raccomandazioni per i decisori pubblici
- Identificazione di un set di scenari di progetto basati su sistemi tecnologici in legno per la realizzazione di nuovi edifici ZEB

WP3:

In riferimento al sistema per il recupero e l'accumulo di energia e per il monitoraggio degli edifici, le soluzioni innovative proposte sono già state validate in laboratorio nel precedente triennio e i risultati sulla fabbricazione di dispositivi eco-sostenibili (sensori e supercapacitori) e sulla scheda ibrida sono stati pubblicati su riviste scientifiche internazionali. I principali punti critici riguardano la connessione dei dispositivi in un sistema completo e la validazione in ambienti reali, come condomini o scuole. Per affrontare eventuali criticità, si prevede l'acquisto di dispositivi commerciali conformi per sostituire componenti malfunzionanti. L'analisi dei consumi ha mostrato un surplus energetico giornaliero del 40%, garantendo un funzionamento affidabile e sostenibile. L'uso di dispositivi eco-sostenibili contribuirà a ridurre i costi di gestione a lungo termine e a migliorare il profilo ambientale.

Per la tecnologia OLED le attività si concentreranno sull'ottenere dispositivi trasparenti e sul trasferire da substrati di vetro a substrati di plastica trasparente e flessibile le capacità di processo finora acquisite. Saranno adeguati i layout dei dispositivi per aumentare l'area emissiva. Nel Laboratorio ENEA SSPT-TIMAS-CMS sono impiegati, tra gli altri, tutti i processi per la deposizione dei materiali che costituiscono gli OLED. Inoltre, sono disponibili i software per disegnare i layout e i sistemi per preparare le maschere, fotolitografie e da evaporazione, necessarie per ottenere tali layout. Unico vincolo, dettato dai sistemi di processo installati, è la dimensione massima dei campioni utilizzabili, di 100 mm X 100 mm.

Per le pareti responsive alle diverse condizioni climatiche esterne ed interne, abili allo stoccaggio di energia termica, la sperimentazione in condizioni reali di funzionamento permetterà di ottenere la caratterizzazione energetica reale dei manufatti, già installati nel triennio precedente nella porzione di edificio oggetto di indagine. I risultati potranno essere confrontati con i dati derivanti dalle simulazioni realizzate in fase di progettazione. Sarà possibile valutare ulteriori modifiche/miglioramenti dei sistemi con il fine di elevarne il comportamento e le prestazioni termiche.

In relazione al teleriscaldamento, le attività di modellazione numerica saranno effettuate mediante 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'ottimizzazione della quota di autoconsumo mediante integrazione con pompa di calore sarà condotta nella medesima test facility in cui sono state già condotte altre campagne prova. La stessa facility sarà utilizzata anche per caratterizzare il nuovo prototipo di sottostazione bidirezionale in assetto pre-commerciale. 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 e sensori funzionanti.
- Test e validazione dei dispositivi, assemblaggio e prove in laboratorio del sistema completo per il recupero e l'accumulo di energia e per il monitoraggio degli edifici.
- Installazione del suddetto sistema e campagna di monitoraggio in ambiente reale.
- 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, campagna di monitoraggio.
- Progettazione di una sottostazione di scambio termico bidirezionale pre-commerciale, realizzazione e installazione presso un'utenza connessa a rete esistente.

WP4:

Le soluzioni innovative per massimizzare l'autoconsumo da FER nello stock condominiale nazionale, verranno studiate e provate con la test facility S.A.P.I.EN.T.E. installata presso il C. R. ENEA di Casaccia, la cui gestione e il cui funzionamento è stato ampiamente validato nel precedente triennio. In particolare, la soluzione da studiare prevede l'integrazione e la gestione di una pompa di calore ad alta temperatura in una configurazione AUC condominiale riprodotta con il dimostratore sperimentale S.A.P.I.EN.T.E. Per evitare e superare possibili criticità nella conduzione delle campagne di prove, si prevede di installare una pompa di calore ad alta temperatura del tipo commerciale, il cui sistema di gestione sia integrabile con il sistema di controllo della test facility. Le prove sperimentali, che prevedono la connessione del sistema S.A.P.I.EN.T.E. con la sottostazione termica bidirezionale, verranno condotte in modalità hardware in the loop. Questa modalità, ampiamente validata nel precedente triennio, consentirà di connettere virtualmente la pompa di calore alla sottostazione termica bidirezionale, descritta nel WP3 e funzionante presso un altro sito.

Tra le soluzioni innovative su cui si basa la proposta, è previsto inoltre lo sviluppo della scheda ADLAS per migliorare l'autoconsumo da FER nelle configurazioni AUC attraverso l'applicazione di logiche Demand Side Management. Il progetto prevede l'utilizzo di una tecnologia già validata nello scorso triennio, aggiornata con funzionalità predittive innovative basate sull'impiego di intelligenza artificiale.

Lo studio dell'effetto di tetti verdi e tetti Blue-Green sul risparmio energetico degli edifici e sulla mitigazione dell'isola di calore urbana verrà condotta estendendo le misure sperimentali condotte con il caso studio realizzato presso la città di Bolzano e i manufatti già installati nel triennio precedente presso il C.R. ENEA di Casaccia. Le sperimentazioni in ambiente urbano reale e la correlazione tra

misurazioni termografiche e simulazioni microclimatiche garantiranno una valutazione precisa dei benefici.

L'installazione della nuova componentistica, dei sistemi di controllo avanzati, di nuove tecnologie e la relativa sperimentazione comporteranno dei costi iniziali; allo stesso tempo è previsto che gli stessi comporteranno importanti benefici ambientali ed energetici per i casi studio che se estesi allo stock edilizio potranno fornire un contributo sensibile al raggiungimento degli obiettivi nazionali.

Le principali milestone del Work Package 4 sono:

- Dimostratori sperimentali di soluzioni innovativi per migliorare l'autoconsumo da fonti rinnovabili nei sistemi condominiali attraverso il sector coupling del vettore elettrico e termico;
- Sviluppo sistema ADLAS (Automatized DSM-DR Logics Application System) con funzionalità predittive basate su Intelligenza Artificiale per la gestione ottimizzata delle configurazioni AUC condominiali
- Applicazione dei sistemi informativi di edificio (piattaforma EMPOWER) a condomini reali per valutare sperimentalmente i benefici energetici ottenibili dalla maggiore consapevolezza degli utenti sui propri consumi termici;
- Valutazione dello Smart Readiness Indicator nella fase di test nazionale;
- Rilievi mesoscala attraverso valutazioni della "land surface temperature" dei tetti target di Bolzano (tetti inverditi semplici e complessi, e tetti tradizionali). Realizzazione di rilievi microscala con drone e sensori termici in situ. Correlazione tra tutti i rilievi e definizione statistica del range di errore;
- Avanzamento tecnologico con camere spettrali per l'ottimizzazione della performance termica della componente vivente del sistema Blue-Green;
- Scenari di adattamento all'Isola di Calore Urbana. Valutazione economica degli scenari e sviluppo di indicazioni di policy;

WP5:

La fattibilità tecnico-scientifica delle attività sulle reti termiche a bassa temperatura è legata alla possibilità, reale, di utilizzare i sistemi di accumulo termico per realizzare una gestione flessibile del carico elettrico delle pompe di calore booster. Uno degli aspetti più importanti, che determinerà l'applicabilità dei risultati nel breve periodo, è rappresentato dal rapporto costi-benefici relativo all'installazione di accumuli termici opportunamente dimensionati al fine di ottenere una gestione flessibile del carico.

Per quanto riguarda le attività sull'accumulo termico innovativo basato sull'impiego dei PCM, oltre allo sviluppo di nuove idee che porteranno allo sviluppo di alcuni prototipi nel corso del progetto, un aspetto cruciale è rappresentato dallo sviluppo di un controllore intelligente per l'accumulo a PCM multi-modulo che sarà testato sperimentalmente, per la gestione dell'input, rappresentato essenzialmente dalla distribuzione delle portate del fluido termovettore nei vari moduli.

Principali milestone del WP5:

- Realizzazione della rete termica a bassa temperatura con sorgenti ed utenze reali presso il C.R. ENEA Portici;
- Implementazione sperimentale, in un ambiente operativo, di tecniche per la gestione del carico elettrico delle pompe di calore booster connesse alla rete termica;
- Sviluppo di strategie di flessibilità energetica delle reti termiche a bassa temperatura;
- Realizzazione e caratterizzazione sperimentale di un sistema di condizionamento ambientale basato sulla tecnologia Peltier integrato con sistemi di accumulo termico a PCM;
- Validazione del tool di simulazione numerica basato su tecnica CFD;
- Verifica del metodo proposto per mitigare la sedimentazione delle nanoparticelle nei materiali a cambiamento di fase, sia su scala microscopica che su scala di laboratorio;
- Definizione di uno strumento basato su modellazione numerica che sarà in grado di simulare il comportamento del sistema di accumulo, basato sull'uso del NePCM, cui è applicato un campo magnetico esterno;
- Ottimizzazione del funzionamento del sistema di accumulo del freddo a PCM multi-modulo a cascata in condizioni operative.

2.7 Impatto sul sistema energetico e benefici attesi

a) Impatto e benefici sul sistema energetico

La proposta progettuale è focalizzata sulle tematiche presenti nei principali documenti europei di indirizzo strategico, tra cui il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) che identifica il settore civile tra quelli maggiormente significativi per il raggiungimento dei nuovi ambiziosi obiettivi nazionali di riduzione delle emissioni di gas serra. In particolare, l'adozione di misure di accelerazione nel ritmo di efficientamento degli edifici esistenti, rafforzata da una maggiore diffusione di interventi di riqualificazione profonda e dall'applicazione di tecnologie particolarmente performanti (es. pompe di calore e sistemi BACS) consentirà al settore civile una riduzione di circa 27 MtCO_{2eq} al 2030 rispetto ai valori del 2005.

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, il progetto intende contribuire agli obiettivi sopra riportati e ai benefici per il sistema energetico con: i) l'applicazione

di soluzioni innovative per l'involucro edilizio e gli impianti a servizio degli edifici, ii) l'utilizzo di strumenti, metodologie di calcolo e indicatori più accurati per l'analisi del fabbisogno energetico e la migliore consapevolezza dei consumi iii) la diffusione di sistemi orientati ad un maggiore autoconsumo locale delle fonti rinnovabili limitando l'impatto con la rete elettrica e facilitando il raggiungimento delle quote da FER previste dal D.Lgs. 199/21 (60% per la produzione di acqua calda sanitaria, riscaldamento e la climatizzazione estiva). 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.

Si fa in particolare riferimento alle linee di ricerca, di carattere teorico e applicativo, che potranno fornire soluzioni efficaci e mirate per la definizione di metodologie e interventi di riqualificazione energetica degli edifici come quelle relative all'uso di materiali a basso impatto ambientale, come il legno e altre soluzioni bioclimatiche, per migliorare le prestazioni ecologiche e ridurre le emissioni di CO₂ incorporate, in accordo alla EPBD IV; quest'ultima prevede infatti che tutte le nuove costruzioni residenziali dovranno essere edifici a emissioni zero entro il 2030.

Puntando all'autonomia totale dalla rete e mirando ad una riduzione del consumo di fonti fossili, il progetto prosegue nello sviluppo e nella ottimizzazione di soluzioni harvesting per l'alimentazione della sensoristica e dei sistemi di monitoraggio attraverso soluzioni che convertono l'illuminazione e il calore negli edifici in elettricità. Il sistema a recupero energetico oggetto di studio è caratterizzato da consumi (per ogni ciclo di misura) ridotti di circa due ordini di grandezza rispetto ai sistemi commerciali per il monitoraggio della qualità dell'aria indoor. Inoltre, alcuni dispositivi, come il supercapacitore e il sensore a basso consumo energetico, sono realizzati con materiali e metodi a basso impatto ambientale, contribuendo alla diminuzione dell'uso di dispositivi standard il cui fine vita incrementa la produzione di rifiuti elettronici.

In riferimento alla tecnologia OLED, l'uso di substrati in plastica impone temperature più basse nei processi di fabbricazione dei dispositivi, rispetto a quelle utilizzabili con i substrati di vetro, e quindi un risparmio energetico nella produzione. Inoltre, potendo applicare gli OLED trasparenti su plastica alle finestre convenzionali "non smart", si amplia la platea dei possibili utilizzatori: l'utente finale non è costretto ad installare sistemi ex-novo, riducendo i costi di applicazione, e può beneficiare del risparmio energetico derivante dall'efficienza degli OLED e dalla loro integrazione con i sistemi di domotica e climatizzazione. Grazie alla qualità della luce OLED, alla possibilità di modularne l'intensità e, impiegando sorgenti trasparenti, di poterla combinare a piacimento con la luce naturale, è possibile usare solo la quantità di luce artificiale necessaria a mantenere il livello desiderato di luminosità negli interni (ad es., al crepuscolo o all'alba o per cielo nuvoloso). Ciò significa che le sorgenti artificiali non devono essere attivate sempre al 100% della loro potenza, riducendo quindi i consumi. Le potenzialità dell'oggetto proposto lo rendono applicabile ed utilizzabile sia in interni sia in esterno. Per il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione le strategie UE e nazionali prevedono varie misure volte sia al contenimento dei fabbisogni che ad un maggiore impiego delle fonti rinnovabili di energia. L'edificio, 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: i) alla riduzione dei fabbisogni mediante l'impiego di pareti perimetrali responsive a trasmittanza termica variabile e controllabile; ii) alla disconnessione dei fabbisogni dalla produzione di energia termica, mediante l'impiego di accumuli integrati nelle stesse pareti perimetrali; ad una maggiore penetrazione delle fonti rinnovabili; iii) alla gestione ottimizzata dei carichi sulla rete elettrica al suo bilanciamento.

Le attività condotte in relazione al teleriscaldamento (TLR) ed in particolare sul ruolo degli utenti attivi si inquadrano nel 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. In particolare, è stato stimato un potenziale tecnico-economico del TLR efficiente al 2030 pari a 20,9 TWh di energia termica erogata (circa il doppio dei 9,8 TWh del 2018), a cui corrispondono 3.700 km di reti e nuove volumetrie allacciate per 340 mln di m³; i relativi benefici ambientali sono stati quantificati in termini di risparmio di energia primaria fossile per 285 ktep ed emissioni evitate di gas serra per 552 ktCO₂ (GSE, 2021).

Con i nuovi dimostratori sperimentali che prevedono lo studio di soluzioni per favorire il sector-coupling, ovvero l'utilizzo di energia rinnovabile elettrica in eccesso per utilizzi termici, verrà valutata la possibilità di incrementare fino al 100% il coefficiente di autoconsumo fisico dell'energia prodotta dagli impianti rinnovabili presenti nelle configurazioni di Autoconsumo Collettivo Condominiali comportando minori perdite e un minore impatto sulla rete elettrica nazionale. Inoltre, applicando le soluzioni sperimentali (es. applicazione pompa di calore alta temperatura e integrazione di sottostazioni bidirezionali nelle configurazioni AUC per connessione alle reti di TLR attive) si prevede di ottenere elevati valori di autosufficienza da FER per la climatizzazione a l'ACS anche nei contesti con maggiore complessità come quello del parco condominiale esistente. Tra le soluzioni innovative studiate dal progetto, il dispositivo ADLAS (Automatized DSM-DR Logics Application System) faciliterà l'applicazione di logiche del Demand Response (DR) per migliorare l'utilizzo da FER elettriche e termiche negli edifici in configurazione AUC; lo stesso 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. Lo sviluppo di metodologie di demand response per una gestione flessibile del carico termico degli edifici e di sistemi di accumulo termico di nuova generazione possono avere dei notevoli risvolti sul sistema elettrico nazionale. 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.

L'applicazione delle logiche DR e l'interazione con la rete elettrica sono tra le funzionalità intelligenti valutate dallo Smart Readiness Indicator applicato agli edifici come previsto dalla Direttiva EPBD e oggetto di studio del progetto. Secondo uno studio promosso dalla Commissione Europea, l'adozione dello SRI potrebbe sbloccare nell'Unione Europea importanti investimenti sulle tecnologie intelligenti negli edifici, con una riduzione di emissioni di gas serra fino a 32 milioni di tonnellate annue entro il 2050 rispetto allo scenario base. Le tecnologie intelligenti, infatti, giocano un ruolo fondamentale nella digitalizzazione e transizione energetica del parco immobiliare, rendendolo più efficiente, più sostenibile e anche più focalizzato sulle esigenze degli utenti.

Il progetto si pone l'obiettivo, inoltre, 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 estiva. In particolare, l'ottimizzazione delle configurazioni delle Tecnologie verdi di Involucro (TVI) selezionate servirà al fine di massimizzare i benefici energetici e microclimatici legati alla loro applicazione, come: i) la diminuzione nell'uso di energia primaria per la climatizzazione degli edifici, ii) la mitigazione delle isole di calore urbane per migliorare le condizioni di vita all'interno delle città e ridurre le patologie cardiorespiratorie connesse alle alte temperature urbane estive. Infine, la possibilità di quantificare gli effetti delle TVI già esistenti sul caso studio di Bolzano faciliterà la consapevolezza e la diffusione di soluzioni tecnologiche naturali per edifici rispetto alle coperture convenzionali. Le differenti soluzioni applicative analizzate su edifici reali mirano a supportare gli enti territoriali nella pianificazione energetica del proprio territorio, sviluppando inoltre una metodologia per misurare gli impatti sociali, economici ed ambientali delle misure da mettere in atto. Questo fornirà un utile supporto alle amministrazioni locali per la graduale eliminazione dei combustibili fossili come fonte di riscaldamento e raffrescamento per gli edifici e il raggiungimento degli obiettivi di totale decarbonizzazione al 2050.

In particolare, la piattaforma Auree.it rappresenta un valido supporto per le pubbliche amministrazioni, agevolando la pianificazione energetica. Gli obiettivi scientifici includono lo sviluppo di un protocollo per la valutazione del "rischio di povertà energetica" a livello di quartiere, basato su un'analisi approfondita della qualità del patrimonio edilizio e del contesto socio-economico locale. Il progetto prevede, inoltre, lo sviluppo di strumenti di simulazione per l'efficientamento energetico, mirati alla pianificazione di interventi sul patrimonio edilizio. Questi strumenti permetteranno di valutare scenari di retrofit e di ottimizzare le risorse energetiche disponibili. Il progetto punta inoltre a migliorare le condizioni di accesso all'energia delle comunità disconnesse dalle reti nazionali di distribuzione dell'energia (es. isole minori e sistemi isolati montani). 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).

b) Benefici per gli utenti

Gli strumenti metodologici e applicativi derivanti dai risultati degli studi effettuati, su differenti casi studio e tipologie edilizie possono fornire rilevanti benefici ed indicazioni in termini di soluzioni per l'efficienza energetica, indirizzando al meglio gli utenti negli investimenti finalizzati alla realizzazione di interventi di riqualificazione energetica dei prossimi anni.

In particolare le indicazioni di policy sull'applicazione delle Tecnologie Verdi di Involucro, sviluppate a partire dai risultati progettuali, rappresentano uno strumento utile ai decisori urbani per definire e attuare strategie di adattamento al clima e di mitigazione delle Isole di Calore, che comporteranno numerosi benefici per gli utenti del servizio elettrico nazionale in termini di: risparmio economico in bolletta (per riduzione dei consumi per climatizzazione estiva), aumento del comfort indoor, migliore qualità del clima urbano (diminuzione dello sviluppo di patologie legate alle Isole di Calore urbano), riduzione della formazione di inquinanti primari e secondari e aumento della biodiversità e riduzione dell'inquinamento sonoro.

Anche il portale AUREE.it si inserisce nel panorama degli strumenti volti a creare una base conoscitiva che potrà essere sfruttata per accelerare i processi di integrazione intelligente delle energie rinnovabili nei contesti territoriali e delle soluzioni per migliorare l'efficienza energetica negli edifici. Il portale da un lato accompagna l'utilizzatore finale nelle sue scelte di comportamento energetico (ottimizzazione degli usi finali, risparmio di energia, utilizzo di tecnologie smart) e dall'altra si propone per la PA come supporto a misure di pianificazione energetica.

Le soluzioni smart e i sensori IoT (Internet of Things) sono sempre più diffusi nel settore civile per l'automazione e il monitoraggio degli ambienti in cui si vive e si lavora. Grazie all'utilizzo della scheda di monitoraggio ambientale a recupero energetico oggetto della proposta progettuale, gli utenti non dovranno dotarsi di sensori cablati né di sostituire e smaltire le batterie che li alimentano. Si ridurranno, pertanto, costi di installazione e di acquisto dei componenti e si faciliterà la loro applicazione anche in punti di difficile accesso. Inoltre, la scheda di monitoraggio ambientale a recupero energetico consentirà il controllo di parametri come temperatura e CO₂, promuovendo azioni correttive per migliorare il comfort termico e il benessere degli utenti.

Relativamente alle soluzioni efficienti per i componenti trasparenti di involucro, le finestre e le pannellature con OLED trasparenti sono impiegabili in installazioni di qualsiasi tipo: abitazioni, uffici, scuole, ospedali, ambienti aperti al pubblico, allestimenti museali, ecc. Questi possono beneficiare 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 - migliorando il benessere degli occupanti, sia del ridotto consumo energetico, grazie all'integrazione di questi dispositivi nei sistemi ambientali e domotici degli edifici.

Le tecnologie legate all'involucro edilizio opaco (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 maggiore penetrazione delle fonti rinnovabili. L'integrazione di sistemi di accumulo e la gestione dei flussi energetici (produzione, stoccaggio,

richiesta dell'utente) permetteranno di ottimizzare il funzionamento dell'intero sistema, grazie alla definizione di profili ottimali di carico e/o all'incremento della quota di autoconsumo da rinnovabile, con conseguente riduzione dei costi.

L'utilizzo dei PCM per l'accumulo termico permetterebbe di ottenere sistemi compatti e modulari destinato anche ad usi domestici, che possano operare a bassa temperatura in maniera rapida ed efficiente. Tali sistemi potrebbero essere utilizzati per accumulare energia dall'eccesso di produzione degli impianti fotovoltaici, migliorando così l'efficienza energetica di edifici residenziali e commerciali. Inoltre, il design modulare di tali sistemi permetterebbe una facile integrazione nelle infrastrutture esistenti, senza la necessità di modifiche invasive. Questo rende le soluzioni studiate dal progetto una soluzione praticabile e attraente per una vasta gamma di applicazioni, sia nuove che in ristrutturazione.

Tra le soluzioni analizzate dal progetto per ottimizzare l'utilizzo e l'autoconsumo da rinnovabile, l'integrazione di utenti attivi (prosumer) nelle reti di teleriscaldamento con il prototipo di sottostazione termica bidirezionale potrà contribuire ad aumentare la quota di consumo da rinnovabile anche nei contesti più complessi come i condomini (es. a causa della ridotta disponibilità di superficie utile per l'installazione degli impianti). La presenza di prosumer termici nelle reti di teleriscaldamento determinerà una gestione ottimizzata delle sorgenti rinnovabili locali con una conseguente riduzione del costo dei vettori energetici (elettricità ed energia termica). Inoltre, 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 (es. introduzione di possibili incentivi da parte degli operatori di rete) anche all'interno di una possibile estensione del concetto di comunità energetica al vettore termico.

Grazie a una gestione flessibile e interattiva del carico termico, gli utenti 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.

In questo contesto, il progetto prevede lo studio sperimentale del possibile utilizzo di pompe di calore ad alta temperatura, e di altre soluzioni basate su utilizzo di fonti rinnovabili termiche, per facilitare l'accesso alle configurazioni di Autoconsumo Collettivo (AUC) dei condomini esistenti dotati di impianti termici centralizzati e sistemi di distribuzione classica a radiatori. L'accoppiamento della pompa di calore ad alta temperatura con il prototipo di sottostazione bidirezionale consentirà di connettere in modalità scambio sul posto un condomino esistente operante in configurazione AUC alla rete di teleriscaldamento (prosumer termico) facilitando l'utilizzo delle fonti rinnovabili locali. Le soluzioni studiate potranno avere un impatto positivo a livello nazionale in quanto in Italia più di 5 milioni di abitazioni sono dotati di impianti termici centralizzati. Inoltre, ai fini dello studio condotto dal progetto, è utile osservare che circa il 70% delle abitazioni occupate da persone residenti è stata edificata prima del 1980; per i condomini con impianti termici centralizzati è quindi prevalente una presenza prevalente di sistemi di distribuzione ed emissione ad alta temperatura (sistema a radiatori).

La diffusione degli strumenti di feedback (come la piattaforma web EMPOWER e relativa APP) sviluppati nel progetto per migliorare la consapevolezza degli utenti sui propri consumi termici nei condomini con contabilizzazione termica individuale; in particolare aiuterà a migliorare le abitudini quotidiane nella gestione delle utenze domestiche e dell'impianto termico centralizzato evitando sprechi energetici e allo stesso tempo mantenendo le condizioni di confort.

Inoltre le nuove forme di engagement che verranno sviluppate e provate in condomini campione potranno facilitare e massimizzare la piacevolezza della user experience degli utenti nell'utilizzo delle App e degli strumenti di feedback e la conseguente riduzione dei consumi domestici.

L'implementazione sperimentale di tecnologie IoT e di modelli predittivi per ottimizzare la gestione degli impianti termici centralizzati associati ai sistemi smart per la contabilizzazione individuale dei consumi consentirà di ridurre la domanda di energia, soprattutto durante i picchi di utilizzo.

Inoltre, le attività previste dal progetto per la contestualizzazione e la diffusione dello Smart Readiness Indicator nel contesto nazionale, consentirà di aumentare la consapevolezza degli utenti e dei progettisti sui benefici delle tecnologie intelligenti abilitando interventi di retrofit e l'utilizzo negli edifici di tecnologie intelligenti ("smart ready").

I dimostratori sperimentali studiati nell'ambito dell'efficientamento energetico delle aree isolate 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.

c) Previsione delle ricadute applicative

Le analisi degli strumenti metodologici e delle soluzioni analizzate per diverse tipologie edilizie, potranno costituire un valido strumento di indirizzo per gli utenti finali verso l'adozione di soluzioni innovative per l'involucro e gli impianti dell'edificio, nonché supportare lo sviluppo della normativa nazionale in recepimento della nuova Direttiva EPBD, verso gli obiettivi di 'carbon neutrality' del parco immobiliare al 2050.

In particolare, l'applicazione su larga scala delle costruzioni di legno potrebbe costituire una spinta verso la standardizzazione dei processi con conseguente abbattimento dei costi e il conseguente aumento di posti di lavoro per manodopera specializzata.

Con riferimento alle soluzioni per l'energy harvesting, il prototipo oggetto di studio e applicazione fornirà un impulso all'impiego di tecnologie innovative per il recupero energetico nel settore degli edifici e all'utilizzo di sensori autonomi eco-friendly ottenuti da risorse rinnovabili. Verrà inoltre dimostrata la possibilità di integrare con elementi di arredo i dispositivi di recupero indoor di energia luminosa, ampliando grandemente le soluzioni di impiego di tale tecnologia.

La fattibilità di prototipi di OLED trasparenti, specialmente realizzati su substrati plastici flessibili, potrà portare un'importante innovazione nel settore della illuminazione degli edifici, puntando ad un importante segmento del mercato con notevoli ricadute industriali e occupazionali ad alto valore aggiunto. L'industria illuminotecnica nazionale potrebbe ottenere una forte spinta concorrenziale, rispetto a quella di altri Paesi, recependo tempestivamente le potenzialità di sviluppo di tali risultati. Sorgenti luminose OLED su plastica, trasparenti e non, potrebbero essere proposte in vari ambiti applicativi, in cui sfruttare la loro leggerezza, flessibilità e non fragilità (in quanto, appunto, realizzate non su vetro), come nuove soluzioni di illuminazione d'interni o installazioni di design per arredamento, potendo sagomare le sorgenti a piacimento dei progettisti. Possono essere integrate in mobili, tendaggi, elettrodomestici, o installate nelle finestre esistenti, rendendole smart, aprendo così nuove opportunità di mercato, non altrimenti sfruttabili. Inoltre, possono trovare applicazione nei finestrini e negli elementi illuminanti dei mezzi di trasporto (bus, treni, automobili, ecc.), dove contribuirebbero all'alleggerimento dei veicoli e quindi al risparmio di energia per il loro movimento.

Per le tecnologie innovative studiate per la realizzazione delle pareti responsive con accumulo termico integrato il mercato di riferimento è quello delle 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. 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.

In relazione al teleriscaldamento, le strategie per estendere la quota di autoconsumo locale mediante l'integrazione di pompe di calore, insieme alla realizzazione presso una utenza reale di un nuovo prototipo di sottostazione di scambio termico bidirezionale con dettaglio pre-commerciale, saranno di supporto alla diffusione di sistemi simili nelle molteplici reti esistenti. Le stesse soluzioni analizzate consentiranno di estendere il modello energetico-sociale delle comunità energetiche, dalla rete elettrica a quella termica, facilitandone l'applicazione per i gestori delle reti di teleriscaldamento.

Lo sviluppo delle soluzioni previste dal progetto per reti di teleriscaldamento a bassa temperatura comporterebbe due effetti in termini di ricadute applicative. Il primo effetto consiste nella maggiore diffusione degli accumuli termici per accumulare in maniera indiretta, unidirezionale, e anche più ecosostenibile l'energia elettrica, rispetto all'accumulo elettrico convenzionale, con ricadute anche dal punto di vista industriale. Il secondo effetto è rappresentato dalla maggiore diffusione delle pompe di calore "booster" condensate ad acqua, caratterizzate da un'efficienza molto più elevata rispetto a quelle più convenzionali condensate ad aria. 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.

Lo sviluppo di un controllore intelligente che possa ottimizzare in real-time il funzionamento di sistemi di accumulo a PCM multi-modulo risolverebbe uno delle maggiori problematiche ovvero la scarsa flessibilità di tali sistemi nei confronti delle variazioni delle condizioni di funzionamento, rispetto a quelle di progetto. Infatti, gran parte dei lavori presenti in letteratura sui sistemi di accumulo a PCM di tipo stand-alone, sono realizzati considerando condizioni di funzionamento a punto fisso. Il superamento di tale limite, congiuntamente rispetto all'applicazione di tecniche innovative per migliorare lo scambio termico nel PCM, come quelle inserite in questo progetto, potrebbe comportare una notevole accelerazione nella diffusione dei sistemi di accumulo a PCM, finora relegati a un mercato di nicchia. I prototipi e i dimostratori sperimentali che verranno impiegati nel progetto per studiare le soluzioni di retrofit nei condomini esistenti, prevedono l'utilizzo di dispositivi commerciali (es. pompe di calore ad alta temperatura) per cui l'esito delle sperimentazioni fornirà immediato riscontro ai progettisti, installatori ed energy manager in merito alle soluzioni ottimali da adottare per la realizzazione di soluzioni per le configurazioni di Autoconsumo Collettivo da fonte rinnovabile locale.

Le tecnologie smart per il monitoraggio energetico e ambientale, abbinata ai modelli di analisi energetica per facilitare la consapevolezza degli utenti sui propri consumi, possono essere implementate su larga scala nel settore edilizio, ottimizzando i consumi energetici e migliorando la qualità dell'ambiente interno. I risultati ottenuti potranno supportare la creazione di soluzioni commerciali per la gestione energetica integrata, adatte sia a edifici pubblici che privati. Inoltre, l'ottimizzazione, la standardizzazione e la diffusione della metodologia dell'SRI avranno un impatto positivo sulla sua accettazione da parte di stakeholder e utenti finali, non solo come strumento di certificazione, ma anche come mezzo per facilitare la "smartness" degli edifici e la diffusione delle tecnologie intelligenti.

Le metodologie innovative per regionalizzare gli scenari del PNIEC, e lo sviluppo di indicatori e strumenti per quantificare e affrontare la cooling poverty, potranno essere applicate dalle regioni e dagli enti locali per lo sviluppo dei propri Piani energetici locali.

Gli sviluppi legati alla tematica della produzione locale e utilizzo di biogas per la produzione di energia termica, come anche lo sviluppo di controllori ad alta efficienza e versatilità per sistemi di generazione di acqua calda sanitaria alimentati da pannelli solari fotovoltaici, se industrializzate e commercializzate possono costituire un beneficio economico per le aziende che operano nel settore degli impianti civili in particolare nelle isole non interconnesse e nei sistemi isolati.

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

- Sensore eco-sostenibile a basso consumo energetico.

- Supercapacitore eco-sostenibile ad alte prestazioni.
- Sistema di harvesting fotovoltaico per installazione su mobilio.
- Sistema di harvesting fotovoltaico semitrasparente per applicazioni in finestre fotovoltaiche.
- Piattaforma composta da sistemi per il recupero e l'accumulo di energia e per il monitoraggio degli edifici.
- Celle PSC opache per esposizione ad illuminazione indoor dell'ambiente in cui è presente il mobilio da rivestire.
- Celle PSC semitrasparenti per esposizione a illuminazione indoor dell'ambiente in cui è presente la finestra da rivestire.
- Modulo termoelettrico e termoelettrogalvanico flessibile con performance ottimali.
- OLED semitrasparenti su vetro con area emissiva aumentata.
- OLED su plastica, con emissione di luce bianca o colorata, non incapsulati.
- Sottostazione di scambio termico bidirezionale, in assetto pre-commerciale.
- Prototipo sperimentale di pareti responsive a trasmittanza termica variabile e dotate di accumulo termico basato su materiali a cambiamento di fase.
- Dispositivo ADLAS (Automatized DSM-DR Logics Application System) per l'applicazione logiche Demand Side Management e Demand Response alle configurazioni AUC con integrazione funzione predittiva
- Sistema ibrido S.A.P.I.EN.T.E. con integrazione pompa di calore ad alta temperatura
- Prototipo tetto blue-green
- Sistema integrato pompa di calore – sistema solar cooling con dessicant ad adsorbimento attivato dalla potenza termica recuperata dalla stessa pompa di calore (verifica funzionale in campo)
- Caldaia /scaldacqua progettata per funzionare a biogas
- Realizzazione rete termica a bassa temperatura presso C.R. ENEA di Portici
- Prototipo basato sulla tecnologia Peltier per realizzazione sistema di refrigerazione stato solido integrato in un materiale a cambiamento di fase (PCM)
- Prototipo di sistema nano-enhanced PCM (NEPCM) con nanoparticelle metalliche movimentate da un campo magnetico
- Realizzazione di un sistema con PCM a più moduli in cascata

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 su media scala da implementare in moduli termoelettrici e termoelettrogalvanici flessibili

Documentazione tecnica, per la quale è prevista una verifica della completezza e coerenza dei contenuti rispetto a quanto dichiarato nella descrizione della linea di attività:

- Scheda ibrida per monitoraggio eco-sostenibile a basso consumo energetico:
 - Schemi elettrici e lista dei materiali necessari e delle istruzioni specifiche per l'assemblaggio hardware della scheda ibrida per monitoraggio degli edifici.
 - PCB layout del circuito stampato utilizzando formati di file standard (GERBER) e disegni della vista in 2D e 3D.
 - Progetto gateway per scheda ibrida.
 - Configurazione hardware e software per implementare il sistema di data repository e visualizzazione dati con le relative configurazioni e modalità di accesso.
- Schemi idraulici necessari per l'installazione della pompa di calore alta temperatura presso sistema ibrido S.A.P.I.EN.T.E.
- Configurazione hardware e software del sistema ADLAS e schemi di connessione con impianto S.A.P.I.EN.T.E.

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

- Software di controllo della scheda ibrida per monitoraggio edifici.
- Software di controllo gateway per scheda ibrida.
- Piattaforma web EMPOWER e relativa App utilizzabile dagli utenti dei condomini con contabilizzazione termica individuale per migliorare la consapevolezza sui propri consumi energetici- aggiornamento piattaforma
- Progettazione di un sistema "Assistente Virtuale": per fornire agli utenti finali consigli e suggerimenti, anche mediante l'implementazione di tecniche di elaborazione del linguaggio naturale
- Portale AUREE.it.
- Software o foglio di calcolo utilizzato nella fase di test nazionale dello Smart Readiness Indicator per facilitare la raccolta dei casi studio
- Sistema di controllo smart, basato su logiche predittive, per il controllo ottimale di sistemi di produzione di acqua calda sanitaria alimentati da fonti rinnovabili.

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:

- Modello di simulazione rete di teleriscaldamento attiva e sottostazione di scambio bidirezionale per analisi scenari di efficientamento e

integrazione prosumer termici

- Modello di simulazione sistema S.A.P.I.EN.T.E. con pompa di calore ad alta temperatura – integrazione con rete di teleriscaldamento
- Modello rete termica a bassa temperatura
- Modello per analisi numerica di NEPCM con nanoparticelle metalliche soggette a campi magnetici
- Modelli di simulazione dinamica di sistemi di poligenerazione su scala domestica, alberghiera e di comunità basati sulla produzione di biogas da digestione anaerobica
- Modello per analisi numerica di sistema con PCM a più moduli e a cascata

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.