

**PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2025-27 - RICERCA DI SISTEMA
ELETTRICO NAZIONALE**

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

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

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto 1.5 - Edifici ad alta efficienza per la transizione energetica

Durata: 36 mesi

Periodo attività: 01/01/2025 - 31/12/2025

ABSTRACT ATTIVITA' ANNUALE:

Il progetto mira a supportare la riqualificazione energetica del parco edilizio nazionale e la transizione verso edifici "green", in linea con la Direttiva EPBD IV, contribuendo al contempo alla stabilità e sostenibilità del sistema energetico. In particolare, intende sviluppare metodi, tecnologie e strumenti per migliorare le prestazioni degli edifici, aumentare l'uso delle fonti rinnovabili e rafforzare la consapevolezza energetica degli utenti. I risultati attesi includono l'individuazione di soluzioni innovative per l'involucro e gli impianti, lo sviluppo di modelli e metodologie per la pianificazione energetica e la classificazione degli edifici, la sperimentazione di tecnologie avanzate (monitoraggio, accumulo, comunità energetiche, autoconsumo collettivo), e il supporto alle politiche nazionali attraverso strumenti operativi, indicatori e prototipi dimostrativi. Nel primo anno, di carattere preparatorio, le attività si sono concentrate sulla ricognizione della letteratura nazionale e internazionale, sulla definizione delle basi metodologiche e sull'individuazione delle condizioni operative per le attività sperimentali, accompagnate da una pianificazione di dettaglio e organizzazione delle linee di ricerca da parte dei gruppi di lavoro ENEA.

ATTIVITA' SVOLTE

WP1: Strumenti e tecnologie per la riqualificazione del parco edilizio nazionale

<i>AFFIDATARIO / COBENEFICIARIO</i>	<i>SINTESI DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTE, RISULTATI CONSEGUITI E RICADUTE SUL SETTORE PRODUTTIVO</i>
ENEA	LA 1.1: Calcolo dei Gradi Giorno dei Comuni italiani a partire da dati orari del data base internazionale Copernicus, finalizzato all'aggiornamento della zonizzazione climatica nazionale - parte 1 Nel corso del primo anno 2025, sono stati analizzati i principali dataset climatici disponibili sulla piattaforma Copernicus, al fine di esaminarne la struttura spaziale e temporale e definire i criteri di estrazione delle serie di dati necessarie. Sono stati inoltre valutati, a partire dalle temperature orarie, differenti approcci per il calcolo dei Gradi Giorno (GG), considerando procedure e periodi di riferimento differenti.

	LA 1.3: Applicazione di tecnologie innovative per la mitigazione degli apporti solari su un edificio reale ad uso ufficio: analisi degli effetti in termini di condizioni indoor ed implicazioni di carattere energetico È stato analizzato lo stato dell'arte delle tecnologie per mitigare gli apporti solari sugli edifici. Per la scelta dei componenti da testare sul case study (l'edificio F83 del CR ENEA Casaccia) sono stati considerati le prestazioni ottiche e termofisiche, ma anche vincoli autorizzativi e realizzativi. Sono stati selezionati pellicole solari metal free (per applicazione interna ed esterna) e vetri altamente selettivi, poi installati in tre locali campione in cui sono stati avviati i primi monitoraggi termoigrometrici. LA 1.6: Soluzioni innovative per sistemi di involucro edilizio: stato dell'arte, modalità di caratterizzazione e prime analisi sperimentali È in svolgimento la review su materiali retroriflettenti per applicazioni in involucro edilizio e su metodi di caratterizzazione di sistemi di schermatura tridimensionale, di questi sono stati individuati alcuni campioni di interesse. Per i daytime radiative coolers è proseguita la ricerca per metodologie di misura in grado di testare il potenziale di emissione termica. Sono state definite le configurazioni di pellicole da intercapedine, con percentuali di foratura per luce naturale. Sono in via di preparazione nuovi device di vetri dinamici. LA 1.10: Strategie per la riqualificazione energetica del parco edilizio nazionale della pubblica amministrazione e sviluppo di metodi innovativi per individuare le soluzioni di intervento in recepimento della EPBD IV Nel 2025 è stata avviata l'analisi del patrimonio scolastico nazionale, finalizzata alla definizione delle caratteristiche prevalenti e allo sviluppo di strumenti per la riqualificazione energetica. L'attività ha incluso una ricognizione bibliografica su studi, metodologie e indicatori, l'analisi del quadro normativo europeo con riferimento a EPBD ed EED e una prima elaborazione dei dati del Portale Unico della Scuola e CRESME, per valutarne consistenza, distribuzione territoriale, geometria ed epoca costruttiva. LA 1.14: Analisi di edifici ZEB (Zero Emission Buildings) ad uso residenziale e impatto sul consumo elettrico nazionale Partendo dall'analisi bibliografica sulle tipologie edilizie rappresentative del parco residenziale italiano, sono stati definiti due modelli di edifici-tipo, uno monofamiliare e uno plurifamiliare, con le relative caratteristiche termofisiche dei componenti di involucro e dei sistemi impiantistici in ottica "zero emission". Sono stati quindi costruiti i modelli energetici e sono state avviate simulazioni di calcolo in regime dinamico per località rappresentative di ciascuna zona climatica italiana. LA 1.17: Analisi delle banche dati dell'ENEA sulle detrazioni fiscali ed elaborazione di modelli edilizi parametrici per stimare il risparmio energetico di interventi di miglioramento del patrimonio edilizio residenziale con riferimento a condizioni climatiche e d'uso standard Per elaborare i modelli edilizi parametrici si è avviata un'analisi in tre aree tematiche: tipo edilizio, componenti d'involucro, impianti di climatizzazione. Si sono raccolti i resoconti di istituti pubblici e associazioni di categoria e si sono svolte analisi di dettaglio sulle banche dati dell'ENEA (concentrate inizialmente sul super-ecobonus).
--	---

	Attraverso modelli di prova si è stilato un programma preliminare di simulazioni, da svolgere su modelli semplificati e su quelli definitivi.
--	---

WP2: Modelli, strategie e soluzioni tecnologiche per l'efficienza energetica al servizio del territorio

ENEA	LA 2.1: Promozione dell'efficienza energetica e delle fonti rinnovabili in aree isolate: soluzioni tecnologiche per la riduzione dei consumi degli edifici e l'indipendenza degli utenti finali – Parte 1 Nel 2025 sono stati aggiornati i sistemi di acquisizione dati e controllo dell'impianto sperimentale per la produzione di ACS da biodigestione anaerobica, svolgendo nuovi test sul motore endotermico. Sono stati implementati controllori MPC e reinforcement learning per sistemi ibridi di ACS. Sono inoltre proseguiti il monitoraggio energetico del Rifugio Settimo Alpini, gli studi su energy harvesting, microeolico e mitigazione delle isole di calore urbane.
	LA 2.3: Messa a punto di una metodologia per la pianificazione energetica regionale e locale in un approccio olistico e di multilevel governance Nel 2025 è stato sviluppato uno stato dell'arte dei tool per la pianificazione energetica territoriale e definita una metodologia di analisi a scala regionale e locale. Sono state individuate criticità legate alla scalabilità del PNIEC e alla disponibilità dei dati. Le attività hanno incluso analisi dei consumi energetici, validazione di indicatori multidimensionali e approfondimenti su vulnerabilità socio-economica e povertà energetica estiva.
	LA 2.4: Il ruolo del Terzo Settore per una transizione energetica efficace ed equa: mappatura dei contributi Nel 2025 è stato predisposto un dataset per costruire indicatori multidimensionali di deprivazione alimentare, sanitaria ed educativa, finalizzati allo studio della povertà energetica. Sono state aggiornate le analisi sul patrimonio immobiliare degli Enti del Terzo Settore tramite integrazione di dati RUNTS e AIDA. È stato inoltre definito un questionario per il coinvolgimento degli stakeholder e l'organizzazione di workshop e focus group.
	LA 2.5: Studio dello stato dell'arte e delle potenzialità di applicazione delle costruzioni in legno sul territorio italiano ed analisi di mercato di prodotti di finitura con caratteristiche energetiche applicabili anche su edifici in legno Nel 2025 sono state svolte analisi tecnico-economiche sul settore delle costruzioni in legno, definendo caratteristiche del materiale, specie idonee e trend di mercato. È stata avviata la valutazione della filiera del legno certificato nazionale e dei relativi gap produttivi. Con UNIBO e UNINA sono iniziate le attività per la modellazione dell'edificio campione e per la definizione degli indicatori del modello System Dynamics.

Università di Ferrara Dipartimento di Ingegneria	LA 2.8: Effetto della deposizione controllata di particolato atmosferico sulle performance di pannelli fotovoltaici attraverso l'utilizzo di un banco prova in scala Nel 2025 è stato sviluppato e validato un banco sperimentale per simulare condizioni controllate di deposizione di contaminanti su pannelli fotovoltaici. Il sistema consente di monitorare parametri elettrici, termici e ambientali durante i test. Sono state svolte campagne sperimentali con sabbia silicea e residui di combustione ed è stata definita la matrice di prove per la seconda annualità.
Politecnico di Torino Dipartimento Energia	LA 2.9: Analisi e valutazione di possibili barriere per lo sviluppo di soluzioni innovative e di strategie di adattamento climatico per gli edifici nelle isole minori non interconnesse Nel 2025 sono stati acquisiti i dati di carico elettrico per diverse isole minori e avviate le relative analisi energetiche. È stato inoltre studiato il nuovo quadro autorizzativo FER introdotto dal D.Lgs. 190/2024, evidenziando le criticità legate ai vincoli paesaggistici. Parallelamente è stata condotta una ricognizione dei software disponibili per la simulazione energetica e il comfort urbano ed edilizio.
Politecnico di Milano Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito	LA 2.10: Analisi multilivello dell'accessibilità alle reti energetiche e delle potenzialità di penetrazione delle fonti energetiche rinnovabili nelle aree montane isolate Nel 2025 è stata definita una metodologia di indagine territoriale basata sull'analisi di 18 database e su indicatori climatici, energetici, ambientali e turistici. La metodologia è stata applicata alla Valsassina mediante raccolta dati e produzione di mappe territoriali. Sono state inoltre individuate criticità e opportunità locali e selezionati due rifugi alpini come casi studio per l'analisi delle FER.
Università di Bologna Dipartimento di Ingegneria Industriale	LA 2.12 Scenari di simulazioni in regime non stazionario di stratigrafie murarie contenenti finiture ad alte prestazioni energetiche Nel 2025 è stato definito, in accordo con ENEA, l'edificio campione oggetto di studio: una villetta quadrifamiliare in legno di nuova costruzione. Sono state definite geometria, stratigrafie e componenti impiantistiche dell'edificio, selezionando sei località rappresentative delle fasce climatiche italiane. Per ogni località sono stati adattati gli spessori dell'isolamento termico ai requisiti normativi.
Università di Napoli Federico II Dipartimento di Architettura	LA 2.13: Applicazione del legno nelle nuove costruzioni: modello System Dynamics in chiave Carbon Neutral. Scenari di applicazione con analisi delle criticità ricorrenti Nel 2025 sono stati approfonditi i temi dell'innovazione digitale e tecnologica nella filiera delle costruzioni in legno. Le attività hanno riguardato l'analisi del quadro normativo europeo e nazionale sulla transizione verde e digitale e delle criticità della filiera secondo un approccio life-cycle oriented. È stato inoltre sviluppato un confronto tra casi studio internazionali per supportare modelli di System Dynamics.
SOTACARBO	LA 2.14: AUREE.it: sviluppo, implementazione e sperimentazione di soluzioni energetiche – Parte 1 Nel 2025 le attività hanno riguardato l'analisi dello stato dell'arte sulla povertà energetica e la definizione preliminare di una metodologia di valutazione del rischio negli edifici. È stata avviata la campagna di monitoraggio invernale della qualità dell'aria indoor presso l'istituto Satta

	e aggiornato il quadro conoscitivo sulle CER. Sono inoltre iniziati i test del portale Auree.it e la progettazione preliminare di tool GIS per simulazioni energetiche.
--	---

WP3: Tecnologie e componenti innovativi per l'incremento della prestazione energetica degli edifici

ENEA	LA3.1: Sviluppo di soluzioni innovative per il recupero e l'accumulo di energia e per il monitoraggio degli edifici Sono state avviate le attività del progetto, che comprendono: analisi su integrazione e scalabilità dei dispositivi fotovoltaici; aggiornamento dello stato dell'arte delle tecnologie termoelettriche e acquisizione della componentistica per valutarne l'applicabilità in ambito edilizio; avvio della progettazione di sensori eco-sostenibili e definizione di strategie per migliorare le prestazioni di supercapacitori, con approcci volti ad aumentarne stabilità e durata; avvio della progettazione circuitale e integrazione dei sistemi di misura.
Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" Dipartimento di Ingegneria Elettronica	LA3.3: Progettazione, sviluppo e caratterizzazione di moduli fotovoltaici a perovskite per energy harvesting interno su mobilio e in applicazioni semitrasparenti È stata monitorata la stabilità dei dispositivi realizzati nel triennio precedente, al fine di valutare i materiali di incapsulamento più idonei. Sono state studiate diverse formulazioni di perovskiti, con particolare attenzione all'adattamento del bandgap allo spettro delle sorgenti luminose artificiali. È stata inoltre valutata la compatibilità con tecniche di deposizione scalabili su larga area. Sono state testate composizioni di perovskiti idonee alla realizzazione di dispositivi bifacciali.
Università degli Studi di Torino Dipartimento di Chimica	LA3.4: Sintesi, formulazione e caratterizzazione di materiali per dispositivi di recupero di energia termoelettrici e termoelettrog galvanici orientati ad applicazioni flessibili Task 1: Sintesi di polimeri organometallici in solvente su scala dei grammi. Analisi qualitativa dei pesi molecolari ottenuti. Fabbricazione di film sottili da diversi solventi e su vari substrati. Caratterizzazione elettrica, determinazione del tipo di conduzione, stima del termovoltaggio. Task 2: Ricerca bibliografica e individuazione di possibili elettroliti per applicazioni TEGG. Caratterizzazioni in corso. Task 3: Analisi preliminare di costo per grammo dei materiali prodotti. Sintesi in acqua micellare con tensioattivi.
Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" Dipartimento di Ingegneria Elettronica	LA3.5: Moduli termoelettrici e termoelettrog galvanici per il recupero di energia negli edifici orientati ad applicazioni flessibili Le attività si sono concentrate su: a) nuove strategie di formulazione dei compositi semiconduttore organico – filler conduttivo, con l'obiettivo di aumentare l'efficacia del drogaggio e migliorare l'interazione polimero-filler conduttivo, adottando strutture 1D basate su nanofili di Ag, da confrontare con i nanoplatelets di grafene; b) sviluppo di protocolli efficaci per la realizzazione di membrane a matrice polimerica di sistemi termoelettrog galvanici, comparando i sistemi gelificati con le soluzioni in fase liquida.

Università degli Studi di Salerno Dipartimento di Fisica	LA3.6: Progetto e ottimizzazione di una scheda ibrida e software per l'interfacciamento di sensori e sorgenti di energia tradizionali ed eco-sostenibili, da utilizzare in un sistema di energy harvesting indoor In riferimento alla scheda ibrida per il monitoraggio ambientale indoor, è stata sviluppata l'architettura funzionale dei comparti dedicati all'acquisizione energetica, alla gestione dell'accumulo e all'alimentazione dei dispositivi elettronici. Parallelamente sono state integrate soluzioni sensoristiche per il monitoraggio ambientale. Sono state definite le strategie software per il controllo del sistema mediante microcontrollore ESP32-S3 e per la trasmissione sicura dei dati tramite protocollo LoRa/MQTT verso gateway e server remoti.
ENEA	LA3.8: OLED su vetro di area emissiva aumentata e test di materiali conduttivi per OLED su plastica Sono state progettate e realizzate, su vetro/ITO, griglie metalliche esagonali per ridurre la <i>sheet resistance</i> dei contatti, senza comprometterne la trasparenza. I risultati mostrano che griglie con spessore di argento di 60 nm riducono la <i>sheet resistance</i> da circa 8 Ω/sq, valore del solo ITO, fino a circa 4.5 Ω/sq, con una trasmittanza del 85% a 550 nm. Per i processi per OLED su plastica, è stato progettato e ordinato un sistema da vuoto per la deposizione di film sottili di Parylene, necessari per l'incapsulamento degli OLED. LA3.11: Pareti responsive alle diverse condizioni climatiche esterne ed interne abili allo stoccaggio di energia termica: analisi sperimentali Sono state condotte prove per ottimizzare il comportamento della PdC aria-acqua a servizio dell'impianto. Ulteriori prove sono state svolte in configurazione estiva ed hanno interessato i pannelli ad accumulo termico integrato e non. Sono state acquisite temperature, flussi termici, immagini termografiche. I risultati evidenziano il comportamento dinamico del sistema e forniscono indicazioni per l'ottimizzazione delle condizioni operative e dell'integrazione tra involucro e impianto. Sono state infine avviate prove in configurazione invernale. LA3.12: Il ruolo del prosumer nelle reti di teleriscaldamento: test sperimentali e numerici per aumentare la quota di autoconsumo, realizzazione di una nuova sottostazione bidirezionale È stata modellata una rete collocata nel Nord Italia e sono stati analizzati diversi scenari di efficientamento. Sono stati sviluppati nuovi modelli predittivi basati su reti neurali artificiali, i cui risultati mostrano accuratezza elevata per previsioni fino a 6 ore. Sono state valutate alcune strategie per aumentare l'autoconsumo della generazione locale, con particolare riferimento all'integrazione di una pompa di calore nella sottostazione bidirezionale. È stata inoltre avviata la pianificazione della relativa campagna prove.
Politecnico di Milano Dipartimento di Energia	LA3.14: Analisi multivettore delle migliori modalità di soddisfacimento del fabbisogno energetico in ambiti urbani: confronto fra soluzioni di teleriscaldamento e soluzioni distribuite Per la quantificazione del fabbisogno termico di ciascun edificio, tra gli approcci disponibili, è stato scelto l'Urban Building Energy Modelling (UBEM). Nella nuova procedura, sviluppata nell'ambito della LA, per ogni possibile caso studio, gli edifici sono stati selezionati tramite una procedura GIS e le informazioni di dettaglio sono state estratte dai database

	OSM e JRC. Ciascun edificio viene quindi simulato per ottenere il fabbisogno termico specifico rispetto al volume (riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria).
--	--

WP4: Promozione dell'efficienza energetica degli edifici attraverso l'incremento dell'autonomia, della flessibilità e della consapevolezza dei consumi

ENEA	LA4.1: Studio di soluzioni impiantistiche innovative per la massimizzazione dell'autoconsumo termico da FER nei contesti condominiali, a supporto della realizzazione di "case green" Individuazione degli schemi impiantistici per l'integrazione di una pompa di calore alta temperatura nel sistema sperimentale S.A.P.I.EN.T.E. Avvio delle simulazioni necessarie a valutare i vantaggi della pompa di calore alta temperatura e sistemi di poligenerazione termico nelle configurazioni autoconsumo collettivo condominiali. Studio per implementazione in S.A.P.I.EN.T.E. di funzionalità predittive.
Università di Pisa Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni	LA4.4: Sviluppo di modelli surrogati per l'ottimizzazione del consumo energetico nel settore residenziale Revisione della letteratura su tecniche di Machine Learning (ML) e Reinforcement Learning (RL) per la gestione di sistemi multi-energia (MES). Definizione di un caso studio residenziale simulato con carichi termici/elettrici, scenari di prezzo e configurazione dei dispositivi. Sviluppo di metodi ML/RL per il controllo del MES, definendo input essenziali, output e gerarchia di intervento. Risultati: scostamento dall'ottimo del 4-8% per ML e RL, migliori del benchmark a costo istantaneo minimo.
ENEA	LA4.5: Valutazione dello Smart Readiness Indicator nella fase di test nazionale e ottimizzazione della piattaforma EMPOWER applicata agli edifici dotati di contabilizzazione termica individuale per aumentare la consapevolezza degli utenti Si è selezionato e installato un sensore per la qualità dell'aria outdoor in uno dei condomini monitorati da EMPOWER. Inoltre, si sono definiti i parametri della centrale termica da implementare in EMPOWER, interfacciando un modulo di automazione e controllo con i generatori presenti. In supporto alla fase di test nazionale sullo SRI, sono stati asseverati numerosi casi studio. Al contempo, sono stati effettuati training a professionisti sulla metodologia ed è stato avviato lo sviluppo di un applicativo web come tool di calcolo dello SRI.
Università di Cassino e del Lazio Meridionale Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica	LA4.7: Modelli avanzati di monitoraggio e analisi energetica e ambientale degli edifici tramite tecnologie IoT È in corso l'estensione del monitoraggio energetico e ambientale del Janula Residence da 12 a 28 unità, con installazione di una stazione meteorologica. Sviluppato un modello dinamico dell'edificio (MC4Suite) e calcolati indicatori energetici per climatizzazione estiva/invernale. La costruzione del dataset è rinviata all'effettiva occupazione; per analisi preliminari, scelto dataset analogo di letteratura. Svolte review su modelli data-driven e assistenti NLP. In sviluppo un modello ML predittivo basato su firma energetica, IEQ e occupazione.

Università degli Studi di Milano Dipartimento di Beni Culturali e Ambientali	LA4.9: Progettazione e validazione di strumenti innovativi di feedback e personalizzazione per la promozione del risparmio energetico domestico tramite la piattaforma EMPOWER Realizzata una review estesa della letteratura scientifica, secondo criteri metodologici validati, sull'impatto psicologico e comportamentale dei percorsi di goal-setting in ambito energetico. Definiti criteri di selezione, parole chiave e database scientifici, costruendo un corpus poi filtrato per pertinenza. L'attività ha portato all'analisi di applicazioni digitali e metodologie di goal-setting a scala individuale, familiare e comunitaria, propedeutica al confronto con la piattaforma EMPOWER e alla definizione di linee guida funzionali.
Università di Messina Dipartimento di Ingegneria	LA4.10: Le soluzioni di raffrescamento per l'edilizia residenziale universitaria correlazioni fra analisi tipologiche e zone climatiche per definire previsioni migliorative e linee d'intervento La ricerca ha riguardato l'analisi di modelli di edilizia residenziale universitaria in Italia secondo le tipologie del DM 118/2001. Creato un database di 390 edifici con dati su clima, involucro, impianti ed efficientamento, per valutare criticità e potenzialità dell'ammodernamento energetico orientato al raffrescamento. Individuato come edificio campione il Residence Universitario Papardo di Messina, avviando audit energetico, raccolta dati secondo modello BRP e selezione di tecnologie innovative per il raffrescamento.
Università di Palermo Dipartimento di Ingegneria	LA4.11: Valutazione delle correlazioni e delle sovrapposizioni tra gli indicatori di prestazione degli edifici e dei relativi impianti stato dell'arte, analisi preliminari e applicazione nei casi studio Nel primo anno sono state analizzate metodologie per valutare prestazione energetica, intelligenza e automazione degli edifici e degli impianti. Studiate le correlazioni tra indicatori quali SRI, livello BAC, classe energetica ed efficienza degli impianti elettrici secondo CEI 64-8. Sono stati inoltre individuati due casi studio, residenziale e terziario, per il calcolo degli indicatori, inclusa la valutazione SRI: un'abitazione unifamiliare in una piccola isola del Mediterraneo e l'edificio 9 di Ingegneria dell'Università di Palermo.
Politecnico di Milano Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito	LA4.12: Sistemi di automazione e controllo degli edifici e relative capacità di monitorare, controllare e ottimizzare la prestazione energetica: valutazione degli effetti conseguiti in diversi edifici residenziali tramite analisi dei dati di riscaldamento rilevati su piattaforma di supervisione in cloud Selezionati edifici dello stock suddivisi per tecnologia costruttiva (anteguerra, boom edilizio, recenti) e stato dell'involucro (riqualificato o originario). Analizzati dati energetico-ambientali della stagione invernale 2024-25, in fase transitoria di attivazione dei sistemi BACS. Emersa elevata variabilità delle prestazioni per criticità di messa a regime hardware/software e comportamenti degli occupanti. I dati normalizzati ai gradi giorno indicano risparmi energetici fino al 30% tra fase pre e post attivazione.
ENEA	LA4.13: Integrazione di Tecnologie Verdi d'Involucro per la riduzione dei consumi energetici degli edifici e l'adattamento all'isola di calore urbana - Parte 1 Raccolti dati microclimatici e termici su tetti verdi e tradizionali a Bolzano; in corso analisi GIS e LST dal 2004 e pianificati voli drone termografici

	per il 2026. Sviluppato un modello dinamico EnergyPlus con flussi BIM-to-BEM e test IFC→IDF. Monitorato il prototipo Blue Green Roof ENEA Casaccia con dati termici, idraulici e multispettrali. Simulati con ENVI-met 12 scenari UHI e 19 baseline con Design Builder. Risultati presentati al CEES 2025 con sessione speciale e due articoli pubblicati.
--	--

WP5: Strategie innovative per l'integrazione di sistemi di accumulo termico in reti termiche a bassa temperatura per una gestione flessibile del carico elettrico per il condizionamento ambientale degli edifici; Sviluppo, design, e analisi sperimentale di sistemi di accumulo termico di nuova generazione.

ENEA	LA5.1: Strategie innovative per l'integrazione dell'accumulo termico in reti termiche a bassa temperatura per una gestione flessibile del carico elettrico per il condizionamento ambientale degli edifici – Parte 1: Progettazione della rete termica a bassa temperatura con sorgenti ed utenze reali Nel corso del 2025 è stata realizzata la progettazione di massima della rete termica per l'analisi di strategie di flessibilità relativa al consumo di energia elettrica delle 8 pompe di calore elettriche condensate ad acqua, modello AERMEC WRL041, già presenti presso i CR ENEA Portici. In particolare, sono stati individuati gli ambienti nei quali installare i fan coil per il condizionamento ambientale, l'ubicazione e le dimensioni del sistema di accumulo termico, e sono stati realizzati tutti gli schemi di funzionamento.
Università degli Studi di Napoli Federico II Dipartimento di Ingegneria Industriale	LA5.3: Sviluppo e Ottimizzazione di una Rete Termica a Bassa Temperatura presso il CR ENEA Portici: Modello di Simulazione Dinamica e Progettazione Operativa Nel 2025 è stata effettuata un'analisi della letteratura sui modelli di reti termiche a bassa temperatura, individuando i requisiti modellistici principali. Successivamente, sulla base dello schema preliminare fornito da ENEA, è stato realizzato o sviluppo del modello dinamico della rete che sarà realizzata al CR ENEA Portici, e dei sotto-modelli dei componenti principali, di cui è stata anche definita la logica di controllo. Le attività proseguiranno, in coordinamento con le LA 5.1/5.2, a supporto del dimensionamento, della valutazione delle configurazioni e dell'ottimizzazione dei parametri di esercizio.
ENEA	LA5.5: Progettazione, realizzazione, e caratterizzazione numerica e sperimentale di un sistema di condizionamento basato sulla tecnologia Peltier integrata a un sistema di accumulo termico basato sull'utilizzo di materiali a cambiamento di fase (PCM) – Parte 1 Le attività condotte nel corso del 2025 state le seguenti: • Calibrazione e progettazione 3D dell'apparato sperimentale; • Analisi bibliografica sullo stato dell'arte sull'utilizzo di moduli a effetto termoelettrico, sui materiali a cambiamento di fase e sulla loro integrazione in applicazioni di personal cooling; • Implementazione di un tool di simulazione numerica basato sulla tecnica CFD in ambiente Comsol Multiphysics; • Realizzazione del computo metrico e avvio delle richieste di quotazione della componentistica necessaria.

	LA5.7 Studio sull'applicazione di campi magnetici per affrontare il problema della sedimentazione in sistemi di accumulo termico basati su PCM migliorati con nanoparticelle – Parte 1 Nel corso del 2025 è stato preliminarmente approfondito lo stato dell'arte relativo all'impiego di nanoparticelle ferrimagnetiche di magnetite (Fe_3O_4) disperse in materiali a cambiamento di fase. Successivamente, è stato avviato il dimensionamento preliminare delle bobine necessarie alla generazione del campo magnetico, e, parallelamente, sono state condotte interlocuzioni tecniche con operatori industriali specializzati. Le attività hanno inoltre compreso una collaborazione con il cobeneficiario UNICAL_DIMEG, relativamente alla simulazione del comportamento dei moduli di accumulo.
Università della Calabria Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Energetica e Gestionale	LA 5.9: Simulazioni numeriche per la valutazione degli effetti di un campo magnetico su materiali a cambiamento di fase arricchiti con nanoadditivi metallici-parte 1 È stato sviluppato e validato un modello numerico 3D per un sistema LHTES a base di paraffina con aggiunta di nanoparticelle magnetiche (Fe_3O_4), in linea con le attività previste e a supporto del design del modulo cilindrico sperimentale ENEA. Sono stati simulati: PCM puro, NEPCM con proprietà equivalenti (3–5% in massa) e NEPCM bifase con tracciamento lagrangiano (DPM), includendo diffusione browniana e termoforesi. La validazione su dati di letteratura mostra buon accordo, confermando l'utilità della descrizione particellare.
ENEA	LA5.11: Progettazione, realizzazione e analisi sperimentale di un sistema di accumulo del freddo a PCM multi-modulo a cascata: Progettazione del sistema di accumulo e realizzazione dell'impianto per i test sperimentali Nella prima parte del 2025 sono stati effettuati vari test sperimentali, utilizzando un sistema a cascata già presente presso il CR ENEA Portici. Successivamente, è stato realizzato il progetto definitivo del sistema di accumulo del freddo a PCM multi-modulo a cascata, ovvero sono stati realizzati i disegni dei componenti in acciaio inox che costituiranno i singoli moduli all'interno dei quali saranno inseriti diversi materiali a cambiamento di fase (PCM) per l'accumulo del freddo. Infine, è stato sviluppato un nuovo schema per l'impianto di test per sistemi di accumulo del freddo del laboratorio LPSAT del CR ENEA Portici.
Università degli Studi di Napoli Federico II Dipartimento di Ingegneria Industriale	LA5.13: Dimensionamento di un sistema di accumulo del freddo a PCM multi-modulo a cascata Le attività hanno riguardato la definizione del problema di accumulo termico del freddo, la modellazione CFD di un sistema modulare e lo sviluppo di un modello di ordine ridotto. In particolare, è stato implementato un modello RC rapido, basato anche su tecniche di regressione e intelligenza artificiale, che ha consentito una drastica riduzione dei tempi di calcolo mantenendo un'elevata accuratezza. Il modello è stato validato mediante risultati sperimentali. Infine, è stata definita la logica di accoppiamento tra i risultati del modello RC e il sistema di controllo che dovrà ottimizzare i flussi energetici e le condizioni operative.

Politecnico di Torino Dipartimento Energia	LA5.15: Batterie ciclabili per l'accumulo latente dinamico con nano-PCM – Parte 1: Analisi e ottimizzazione delle condizioni operative, configurazioni e trattamento delle superfici per realizzare l'accumulo latente dinamico ciclabile L'attività si è concentrata sull'analisi e sull'ottimizzazione delle condizioni operative e delle configurazioni per l'accumulo termico latente dinamico con nano-PCM. Sono state condotte prove sperimentali preliminari su nano-PCM a base di acido laurico, individuando concentrazioni ottimali di filler in grado di migliorare la conducibilità termica, limitando al contempo la riduzione del calore latente e l'aumento della viscosità. In aggiunta alla configurazione pistone-cilindro, sono iniziate inoltre investigazioni su configurazioni dinamiche basate su fusione a contatto assistita da alette elicoidali rotanti.
--	--